

СОДЕРЖАНИЕ

Лесное хозяйство

Теодоронский В.С., Санаева Т.С. *О возможностях создания устойчивых травяных покрытий на объектах озеленения (улицы и магистрали г. Москвы)*7

Лесоинженерное дело

Макуев В.А., Панферов В.И., Шамарин Ю.А., Корнеев В.М. *Основы создания системы фирменного сервиса лесной и сельскохозяйственной техники*10

Сиротов А.В., Макуев В.А., Корнеев В.М., Шамарин Ю.А., Селиванов К.В. *Анализ погрешностей, вносимых конструктивными элементами стендов, на точность измерения параметров топливоподачи*12

Сиротов А.В., Тарлаков Я.В., Селиванов К.В. *Результаты применения нового метода диагностирования дизельной топливной аппаратуры машин и тракторов, работающих на лесозаготовках владимирской области*15

Коваленко Т.В., Калинин С.Ю. *Транспортное освоение фрагментированных арендных лесных массивов с учетом влияния климатических факторов*17

Камусин А.А., Кондрашова Е.В., Левушкин Д.М., Бурмистров В.А. *Ресурсное обеспечение процесса строительства, ремонта и содержания участков лесных автомобильных дорог*21

Герасимов В.С., Соловьев Р.Ю., Игнатов В.И. *Обоснование необходимости разработки системы утилизации сельскохозяйственной и лесной техники*28

Тулузаков Д.В., Подрубалов М.В., Подрубалов В.К. *К вопросу о методике определения данных по профилям пути мобильных машин лесного и лесопаркового хозяйств*34

Ларионов В.Я., Левушкин Д.М. *Этапы развития методов расчета нежестких дорожных одежд лесовозных дорог*40

Кольниченко Г.И., Сиротов А.В., Тарлаков Я.В. *Выбор рациональных режимов ДЭС, работающих с учетом ограничений по экологическим евростандартам*44

Котов А.А. *Упругие и остаточные деформации древесных растений при статическом изгибе*47

Деревообработка и химические технологии

Кузнецов Е.Ю., Торопов А.С., Шарапов Е.С. *Экспериментальные исследования точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих*54

Полосухина О.И. *Эффективность выработки заготовок с допустимым обзолом из необрезных и обрезных пиломатериалов*58

Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю. *Многоформный эффект памяти древесины*62

Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю. *Экспериментальное исследование показателей эффекта памяти древесины*66

Тюленева Е.М. *Остаточные деформации в древесине*70

Косарин А.А., Курышов Г.Н. *Определение эффективности импульсной сушки березовых пиломатериалов в опытно-экспериментальной установке*74

Фомин А.А., Гусев В.Г. *Использование геометрической модели сегмента при разработке оборудования для механической обработки горбыля*78

Фомин А.А., Гусев В.Г. Моделирование мощности профильного фрезерования крупных отходов лесопиления	82
Шарапов Е.С., Чернов В.Ю. Сравнительный анализ способов определения плотности древесины с помощью рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению	89
Шарапов Е.С., Королев А.С. Экспериментальные исследования процессов продольного цилиндрического фрезерования и пиления термически модифицированной древесины дуба	96
Королев В.И., Васильев М.И. Расчет струны гитары арт. 386 методом сил	100
Обливин А.Н., Лопатников М.В. Теоретические основы формования композиционных материалов на древесных наполнителях	103
Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Обоснование механизма модификации феноло- и карбамидоформальдегидных клеев шунгитовыми сорбентами	108
Тарасов С.М., Азаров В.И., Иванова А.М. Модифицированные аминокальдегидные олигомеры в производстве декоративной бумаги для бумажно-слоистых пластиков	112
Газеев М.В. Аэроионизационный способ интенсификации пленкообразования лакокрасочных покрытий на древесине и древесных материалах	117
Федотов А.А., Угрюмов С.А. Исследование влияния фенолформальдегидных связующих, модифицированных фурановым олигомером, на свойства древесно-стружечных плит	122
Математическое моделирование	
Бурков В.Д., Харитонов Н.А., Демин А.Н. Анализ и выбор оптимальной системы волоконно-оптического датчика электрического тока	127
Мышенков В.И., Мышенкова Е.В. Численное исследование течения газа в выемке и между двумя телами	133
Санаев В.Г., Степанов И.М., Запруднов В.И., Панферов В.И. Создание отраслевой глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС) – прорывное направление критических технологий	140
Лемесев К.А. Управление вычислительными ресурсами в задаче извлечения структурированной информации из сети Интернет	147
Экономика	
Кожухов Н.И., Жилин А.Д. Инвестиционная и инновационная привлекательность лесного хозяйства и лесопромышленных отраслей	151
Филология	
Косарина А.А., Федотова А.Е. Реальность безумца в произведениях Джеймса Г. Балларда	157
Педагогика	
Майкова В.П., Марина Ж. Особенности методологии постиндустриального общества на примере проблемного обучения грамматике	161
Новиков А.А. История и будущее научного обеспечения сборных команд России (к 80-ти летнему юбилею ВНИИФК)	165
Аннотации	167

CONTENTS

Forestry

Teodoronski V.S., Sanaeva T.S. *About application features of some measures for scotch polygonum aviculare u potentilla health appraisal in terms of Moscow city urban parks*7

Forestry engineering

Makuev V.A., Panferov V.I., Shamarin Y.A., Korneev V.M. *Basics of creating original service system for forest and agricultural machines*10

Siroto A.V., Makuev V.A., Korneev V.M., Shamarin Y.A., Selivanov K.V. *Error analysis made by constructive elements of stands on accuracy of fuel delivery parameters measurements*12

Siroto A.V., Tarlakov Y.V., Selivanov K.V. *Results of new diagnostic method application of diesel fuel system in machines and tractors operating at logging sites of Vladimir region*15

Kovalenko T.V., Kalinin S.U. *Transport development of the fragmented rent forests taking into account influence of climatic factors*17

Kamusin A.A., Kondrashova E.V., Levushkin D.M., Burmistrov V.A. *Resource support the process of construction, repair and maintenance of areas of forest roads*21

Gerasimov V.S., Soloviev R.U., Ignatov V.I. *Rationale for the development of a recycling system of agricultural and forestry machinery*28

Tuluzakov D.V., Podrubalov M.V., Podrubalov V.K. *To a question of a technique of definition given on profiles of a way of mobile cars of forest and forest-park farms*.....34

Larionov V.Ya., Levushkin D.M. *Stages of development of methods for the calculation of non-rigid surfaces of roads*40

Kolnichenko G.I., Siroto A.V., Tarlakov Y.V. *The choice of diesel power plant rational modes operating according with restrictions of ecological European standards*.....44

Kotov A.A. *Elastic and residual deformations of wood plants at the static bend*47

Woodworking and chemical technologies

Kuznetsov E.Y., Toropov A.S., Sharapov E.S. *Experimental investigations of sawing accuracy of wood by circular saws with application electromagnetic guides*54

Polosukhina O.I. *Efficiency of workpieces with a valid wane of edging and trimming lumber*.....58

Ugolev B.N., Gorbacheva G.A., Belkovskiy S.Yu. *The multi-shape memory effect of wood*62

Ugolev B.N., Gorbacheva G.A., Belkovskiy S.Yu. *Experimental investigation of the wood memory effect quantities*.....66

Tuleneva E.M. *Plastic deformation of wood*70

Kosarin A.A., Kuryshov G.N. *Determination of efficiency of pulse drying of birch timber in skilled and experimental installation*74

Fomin A.A., Gusev. V.G. *The use of a geometric model of slab when developing effective machining*.....78

Fomin A.A., Gusev. V.G. *Profile milling capacity modelling of large wood waste on the basis of the volume formula*82

Sharapov E.S., Chernov V.I. *Comparative analysis of wood density techniques determination with using x-ray radiation and device for drilling resistance measurements*.....89

Sharapov E.S., Korolev A.S. *Experimental researches of thermally modified oak longitudinal cylindrical milling and circular sawing*96

Korolev V.I., Vasiliev M.I. <i>Calculation of a string of a guitar apm386 method of forces</i>	100
Oblivin A.N., Lopatnikov M.V. <i>Theoretical bases of forming of composite materials on the wood fillers</i>	103
Varankina G.S., Chubinsky A.N. <i>Justification of the mechanism of phenol – and urea – formaldehyde glue modification by shungite sorbents</i>	108
Tarasov S.M., Azarov V.I., Ivanova A.M. <i>The modified amine-aldehydic oligomers in the production of decorative paper for the paper-laminated plastics</i>	112
Gazeev M.V. <i>Aero ionization way of the intensification of film-formation of paint coatings on wood finish and wood materials</i>	117
Fedotov A.A., Ugrymov S.A. <i>Research of influence phenol formaldehyde resin, modified with furan oligomer on particle board properties</i>	122
Mathematical modeling	
Burkov V.D., Kharitonov N.A., Demin A.N. <i>Analysis and choose optimal optical-fiber system transducer of elektrical current</i>	127
Myshenkov V.I., Myshenkova E.V. <i>Numerical study of gas flow in the recess and between the two bodies</i>	133
Sanayev V. G., Stepanov I.M. Zaprudnov V.I. Panferov V.I. <i>Creation of branch global monitoring space system of the wood (GLOMAS-LES) – the breakthrough direction of critical technologies</i>	140
Lemesev K.A. <i>Management of computing resources in the problem of extraction of structured information from the internet</i>	147
Economy	
Kozhukhov N.I., Zhilin A.D. <i>Innovation and investment prospects of forestry and forest sector</i>	151
Philology	
Kosarina A.A. Fedotova A.E. <i>Reality of the madman in James G Ballard's works</i>	157
Maykova V, Janjic M. <i>Features of the methodology of post-industrial society by the example of problem problem teaching grammar</i>	161
Novikov A.A. <i>History and the future of scientific providing national teams of Russia (to 80 summer anniversary VNIIFK)</i>	165
Abstracts	167

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ТРАВЯНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОБЪЕКТАХ ОЗЕЛЕНЕНИЯ (УЛИЦЫ И МАГИСТРАЛИ г. МОСКВЫ)

В.С. ТЕОДОРОНСКИЙ, проф. каф. ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГУЛ, д-р с.-х. наук,

Т.С. САНАЕВА, доц. каф. ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГУЛ, канд. с.-х. наук

teodoronskiy@mgul.ac.ru

Газоны в виде травяных покрытий на городских объектах озеленения выполняют защитные функции, предотвращая ветровую и воздушную эрозию, улучшая микроклимат в целом. Мониторинг городских озелененных территорий на участках городских улиц и магистралей (разделительные полосы, отступы от жилой и промышленной застройки и т.п.) показал, что газоны, создаваемые на таких объектах из злаковых видов трав *Festuca pratensis*, *Poa pratensis*, *Lolium perenne*, подвержены деградации и отмиранию. На участки газонов, находящиеся в зоне магистралей, отрицательно воздействуют пыль, газовые выбросы, противогололедные материалы, накапливаемые в почвенной среде.

Актуально было выявить и подобрать устойчивые к воздействию антропогенных факторов среды травянистых растений местной флоры, способных к росту и регенерации в условиях атмосферного и почвенного загрязнения.

По программе «Мониторинг зеленых насаждений» предварительно было изучено состояние существующих газонов на объектах озеленения городских магистралей и улиц г. Москвы. В качестве объектов выбраны участки вдоль Алтуфьевского, Ярославского, Щелковского шоссе, на улицах Б. Дмитровка, Ботаническая, Профсоюзная.

Для отбора видов травянистых растений по литературным данным был составлен возможный ассортимент. За основу взяты растения, произрастающие в условиях Москвы и Подмосковья. Из 296 выделено 18 видов для дальнейшего изучения. К их числу были отнесены *Phleum pratense*, *Festuca pratensis*, *Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Lotus*

corniculatus, *Lathyrus pratensis*, *Vinca minor*, *Poligonum aviculare*, *Potentilla anserina*, *Ajuga reptans*, *Thymus serpyllum*, *Prunella vulgaris*, *Dianthus deltoides*, *Glechoma hederacea*, *Antennaria dioica* и др. Отбор наиболее перспективных видов растений проводился по таким критериям, как низкорослость, засухоустойчивость, солеустойчивость, устойчивость к вытаптыванию, вредителям и болезням, возможность семенного размножения, скорости роста (скорости освоения площади). В результате отобрано 5 видов: *Poligonum aviculare*, *Thymus serpyllum*, *Ajuga reptans*, *Prunella vulgaris*, *Potentilla anserine*. Из первоначального списка растений удалены виды, неустойчивые к воздействию неблагоприятных факторов на магистралях, высокорослые, не образующие связной дернины, злаки – *Phleum pratense*, *Festuca pratensis*, *Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*; и бобовые – *Lotus corniculatus*, *Lathyrus .pratensis*. Рассмотрена возможность семенного размножения отобранных видов растений. По этому признаку из ассортимента перспективных видов исключены такие виды, как *Glechoma hederacea*, *Antennaria dioica*. В результате проведенного отбора видов растений выявлено пять наиболее перспективных для дальнейшего исследования: *Poligonum aviculare*, *Thymus serpyllum*, *Ajuga reptans*, *Prunella vulgaris*, *Potentilla anserine*. Им дана подробная биологическая характеристика с рассмотрением морфологии, распространения, регенерации, способности адаптации к неблагоприятным факторам среды.

Навыбранных объектах закладывались пробные площадки стандартных размеров по общепринятой методике для изучения состояния растений. На пробных площадках объ-

ектов проведено почвенное агрохимическое обследование по показателям: гранулометрический состав (по Качинскому); содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91); величина рН водной вытяжки (ГОСТ 26483-85); степень засоления (ГОСТ 26425-85); содержание подвижных форм фосфора и калия (ГОСТ 26488-85, ГОСТ 26207-91); плотность почвы (d_v , г/см³) (по Качинскому); относительная влажность почвы, %.

Установлено, что на указанных объектах озеленения основная часть почв характеризуется нейтральной (или близкой к ней) реакцией среды, кислотность (рН_{н,о}) колеблется от 6,6 до 7,5. Средний уровень рН в исследованных почвах составляет 6,9 единиц. Большая часть обследованных почв характеризуется низким уровнем обеспеченности гумусом. Содержание гумуса составляет 4,1 %, содержание солей – 0,2 % (по сухому остатку). По данным мониторинга зеленых насаждений (2008), засоление возникает весной в период активного снеготаяния. Отмечено высокое содержание фосфора почв. Содержание калия относится к группам с высокой и очень высокой степенью обеспеченности. Отмечено, что на объектах озеленения в данных условиях почвенной среды рост, развитие, регенерация газонных трав видов *Festuca pratensis*, *Poa pratensis*, *Lolium perenne* сильно заторможено, травостой деградирует и отмирает.

Для создания травяных покрытий по поверхности подготовленных пробных площадок производились посевы семян из отобранных видов растений. Посевы проводили весной для видов *Thymus serpyllum*, *Ajuga reptans*, *Prunella vulgaris*, *Potentilla anserine* и осенью для видов *Polygonum aviculare* (нуждающихся в воздействии пониженных температур). Посев – по общепринятой методике озеленительных работ (вручную, с глубиной заделки 0,5–0,7 см).

Оценка состояния травяного покрова проводилась по следующим показателям: биометрия – высота побега (см), число листьев, размеры листьев, устойчивость к болезням и вредителям, засухоустойчивость и зимостойкость, сезонный ритм развития рас-

тений. Показано, что состояние существующих травяных покрытий на объектах (более чем на 70 % территорий) оценивается в основном как «неудовлетворительное».

Установлено, что начало вегетации у всех опытных видов растений на объектах наступает в конце апреля. Самые ранние сроки окончания вегетации отмечены у *Prunella vulgaris* – середина сентября, что снижает перспективы ее использования для травяных покрытий. Виды *Polygonum aviculare*, *Thymus serpyllum*, *Ajuga reptans*, *Potentilla anserine* продолжают вегетацию до поздней осени.

Установлено, что наиболее активное формирование травостоя происходит у сообществ в составе *Polygonum aviculare* и *Potentilla anserine*, которые к концу лета образуют сомкнутый травостой. Наблюдения показали, что у многолетних растений *Potentilla anserine* сомкнутость травостоя стабильно сохраняется на протяжении 3–4-х лет. У видов *Thymus serpyllum*, *Ajuga reptans*, *Prunella vulgaris* в первый год формируется травостой удовлетворительного качества со степенью сомкнутости (проективного покрытия) до 70 % и более. Травяной покров из *Thymus serpyllum* в год посева к июлю формирует покров удовлетворительного качества и до 70 % покрывает поверхность почвы. В последующие два года величина проективного покрытия снижается (до 65 %). На четвертый сомкнутость покрова из *Thymus serpyllum* снижается до 16 %.

Растения *Ajuga reptans* к середине лета (июнь–июль) формируют покров удовлетворительного качества, характеризующийся высокой степенью сомкнутости до 70 %. Через год травостой этого вида изреживается до 60 %, а на третий год после посева проективное покрытие составляет всего 20 %. Развитие травяного покрова *Prunella vulgaris* происходит аналогично виду *Ajuga reptans*.

В результате оценки состояния покрова из испытываемых растений были выявлены качественные характеристики видов травянистых растений для создания травяных покрытий. Сравнительно высокое качество травяного покрытия отмечено на площадках с такими видами, как *Polygonum aviculare*,

Potentilla anserine. Среднее по качеству отмечено у *Thymus serpyllum*, низкое по качеству – у видов *Prunella vulgaris*, *Ajuga reptans*. Полученные данные подтвердили ранее сделанный вывод о перспективности таких видов растений, как *Polygonum aviculare* и *Potentilla anserine*, для создания устойчивых травяных покрытий на объектах озеленения, примыкающих к автомагистралям.

Некоторые результаты исследований, изложенные выше, позволяют сделать следующие выводы.

1. Использование растений местной флоры для озеленения объектов городских магистралей, помимо положительных свойств (экономичность выращивания, легкость и быстрота разведения, длительный период вегетации) имеет дополнительные преимущества: растения менее требовательны к почвам, не требуют особого ухода по сравнению с видами, применяемыми при устройстве обыкновенных газонов.

2. При использовании растений *Polygonum aviculare* и *Potentilla anserine* для создания специального травяного покрытия достигается положительный эффект при минимальной затрате средств. Проведенное исследование показало, что эти виды представляют практический интерес для создания специальных травяных покрытий на объектах озеленения в экстремальных условиях урбанизированной среды.

3. При проектировании экологически устойчивых травяных покрытий на участ-

ках вдоль автомагистралей, на нарушенных землях и пустырях рекомендуется создавать, где к этому нет противопоказаний, травяные покрытия из растений *Polygonum aviculare* и *Potentilla anserine*. Подготовка почвы проводится по агротехническим схемам, аналогичным широко используемым при устройстве обыкновенных газонов. Травяные покрытия рекомендуется устраивать на подготовленном и спланированном основании из растительного грунта. Рекомендуемая толщина плодородного слоя 10–20 см.

Библиографический список

1. Работнов, Т.А. Фитоценология: учеб., пос. для студентов вузов, обучающихся по направлению «Биология» и спец. «Ботаника» / Т.А. Работнов. – М.: МГУ, 1992. – 351 с.
2. Теодоронский, В.С. О становлении и развитии научных направлений в области ландшафтной архитектуры / В.С. Теодоронский // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 5. – 2013. – С. 192–195.
3. Зеликов, В.Д. Некоторые материалы по характеристике почв лесопарков, скверов и улиц Москвы / В.Д. Зеликов // ИВУЗ. – Архангельск: Архангельский ЛТИ, 1964. – Вып. 3. – С. 28–32.
4. Орлов, М.М. Лесная вспомогательная книжка / М.М. Орлов. – М.: Лесная пром-сть, 1926. – 770 с.
5. Плохинский, Н.А. Биометрия / Н.А. Плохинский. – М.: МГУ, 1970. – 370 с.
6. Хржановский, В.Г. Ботаническая география с основами экологии растений / В.Г. Хржановский, С.В. Викторов, Б.С. Родионов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 255 с.
7. Фролов, А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем / А.К. Фролов. – СПб.: Наука, 1996. – 328 с.

ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ФИРМЕННОГО СЕРВИСА ЛЕСНОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В.А. МАКУЕВ, *проф. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, д-р техн. наук,*
 В.И. ПАНФЕРОВ, *доц. каф. ЭТЭ ПЛК МГУЛ, канд. техн. наук,*
 Ю.А. ШАМАРИН, *доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ, канд. техн. наук,*
 В.М. КОРНЕЕВ, *доц. каф. ремонта и надежности машин ФГБОУ ВПО Российский госу-
 дарственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, канд. техн. наук*

panferov@mgul.ac.ru

Рыночные преобразования в России сопровождались снижением государственной поддержки обновления машинно-тракторного парка в лесном и сельскохозяйственном секторе экономики, свободным доступом на внутренний рынок импортной новой и поддержанной техники, сокращением выпуска лесных и сельскохозяйственных машин и их комплектующих.

Одной из наиболее значимых проблем, ограничивающих рост хозяйственного производства и напрямую влияющих на его конкурентоспособность, является состояние основных фондов, в том числе лесной и сельскохозяйственной техники.

Эффективность любого производства в значительной степени зависит от уровня организации в отрасли технического сервиса. В международной практике машиноиспользования термин «технический сервис» рассматривается как комплекс услуг, оказываемых товаропроизводителю, в приобретении средств механизации, эффективном использовании и поддержании их в работоспособном состоянии в течение всего периода эксплуатации, а также утилизации техники, отработавшей срок службы [1].

Мировой рынок лесных и сельскохозяйственных машин в настоящее время становится «рынком потребителя». Ведущие фирмы-производители лесных и сельскохозяйственных машин ведут конкурентную борьбу за потребителя. В этих условиях, наряду с качеством и другими потребительскими свойствами самой техники, важную роль в реализации играют спектр и объем сопутствующих мероприятий и услуг. В мероприятия и услуги, обеспечивающие реализацию лесных и сельскохозяйственных машин, входят реклама, финансовая под-

держка потребителя, эффективная подготовка персонала, доставка машин, предпродажная подготовка, послепродажный сервис, включающий техническое обслуживание и ремонт техники в гарантийный и послегарантийный периоды, поставка запасных частей [2].

При реализации лесных и сельскохозяйственных машин особое внимание уделяется рекламе. В рекламных целях проводятся такие мероприятия, как международные, национальные и региональные выставки, демонстрации машин в работе, безвозмездная передача машин в учебные заведения, предоставление техники для различных профессиональных соревнований, адресная рассылка рекламы, размещение ее в специальных изданиях, на радио и телевидении.

Учитывая, что современная лесная и сельскохозяйственная техника достаточно дорогая, покупателям при ее приобретении представляется, как правило, кредит или лизинг.

Зарубежный и отечественный опыт машиноиспользования показывают, что наиболее эффективной формой организации технического сервиса на этапе обеспечения товаропроизводителей техникой является дилерская. При этой форме изготовитель предоставляет право реализации и обслуживания машин на основе договора дилеру, отвечающему предъявляемым требованиям [3].

Основными функциями дилерского центра являются:

- изучение рынка сбыта, организация рекламы продукции и определение платежеспособного спроса;
- формирование заказа на продукцию, оформление договоров с поставщиками и приемка продукции по количеству, качеству и комплектности;

- проведение предпродажного обслуживания продукции и поставка ее потребителю;
- рассмотрение и удовлетворение рекламационных претензий потребителей в гарантийный период эксплуатации машин;
- обеспечение работоспособности машин путем проведения качественного технического обслуживания и ремонта на договорной основе;
- обеспечение потребителей запасными частями в течение всего периода эксплуатации машин;
- организация курсов обучения эксплуатационно-ремонтного персонала потребителей правилам эксплуатации и технического сервиса машин;
- обеспечение потребителей нормативно-технической документацией по устройству, эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту машин;
- информирование потребителя об изменениях, внесенных в конструкцию машины;
- сбор и передача изготовителю информации о качестве и надежности реализованных машин.

Разновидностью дилерской формы технического сервиса является организация фирменного технического сервиса. Фирменный технический сервис предусматривает непосредственное участие изготовителей техники в ее обслуживании и ремонте на собственных производственных площадях или на базе ремонтных предприятий с привлечением посреднических структур, специализирующихся на работах по техническому сервису [4].

Таким образом, можно сделать предположение, что увеличение объемов производства лесной и сельскохозяйственной техники и объемов ее сбыта будет самым тесным образом связано с эффективной маркетинговой и логистической деятельностью, производством более качественных машин и организацией сопутствующего сервиса.

Все эти направления производитель сможет реализовать только при наличии разветвленной и управляемой товаропроводя-

щей сети, сочетающей различные формы ее построения – сеть дилерских центров, производственно-технических или снабженческо-сбытовых кооперативов и т.п., действуя через которые, производители смогут реализовать машиностроительную продукцию и обеспечивать технический сервис в ассортименте, удовлетворяющем как крупных, так и мелких сельхозпроизводителей. Переход в рыночных условиях отечественных изготовителей лесной и сельскохозяйственной техники к системе фирменного обслуживания, при которой сервис выполняется по инициативе и при участии изготовителя, обусловлен приоритетом товаропроизводителя и взаимовыгодным интересом. Такое положение ставит предприятия машиностроения перед необходимостью формирования дилерских центров [5].

Дальнейшее развитие национальной системы технического сервиса связано с обеспечением высокого качества услуг, оказываемых сервисными предприятиями. В настоящее время качество услуг становится одним из главных факторов, определяющих коммерческий успех предприятия, его конкурентоспособность. Качество работ зависит от многих факторов: оснащенности предприятия прогрессивным технологическим оборудованием и нормативно-технической документацией, уровня квалификации и профессионального мастерства персонала предприятия, качества используемых запасных частей, уровня организации рабочего процесса и др.

Таким образом, эффективность системы технического сервиса должна определяться качеством взаимодействия трех подсистем «продажа – сервис – запасные части». Решение данной проблемы возможно на основе использования логистических принципов в области организации и управления предприятиями дилерско-сервисной сети.

Библиографический список

1. Винокуров, В.Н. Машины и механизмы лесного хозяйства и садово-паркового строительства: учебник для студ. вузов по спец. «Лесное хозяйство» и «Садово-парковое и ландшафтное строительство» / В.Н. Винокуров. – М.: Академия, 2004. – 396 с.

2. Немцов, А.Е. Система технического сервиса в АПК / А.Е. Немцов. – Новосибирск, 2002. – 264 с.
3. Сухоставец, П.Г. Организационно-экономические основы технического оснащения села / П.Г. Сухоставец, А.С. Велиев, В.Д. Васин. – М.: ПРОДЭКО, 2005. – 382 с.
4. Вольф, А.К. Совершенствование обеспечения системы технического сервиса лесных машин запасными частями: на примере ОАО «КРАСЛЕ-СМАШ»: дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / А.К. Вольф. – М., 2006 – 125 с.
5. Конкин, Ю.А. Технический сервис – опыт и перспективы развития / Ю.А. Конкин, И.Г. Голубев, М.Ю. Конкин, В.Н. Кузьмин. – М.: Росинформагротех, 2011.– 340 с.
6. Сиротов, А.В. К вопросу применения нанотехнологий и наноматериалов в лесном машиностроении / А.В. Сиротов, Ю.А. Шамарин, В.И. Панферов, К.В. Селиванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 7. – 2012. – С. 147–149.
7. Селиванов, К.В. Диагностирование дизелей лесных машин, работающих на биотопливе / К.В. Селиванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1. – 2013. – С. 142–145.

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ВНОСИМЫХ КОНСТРУКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ СТЕНДОВ, НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВОПОДАЧИ

А.В. СИРОТОВ, *проф. каф. ЭТЭ ПЛК МГУЛ, д-р техн. наук,*
 В.А. МАКУЕВ, *проф. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, д-р техн. наук,*
 В.М. КОРНЕЕВ, *доц. каф. ремонта и надежности машин ФГБОУ ВПО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, канд. техн. наук,*
 Ю.А. ШАМАРИН, *доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ, канд. техн. наук,*
 К.В. СЕЛИВАНОВ, *ст. препод. кафедры ЭТЭ ПЛК МГУЛ*

selivanov_kv@mail.ru

По результатам производственных испытаний и исследованиям эксплуатационных характеристик конструктивных систем стендов установлено, что на процесс испытания и регулирования топливных насосов высокого давления (ТНВД) воздействуют незаметные для регулировщика входные и выходные факторы. К входным факторам можно отнести систему привода и систему топливоподачи, а к выходным – пропускную способность форсунок и нагнетательных трубопроводов, систему измерения подачи топлива [1–3]. Все эти погрешности в совокупности и приводят к значительным общим потерям точности при измерении диагностируемых параметров топливоподачи.

Влияние мензурочной измерительной системы

В настоящее время во всех отечественных стендах для испытания и регулирования ДТА измерение подачи топлива основано на считывании показаний объема топлива, собранного в стеклянную мерную емкость

за определенное число циклов. Технические характеристики мерных емкостей представлены в таблице.

Проанализируем основные причины, вызывающие возникновение случайных погрешностей. Возникновение погрешности слива топлива связано с взаимодействием молекул топлива и материала, из которого изготовлена мерная емкость. Это взаимодействие приводит к «прилипанию» топлива к стенкам мерной

Т а б л и ц а

**Технические характеристики
мерных емкостей**

Наименование показателя	Значение показателя	
	Сосуд емкостью 40 мл	Сосуд емкостью 135 мл
Вместимость (номинальная), мл	40	135
Цена деления, мл	0,2	1,0
Вместимость, соответствующая нижней отметке шкалы, мл	14	40
Габаритные размеры, мм	17,4×320	28,4×320
Масса, кг	0,070	0,117

емкости. В результате, после слива топлива из мензурок, небольшая его часть остается в мерной емкости, что при последующем измерении приводит к увеличению количества топлива, фактически поданного насосом.

Компенсировать погрешность слива топлива можно достаточно длительной выдержкой (до 2 мин) мерной емкости горловиной вниз, что в условиях испытаний насосов приводит к снижению производительности труда. Величина этой погрешности в значительной мере зависит от температуры (вязкости) топлива, степени очистки внутренних поверхностей мерных емкостей, уровня вибрации стенда, величины смоченной внутренней поверхности мерной емкости, а также от других факторов, связанных с особенностями физического состава и технологии изготовления мерных емкостей.

Погрешность осаждения топлива, так же как и погрешность слива топлива, обусловлена явлением смачивания внутренних поверхностей мерной емкости. В рассматриваемом классе мензурочных систем погрешность возникает в связи с неполным стеканием топлива с внутренних поверхностей мерной емкости в интервале времени между прекращением подачи топлива в мерную емкость и моментом считывания показаний собранного топлива в каждой мерной емкости. Из определения погрешности осаждения следует, что она, в отличие от погрешности слива, уменьшает фактически собранный объем топлива за период измерения. Для стабилизации стекания топлива с внутренних поверхностей мерных емкостей (стабилизация погрешности осаждения) перед считыванием показаний необходимо осуществлять тридцатисекундную выдержку времени. Погрешность осаждения зависит от тех же факторов, что и погрешность слива. Однако необходимо отметить, что если при увеличении заполнения мерных емкостей топливом погрешность слива увеличивается, то погрешность осаждения может уменьшаться, так как в этом случае уменьшается площадь смоченной поверхности выше уровня раздела сред «воздух–топливо».

Шкальная погрешность имеет место при считывании показаний по шкалам мер-

ных емкостей промышленного изготовления. Она обуславливается наличием мениска на поверхности раздела сред «воздух–топливо», а также неудобным для считывания показаний положением глаз оператора относительно шкалы мерных емкостей. При нормальных условиях испытания шкальная погрешность может равняться половине цены деления шкалы мерных емкостей, а в неблагоприятных – достигать величины цены деления шкалы. Влияние шкальной погрешности можно свести к минимуму конструктивно, путем использования в стендах мензурочной системы с нижним наполнением и принудительным вытеснением топлива из мерных емкостей.

Погрешность градуировки обусловлена технологией изготовления и конструкцией мерных емкостей (номинальная вместимость; цена деления; вместимость, соответствующая нижней отметке шкалы). Погрешность градуировки уменьшается при использовании мерных емкостей с рабочим объемом 40 и 135 мл, ценой деления 0,1 и 0,2 мл и нижней отметкой шкалы, начинающейся с нуля.

Погрешность, вносимая счетчиком циклов, приводит к попаданию в мерные емкости количества доз (единичных впрысков) топлива, больше или меньше установленного оператором. Погрешность циклов связана в основном с механизмом, который приводит в действие счетчик циклов. Погрешность счетчика и механизма привода лотка составляет один впрыск и наиболее весома при проведении измерений с использованием мензурок с наименьшим объемом (40 мл). Например, если вместо 100 заданных впрысков в мерные емкости попадает количество топлива от 103 впрысков, то при величине цикловой подачи топлива 200 мм^3 ($0,2 \text{ см}^3$) ошибка циклов составит $0,4 \text{ мм}^3$.

Наряду с отмеченными погрешностями в рассматриваемой мензурочной системе могут проявляться погрешности, которые трудно выявить и оценить. Например, на величину объема топлива, собранного за период измерения, влияет наличие пузырьков нерастворенного воздуха в топливе, разбрыз-

гивание струи топлива лотком при перекрытии горловины, различие в гидравлическом сопротивлении отдельных линий нагнетания топлива и т.п.

Анализ погрешностей, вносимых мензурочной системой измерения подачи топлива, показывает, что наличие остаточного количества топлива в мерных емкостях, точность считывания оператором уровня мениска топлива по наружной шкале мерных емкостей, наличие пузырьков воздуха в мерных емкостях на поверхности раздела сред «воздух–топливо» вносят существенные погрешности в процесс измерения цикловой подачи топлива и являются достаточно значимыми. Согласно нормативным требованиям, номинальная погрешность измерения цикловой подачи топлива должна быть не более 1 %.

Также необходимо отметить, что еще одним существенным недостатком мензурочной системы измерения подачи топлива является повышенная экологическая опасность для оператора, связанная с выделением паров топлива в окружающую среду и их влиянием на состояние здоровья оператора.

При использовании мензурочных систем измерения подачи топлива считывание показаний по шкале 12-ти мерных емкостей вызывает повышенное напряжение зрения оператора (связано с небольшим расстоянием между соседними штрихами шкал), что приводит к повышению его утомляемости.

Таким образом, можно констатировать, что основными критериями совершенствования системы измерения подачи топлива должны быть:

- уменьшение погрешности измерения до 0,5 %;
- повышение производительности измерения не менее чем в 2 раза;
- повышение экологической безопасности для оператора.

Учитывая вышесказанное, стоит также отметить, что в последнее время ведутся исследования по разработке альтернативных методов диагностирования цикловой подачи дизельных топливных насосов высокого давления [4, 5].

Так, К.В. Селивановым [6] предложено диагностировать цикловую подачу ТНВД расчетным методом по разработанной им математической модели на основании измерения смежных параметров работы дизельной топливной аппаратуры: давление начала впрыскивания топлива и продолжительности впрыскивания, выраженного через разницу углов положения кулачкового вала в топливном насосе высокого давления в начале и конце топливоподачи.

Современные исследования и разработки авторов на их основе направлены на уменьшение погрешности диагностирования контролируемых параметров путем исключения или уменьшения факторов, их создающих. Использование расчетно-вычислительной техники, оптимальной компоновки диагностических стендов с применением современных измерительных датчиков и максимальное исключение человеческого фактора при проведении диагностировании положительно сказывается на точности получаемых данных.

Библиографический список

1. Габитов, И.И. Топливная аппаратура автотракторных дизелей / И.И. Габитов, А.В. Неговора. – Уфа: БГАУ, 2004. – 216 с.
2. ГОСТ 10578-96. Насосы топливные дизелей. Общие технические условия. – Минск: ИПК издательство стандартов, 1997. – 17 с.
3. Руководство по испытанию и регулировке топливной аппаратуры тракторных, комбайновых и автомобильных дизелей. – М.: ГОСНИТИ, 1990. – 186 с.
4. Селиванов, К.В. Электронная информация в системе диагностирования технического сервиса / К.В. Селиванов, Ю.А. Шамарин, В.И. Панферов, В.М. Корнеев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 5. – С. 49–52.
5. Данилов, С.В. Метод и цифровой прибор для автоматизированного определения цикловой подачи топлива при регулировании топливной аппаратуры дизелей: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.03 / С.В. Данилов – М., 2010. – 125 с.
6. Селиванов, К.В. Повышение эффективности эксплуатации лесозаготовительных машин путем совершенствования диагностирования дизельной топливной аппаратуры: дисс. ... канд. техн. наук / К.В. Селиванов. – М.: МГУЛ, 2013.
7. Селиванов, К.В. Диагностирование дизелей лесных машин, работающих на биотопливе / К.В. Селиванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1. – 2013. – С. 142–145.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ МАШИН И ТРАКТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ЛЕСОЗАГОТОВКАХ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. СИРОТОВ, *проф. каф. ЭТЭ ПЛК МГУЛ, д-р техн. наук,*
Я.В. ТАРЛАКОВ, *ст. препод. каф. ЭТЭ ПЛК МГУЛ, канд. техн. наук,*
К.В. СЕЛИВАНОВ, *ст. препод. Каф. ЭТЭ ПЛК МГУЛ*

selivanov_kv@mail.ru

Дизельный двигатель получил большое распространение в лесном комплексе и во многом определяет эксплуатационные качества машин, работающих на лесозаготовках [1]. Основные показатели работы дизеля, такие как мощность, экономичность, экологичность, плавность работы и надежность, напрямую зависят от качества работы топливной аппаратуры. В процессе эксплуатации для обеспечения нахождения параметров работы топливной аппаратуры в пределах допустимых значений производится техническое обслуживание и ремонт. Особенно остро проблема поддержания техники в работоспособном состоянии стоит при эксплуатации машин со значительным сроком службы. В лесном комплексе, по данным Ю.А. Шамарина и В.И. Панферова [2,3], процент машин, используемых свыше 10 лет, составляет: тракторы трелевочные 52 %, валочно-пакетирующие машины 81 %, сучкорезные машины 39 %, лесовозные автомобили 49 % и т.д. Техника, имеющая большую наработку, требует увеличенного количества технических воздействий в процессе работы, а также повышенного внимания к выполнению рабочих процессов и поддержанию выходных параметров работы.

На основании проведенной научной работы кафедрами колесных и гусеничных машин, электротехники, теплотехники и энергоснабжения предприятий лесного комплекса, технологии машиностроения и ремонта МГУЛ была разработана методика диагностирования топливной аппаратуры дизелей лесных машин в условиях эксплуатации [5]. Применительно к разработанной методике создан экспериментальный образец диагностического стенда (патент на полезную модель № 109506) рис. 1 и 2 [4].

Функциональность стенда базируется на разработанной теоретической модели диагностирования топливной аппаратуры в условиях эксплуатации на основании получения значений параметров давления начала впрыскивания, угла опережения подачи топлива и цикловой подачи. На данный момент не существует способа измерения цикловой подачи топлива в условиях эксплуатации лесной техники ввиду того, что существующие диагностические стенды предполагают сбор топлива в мензурки. Учитывая отсутствие возможности измерения параметра цикловой подачи в условиях эксплуатации, в разработанном стенде этот параметр рассчитывается по разработанной математической модели на основании измерения двух других параметров – давления начала впрыскивания топлива и угла опережения подачи топлива, с учетом некоторых постоянных и ранее определенных коэффициентов.

Разработанный экспериментальный образец стенда получил практическое применение во Владимирской области на предприятиях ГАУ ВО «Владлесхоз», ООО «Гусевское лесопромышленное предприятие», ОАО «Гусевской леспромхоз». Управление техническим состоянием с использованием разработанного метода было проведено на 19 машинах и тракторах, работающих на лесозаготовках, в их числе МТЗ-80/82, ТДТ-55/55А и другие машины с дизельными двигателями типа Д-240...245.

На первом этапе управления техническим состоянием топливной аппаратуры было проведено диагностирование основных параметров ее работы на месте эксплуатации техники для определения фактического состояния. Результаты проведенных измерений представлены на рис. 3.

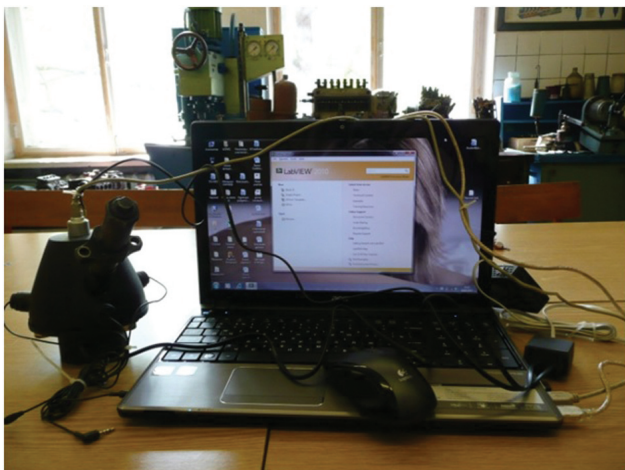


Рис. 1. Общий вид экспериментального образца диагностического стенда для топливной аппаратуры



Рис. 2. Применение диагностического стенда в условиях эксплуатации

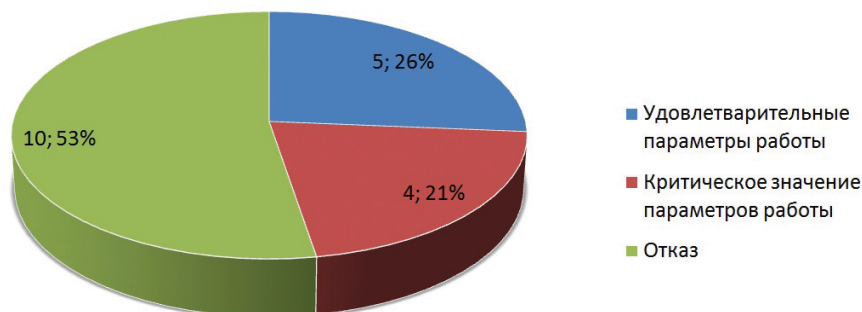


Рис. 3. Полученные результаты состояния дизельной топливной аппаратуры

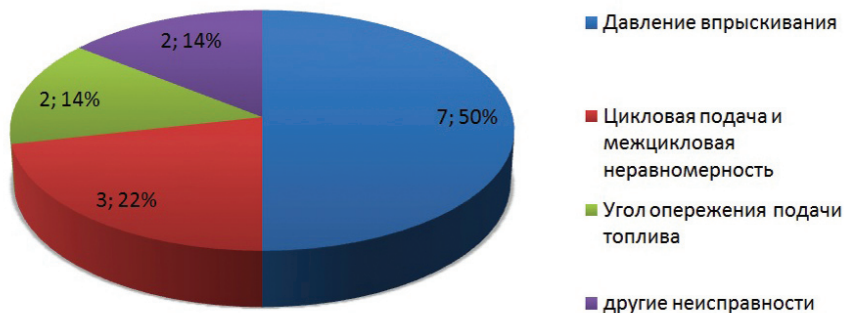


Рис. 4. Распределение параметров работы топливной аппаратуры, вышедших за допустимые ограничения

Полученные данные свидетельствуют о неудовлетворительном состоянии техники, работающей на лесозаготовках Владимирской области. Только 5 машин из 19 проверенных могут продолжать эксплуатацию без технического обслуживания и ремонта. Отклонение параметров работы от допустимых влечет увеличение расхода топлива и горючесмазочных материалов, падение номинальной мощности, ухудшение экологических показателей техники, снижение надежности. На втором этапе, на основании полученных данных о фактических параметрах работы топливной

аппаратуры, были проведены наладочные и ремонтные работы с целью их приведения к допустимым пределам. После всех ремонтных и наладочных работ топливная аппаратура была снова продиагностирована. При этом удалось восстановить требуемые значения параметров работы топливной аппаратуры на 12 машинах из 15, топливная аппаратура 2 машин не могла быть отремонтирована в условиях эксплуатации и отправлена на ремонт в специализированный центр. Распределение параметров, вышедших за допустимые показатели, представлено на рис. 4.

Практическое применение предложенного метода диагностирования топливной аппаратуры и разработанного алгоритма управления техническим состоянием дизельной топливной аппаратуры лесозаготовительной техники позволило значительно увеличить надежность ее работы, повысить эффективность, уменьшить расход топлива и улучшить экологические показатели.

Библиографический список

1. Сиротов, А.В. К вопросу диагностирования дизелей лесных машин / А.В. Сиротов, К.В. Селиванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 4 (87). – С. 50–51.
2. Шамарин, Ю.А. Проблемы диагностирования топливной аппаратуры дизелей лесных машин / Ю.А. Шамарин, В.И. Панферов, К.В. Селиванов, В.М. Корнеев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 3 (79). – С. 107–109.
3. Сиротов, А.В. К вопросу применения нанотехнологий и наноматериалов в лесном машиностроении / А.В. Сиротов, Ю.А. Шамарин, В.И. Панферов, К.В. Селиванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 7 (90). – С. 147–150.
4. Селиванов, К.В., Шамарин Ю.А., Панферов В.И. Патент на полезную модель № 109506 «Устройство для определения параметров процесса топливовой подачи дизельной топливной аппаратуры».
5. Селиванов, К.В. Повышение эффективности эксплуатации лесозаготовительных машин путем совершенствования диагностирования дизельной топливной аппаратуры: дисс... канд. техн. наук / К.В. Селиванов. – М.: МГУЛ, 2013.
6. Селиванов, К.В. Диагностирование дизелей лесных машин, работающих на биотопливе / К.В. Селиванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1. – 2013. – С. 142–145.

ТРАНСПОРТНОЕ ОСВОЕНИЕ ФРАГМЕНТИРОВАННЫХ АРЕНДНЫХ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Т.В. КОВАЛЕНКО, доц. каф. СТЛ СПб ГЛТУ имени С.М. Кирова, канд. техн. наук,
С.Ю. КАЛИНИН, каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ

taras.kovalenko.spb@gmail.com

Одним из наиболее проблемных и «узких» мест современного отечественного лесного комплекса продолжает оставаться транспорт, в частности недостаточная плотность сети лесных автомобильных дорог. К настоящему времени разработано большое количество методик и математических моделей, позволяющих определить рациональное расстояние между лесными дорогами, их расположение на конкретных площадях, рассчитать потребные дорожные конструкции. Далее возникает проблема выбора очередности транспортного освоения того или иного участка, а также установления рациональных сроков эксплуатации лесотранспортных путей [1–3], однако вопросы учета климатических факторов в них раскрываются недостаточно подробно.

В качестве основных принципов при выделении зон в лесных массивах при их транспортном освоении можно отметить:

– деление лесного массива непреодолимыми препятствиями в виде железнодо-

рожных путей, не оборудованных переездами, ниток трубопроводов, водоохраных зон и т.д.;

– выделение территорий безусловной зимней вывозки, возможных только в зимний период. К таковым можно отнести, например, пересекающие лесной массив крупные реки, на которых нет переправ круглогодочного действия, протяженные болота и озера;

– выделение территорий сезонной вывозки.

Выделение зон сезонной вывозки целесообразнее всего производить в зависимости от грунтово-гидрологических условий территории, поскольку этот параметр в большей степени, чем другие, подвержен колебаниям в течение года.

Сезонное деление на территории по транспортной доступности следует увязывать с сезонным планированием лесозаготовительных работ [4], тем самым появляется возможность более тесной связи лесосечных и лесотранспортных работ, что позволит обеспечить

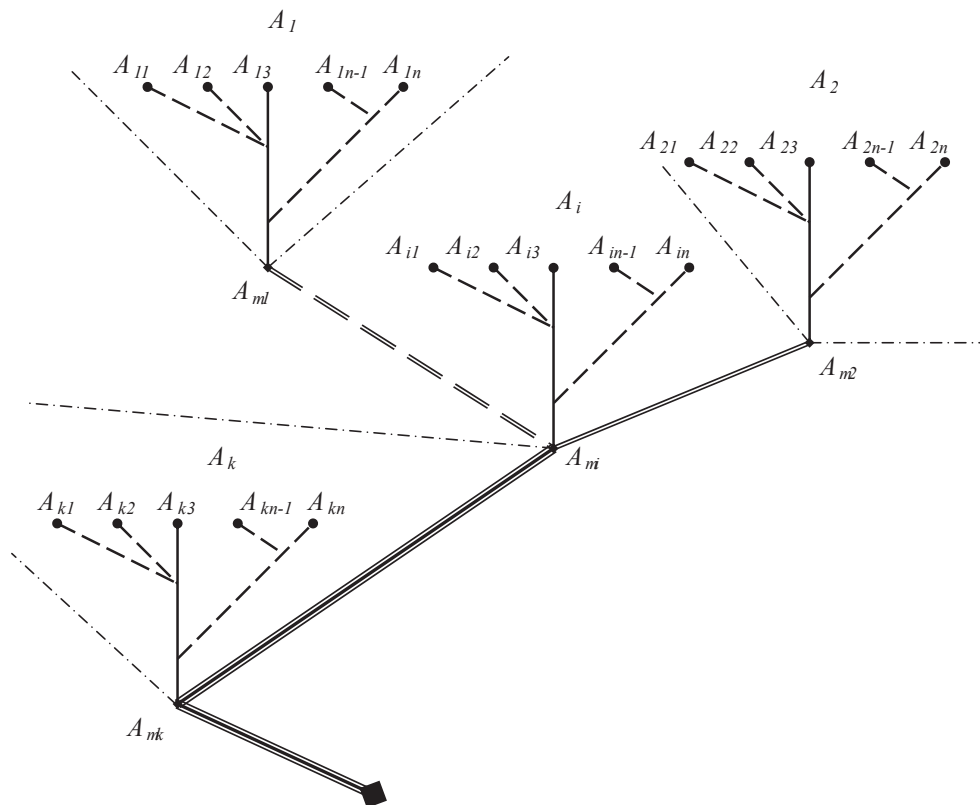


Рисунок. Схема транспортной сети предприятия

более ритмичную поставку заготовленной древесины на нижний склад предприятия и снизить потери от длительного хранения древесины на лесных терминалах [5].

Опираясь на несущую способность [4], лесные почво-грунты могут быть разделены на группы [6], на базе которых можно выделить зоны сезонной транспортной доступности:

- только зимняя вывозка лесоматериалов;
- вывозка в зимний и летний период;
- вывозка в зимний и летне-осенний период;
- круглогодичная вывозка.

Деление лесосырьевой базы на фрагменты с учетом сезонной транспортной доступности целесообразнее вести для всей арендной площади.

Таким образом, следует опираться на следующие ключевые моменты при формулировке задачи оптимизации транспортного освоения. Период планирования составляет 10 лет. Этот временной промежуток обусловлен периодом планирования при составлении

лесохозяйственных регламентов, проектов освоения лесов и лесным планом субъекта РФ. Шаг планирования равен 1 месяцу.

Лесной массив рассматривается как фрагментированный. В настоящее время на территории европейской части РФ фактически не осталось лесных площадей, транспортное освоение которых можно вести классическим «пионерным» способом. Это следует особенно учитывать средним и малым предприятиям, лесосырьевые базы которых состоят из множества небольших, расположенных на значительном расстоянии друг от друга лесных участках.

Как уже упоминалось, территория арендных лесных массивов может быть разделена непреодолимыми или сезонно преодолимыми препятствиями. Таковыми могут выступать линии железных дорог с необорудованными автомобильными переездами или крупные реки с отсутствующими переправами и т.п.

За дорожную основу берется проект транспортной сети с нанесенными существующими лесными дорогами.

Узлами транспортной сети являются лесные терминалы, организуемые у магистралей и веток. В настоящее время существует большое количество методик оптимального размещения транспортных путей на уровне усов и выделов. Лесные терминалы, как правило, размещаются на уровне кварталов.

В качестве неотъемлемой составляющей транспортной сети рассматриваются ветки круглогодичного и сезонного действия, магистрали и дороги общего пользования. Учет в расчетной схеме (рисунок) дорог общего пользования вызван, с одной стороны, тем, что они выступают естественной связующей магистралью фрагментированных лесосырьевых баз. С другой стороны, это обусловлено налоговыми сборами с большегрузного автотранспорта, принимаемыми на законодательном уровне в последнее время и с увеличением доли автомобильных перевозок древесины.

Транспортная сеть является «пульсирующей». Так как в состав транспортной сети включены дороги сезонного действия, то в некоторые расчетные месяцы часть лесной площади может быть отрезана от основного массива.

«Вес» дороги определяется затратами на перевозку, учитывающими дорожную, транспортную и климатическую составляющую. Включение климатической составляющей в состав затрат позволит определить эффективные сроки функционирования того или иного участка дорожной сети и тем самым достичь эффективного освоения арендных лесных площадей.

Для математического описания задачи воспользуемся следующими зависимостями.

Общий объем древесины, заготавливаемый во фрагменте лесного массива, определяется как

$$A_i = \sum_{j=1}^n A_{ij}, \quad (1)$$

где A_{ij} – объем древесины, заготавливаемый на j -ой лесосеке i -го фрагмента лесного фонда (ЛФ);

A_j – объем древесины, заготавливаемый в i -ом фрагменте ЛФ.

Объем лесоматериалов, отправляемых

с лесосеки на лесной терминал внутри фрагмента лесного массива, определяется по зависимости

$$X_{mi} = X_{umi} + \left(\sum_{j=1}^n A_{ij} - \sum_{j=1}^n X_{ij} \right), \quad (2)$$

$$A_i \geq X_{ti}, \quad (3)$$

где $X_{ij} = \{0, A_{ij}\}$ – объем древесины, отправляемой напрямую на нижний склад предприятия;

X_{ti} – объем древесины, складываемой на терминале при i -ом фрагменте ЛФ.

Объем лесоматериалов, отправляемых с терминала на нижнескладскую площадку предприятия, рассчитывается как

$$X_{pi} = X_{ti} - X_{osti}, \quad (4)$$

где X_{imi} – имеющийся объем древесины на i -ом терминале;

X_{pi} – объем древесины, отправляемой с i -го терминала на нижний склад предприятия.

Потребный объем древесины, хранимой на нижнескладской площадке, обуславливается маркетинговыми исследованиями и отвечает условию

$$B_{\pi} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij} + \sum_{i=1}^k X_{pi}, \quad (5)$$

где X_{osti} – остаток древесины на i -ом терминале;

B_{π} – требуемый нижнескладской объем древесины.

Общий объем лесоматериалов, заготавливаемых и отправляемых на нижний склад, определяется как

$$A_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^k A_i = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n A_{ij}, \quad (6)$$

$$A_{\text{общ}} \geq B_{\pi}, \quad (7)$$

где $A_{\text{общ}}$ – общий объем древесины, заготавливаемой в ЛФ предприятия.

Таким образом, используя в качестве критерия оптимизации минимум затрат, получим вид целевой функции

$$R = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^k C_{pi} X_{pi} \rightarrow \min, \quad (8)$$

$$C_{ij} = C_{\text{доп}i} + C_{\text{мл}i} + C_{\text{мз}i} + C_{\text{вл}i} + C_{\text{вз}i}, \quad (9)$$

$$C_{pi} = C_{\text{вл}i} + C_{\text{вз}i} + C_{\text{мл}i} + C_{\text{мз}i} + C_{xi} + C_{\text{доп}i}, \quad (10)$$

где C_{ij} – удельные затраты на поставку древесины из лесосеки на нижний склад напрямую;

- C_{ni} – удельные затраты на поставку древесины с терминала на нижний склад;
- C_{xi} – удельные затраты на хранение древесины на терминале и погрузочно-разгрузочные работы;
- $C_{допi}$ – удельные затраты на перевозку древесины по дорогам общего пользования;
- $C_{млi}$ – удельные затраты на перевозку древесины по лесовозным магистралям круглогодочного действия;
- $C_{мзi}$ – удельные затраты на перевозку древесины по лесовозным магистралям зимнего действия;
- $C_{влi}$ – удельные затраты на перевозку древесины по технологическим путям круглогодочного действия;
- $C_{взi}$ – удельные затраты на перевозку древесины по технологическим путям зимнего действия.

Удельные затраты на перевозку древесины по дорогам общего пользования

$$C_{млi} = M/\Pi_{лм} + C_{рег} \quad (11)$$

где $C_{рег}$ – сборы в региональные и федеральные сборы.

Удельные затраты на перевозку древесины по лесовозным магистралям круглогодочного действия

$$C_{млi} = \frac{n_{ам} \cdot C_{лм} \cdot L_{лм}}{100 \cdot Q} + \frac{B_{п} \cdot L_{лм}}{Q} + \frac{M}{\Pi_{лм}}, \quad (12)$$

Удельные затраты на перевозку древесины по лесовозным магистралям зимнего действия

$$C_{мзi} = \frac{n_{ам} \cdot C_{зм} \cdot L_{зм}}{100 \cdot Q} + \frac{B_{п} \cdot L_{зм}}{Q} + \frac{M}{\Pi_{зм}}, \quad (13)$$

Удельные затраты на перевозку древесины по технологическим путям круглогодочного действия

$$C_{влi} = \frac{k_{уд} \cdot C_{лв}}{100 \cdot d_{лв} \cdot Q} + \frac{B_{п} \cdot L_{лв}}{Q} + \frac{M}{\Pi_{лв}}, \quad (14)$$

Удельные затраты на перевозку древесины по технологическим путям зимнего действия

$$C_{взi} = \frac{k_{уд} \cdot C_{зв}}{100 \cdot d_{зв} \cdot Q} + \frac{B_{п} \cdot L_{зв}}{Q} + \frac{M}{\Pi_{зв}}, \quad (15)$$

где $C_{лм}$, $C_{зм}$, $C_{лв}$ и $C_{зв}$ – стоимости строительства 1 км магистрали круглогодочного и зимнего действия, а также технологических путей круглогодочного и зимнего действия соответственно, руб.;

$L_{лм}$, $L_{зм}$, $L_{лв}$ и $L_{зв}$ – протяженность магистралей круглогодочного и зимнего действия, а также технологических путей круглогодочного и зимнего действия соответственно, км;

Q – годовой объем вывозки, м³;

$B_{п}$ – затраты на содержание 1 км пути, руб.;

$\Pi_{лм}$, $\Pi_{зм}$, $\Pi_{лв}$ и $\Pi_{зв}$ – производительность лесовозного автопоезда на вывозке древесины на магистралях и технологических путях круглогодочного и зимнего действия соответственно, м³;

M – стоимость машиносмены, руб.

Производительность лесовозного автопоезда на вывозке древесины может быть определена по формуле [7]

$$\Pi = \frac{(T - t_{пз}) k_{вр} \cdot Q_{пол}}{120 \cdot \frac{l}{v_{ср}} + t_{пр}}, \quad (16)$$

где T – продолжительность рабочей смены, мин;

$t_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, мин;

$k_{вр}$ – коэффициент использования рабочего времени;

$Q_{пол}$ – полезная нагрузка на автопоезд, м³;

l – расстояние вывозки, км;

$v_{ср}$ – средняя скорость движения автопоезда, км/ч;

$t_{пр}$ – суммарное время на простои автопоезда, мин.

В свою очередь, среднюю скорость движения лесовозного автопоезда по дорогам общего пользования, магистралям и технологическим путям можно связать с основными климатическими факторами, используя базу метеорологических наблюдений и данные мониторинговых систем управления движением лесовозных автопоездов [8]. Как показали исследования, после выбора наиболее значимых климатических факторов [6], для условий Вологодской области данная зависимость для магистральных автопоездов выглядит следующим образом

$$v_{ср} = 0,162814 \cdot a + \frac{35,8485}{k_{д}} + 0,0443855 \cdot t_{п}^2 - 0,025966 \cdot t_{в}^2, \quad (17)$$

Для полноприводных автопоездов

$$v_{ср} = 0,192589 \cdot a + \frac{26,5996}{k_{д}} + 0,0409256 \cdot t_{п}^2 - 0,0412448 \cdot t_{в}^2, \quad (18)$$

где $v_{ср}$ – средняя скорость движения автопоезда, км/ч;

a – альbedo поверхности, %;

k_d – коэффициент, учитывающий категорию дороги (1,0 – магистрали; 2,0 – ветки летние; 3,0 – ветки зимние);
 t_n – средняя месячная температура почвы, °С;
 t_v – средняя месячная температура воздуха, °С.

Резюмируя, следует отметить, что сезонное планирование лесосечных работ следует тесно согласовывать с сезонным зонированием транспортной доступности фрагментированных арендных лесных площадей. При создании систем оптимизации транспортного освоения появляется возможность учитывать влияние климатических факторов через среднюю скорость движения лесовозных автопоездов.

Библиографический список

1. Салминен, Э.О. Логистико-математическое моделирование транспортно-технологического процесса лесопромышленного комплекса / Э.О. Салминен, А.А. Борозна // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 1. – С. 132–137.
2. Болотов, О.В. Методологические основы планирования экономически эффективного освоения лесов / О.В. Болотов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 1. – С. 12–16.
3. Громская, Л.Я. Автомобильные дороги лесозаготовительных предприятий. Структура и методика размещения / Л.Я. Громская, Н.А. Тюрин. – LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. – 175 с.
4. Засухин, Д.П. Рекомендации по защите лесных почв от повреждения при проведении лесозаготовительных работ в Республике Коми / Д.П. Засухин, В.С. Серый, Н.С. Минин – Сыктывкар, 2004. – 26 с.
5. Григорьев, И.В. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации / И.В. Григорьев, А.И. Жукова, О.И. Григорьева, А.В. Иванов – Санкт-Петербург, 2008. – 176 с.
6. Ключевая роль транспорта в современном мире: монография / А.Л. Блохин, К.Ф. Боряк, Т.В. Коваленко и др. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2013 – 163 с.
7. Салминен, Э.О. Транспорт леса. Сухопутный транспорт: учебник для студ. высш. учеб. заведений: в 2 т. / Э.О. Салминен, Г.Ф. Грехов, Н.А. Тюрин и др. / под ред. Э.О. Салминена. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – Т. 1. – 368 с.
8. Коваленко, Т.В. К вопросу об использовании данных телеметрических систем для планирования транспортного освоения лесных массивов / Т.В. Коваленко // Естественные и технические науки. – 2011. – № 6. – С. 582–585.

РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕМОНТА И СОДЕРЖАНИЯ УЧАСТКОВ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А.А. КАМУСИН, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,*
 Е.В. КОНДРАШОВА, *доц. Воронежский ГАУ, д-р техн. наук,*
 Д.М. ЛЕВУШКИН, *ст. преп. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,*
 В.А. БУРМИСТРОВ, *асп. каф. лесных и д/о машин и материаловедения УГТУ*

levushkin@mgul.ac.ru, rivelenasoul@mail.ru

В настоящее время вопросы определения и оптимизации форм организации ресурсного обеспечения строящейся лесной автомобильной дороги (ЛАД) на уровне подрядной организации требуют особого внимания. Это вызвано тем, что необходимо совмещать требования по строительству ЛАД с иногда противоречащим ей требованиям эффективного использования материально-технических и финансовых ресурсов по организации в целом для получения высоких оценочных результатов.

В этой связи эффективная организация процесса ресурсного обеспечения строящейся ЛАД в условиях ограниченных ресурсов, выбор его рациональных форм, которые должны учитывать вероятностный характер строительства, а в современных неустойчивых производственно-экономических условиях дорожно-строительного производства приобретают первостепенное значение.

На сегодняшний день все более важной функцией большинства строительных компаний становится анализ эффективности

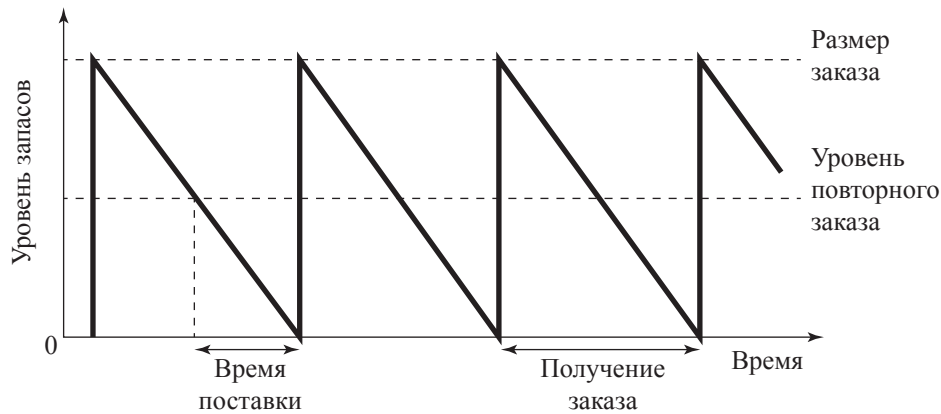


Рис. 1. Схема управления запасами по основной модели

политики управления запасами. Для строительных организаций теория управления запасами находит все более широкое применение. Особую важность приобретает знание менеджерами механизма функционирования системы управления запасами. Диапазон этих моделей достаточно обширен – от базисных моделей детерминированных систем до более сложных моделей, описывающих неопределенность спроса или сроков поставки заказа. Если система управления запасами является достаточно сложной, то для ее моделирования рекомендуется использовать имитационные модели [1–5].

В ряде работ [6, 7] проанализирован ряд моделей по планированию и управлению запасами: основная модель управления запасами, модель экономического размера партии, модель производства партии продукции, модель планирования дефицита, уровневая модель повторного заказа, аналитическая модель повторного заказа, имитационная модель управления запасами.

Основная модель управления запасами (рис. 1) основана на следующих допущениях:

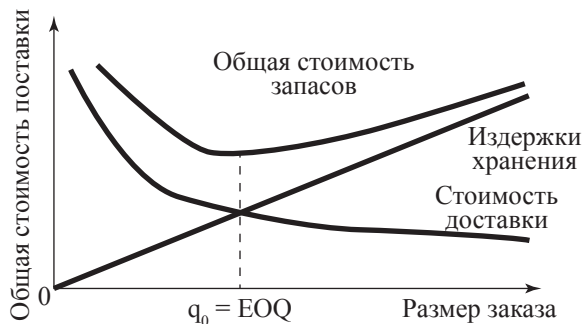


Рис. 2. Схема оптимизации объема заказа (EOQ)

спрос на ресурсы является постоянным, время поставки известно и является постоянной величиной, отсутствие запасов является недопустимым, в течение каждого цикла запасов делается заказ на постоянное количество ресурсов.

Оптимальный объем заказа называют экономичным размером заказа с равными интервалами. В течение расчетного периода он обеспечивает минимум затрат на хранение материалов. Модель графически представлена на рис. 2.

Нетрудно заметить, что если размер заказа невелик, то стоимость поставки является доминирующей – в этом случае поставки ресурсов производятся часто, но небольшими объемами партий. Если размер партии большой, то основной расходной величиной становится стоимость хранения. Экстремальная точка на кривой суммарной стоимости соответствует максимальному значению размера заказа.

Модель планирования дефицита разработана для случаев, когда издержки хранения запасов ресурсов являются более высокими, чем любые издержки, связанные с отсутствием запаса в течение небольшого периода времени. Модель разработана для двух случаев:

- 1) спрос на продукцию, возникающий в период отсутствия запаса ресурсов, остается неудовлетворенным;
- 2) спрос на продукцию компенсируется.

Все рассмотренные выше модели основаны на предположении, что спрос во время поставки ресурсов является постоянным.

Однако на практике использование системы управления запасами содержат элемент неопределенности как во времени поставки, так и относительно потребления ресурсов. Известно, что интенсивность потребления (спрос) ресурсов изменяется во времени. Проблемы, связанные с неопределенностью времени поставки и изменением потребления во времени являются особенно сложными. В этих случаях необходимо привлечение других методов – уровневой модели повторного заказа в циклической модели повторного заказа.

При решении сложных проблем управления запасами используются возможности имитационного моделирования методом Монте-Карло, в котором всем переменным присваивается определенное множество дискретных значений. Данный метод позволяет на основе собранной исходной информации сгенерировать для каждой переменной соответствующее распределение вероятностей. Из этих распределений с помощью случайных чисел получают значения переменных, которые используются затем в процессе моделирования. Модели имитационного моделирования хотя и не дают оптимальных решений как, например, методы линейного программирования, однако позволяют выработать направления, приводящие к лучшим результатам [11].

В [9, 10] предложен метод разработки календарного плана строительства с учетом обеспечения и эффективного использования ресурсов. Если потребность в ресурсе превысит его лимит, необходимо вложить в проект дополнительное количество ресурса либо пересмотреть календарный график производства работ. В качестве критериев эффективности предложены максимальное использование ресурсов, минимизация максимальной потребности в ресурсах, минимизация максимальных изменений потребности в ресурсах.

Анализ существующих моделей планирования и управления запасами показывает, что они не учитывают характер изменения стоимости дорожно-строительных материалов и транспортных услуг в период производства работ. Кроме того, интенсивность потребле-

ния ресурсов технологическими процессами принимается постоянной в течение всего строительного цикла, без учета характера изменения производительности механизированных звеньев в зависимости от физико-механических свойств перерабатываемых дорожно-строительных материалов и погодноклиматических условий. При обосновании объемов и интервалов поставок ресурсов не учитывается провозная способность транспортного комплекса, которая в значительной степени зависит от средней скорости автосамосвалов. Оптимизация работы автотранспорта по перевозке материалов и полуфабрикатов от поставщика к потребителю производится без учета транспортно-эксплуатационного состояния дорог на маршруте [6, 7].

Движение складских запасов реализуется по схеме максимум-минимум: от экономически целесообразного максимального запаса

$$Q_i + q_i,$$

где Q_i – оптимальный размер поставляемой партии материала i -го вида до минимально необходимого;

q_i – точка заказа.

Текущим запасом q_{Ti} называется часть складского запаса, обеспечивающая потребность в материалах между очередными его поставками. Эта часть расходуется и регулярно восстанавливается, причем справедливо равенство

$$q_{Ti} = \tau_i g_{icp} = Q_i, \quad (1)$$

где τ_i – период между двумя очередными поставками материала i -го вида;

g_{icp} – среднесуточный расход материала i -го вида.

Средний запас соответствует половине максимального, он является нормой запаса, учитываемого при определении планируемого размера оборотных средств. Страховой запас q_{icmp} – часть складского запаса материала, предназначенная для обеспечения технологических процессов в случае отсутствия текущего значения, а также непредвиденных отклонений от нормальных условий снабжения

$$q_{icmp} = \tau_{icmp} g_{icp}, \quad (2)$$

где τ_{icmp} – период срочного восстановления текущего запаса.

Цены и скидки на битум нефтяной дорожный БНД 60/90

Размер партии, т	Скидка, %	Цена, руб./т
До 10	0	9600
15–30	5	9120
35–45	8	8870
50–65	10	8712
70 и более	15	8293

При планировании материального обеспечения потребность в основных материалах и инструментах $Q_{оми}$ рассчитывается по формуле

$$Q_{ОМИ} = \sum_{i=1}^m \omega_i H_{PMi}, \quad (3)$$

где ω_i – объем работ с применением материала i -го вида;

H_{PMi} – норма расхода материала i -го вида;

m – номенклатура используемых материалов и инструментов.

Заготовительный баланс материально-технического обеспечения содержит расчет потребности Q_3 по видам и нормам в материалах и инструментах, подлежащих использованию в планируемом периоде, источники их поступления, и составляет

$$Q_3 = Q_{ОМИ} + (Q_K - Q_H), \quad (4)$$

где Q_K – запас материалов на складе на конец планового периода;

Q_H – запас материалов на складе на начало планового периода.

По плану материально-технического обеспечения формируют материальные заявки. Оперативные отчеты об использовании всех видов материалов и инструментов позволяют выявлять сверхнормативные расходы и принимать меры по профилактике потерь и хищений [2, 6].

Рассмотрим процедуру управления запасами на примере хранения и использования битума нефтяного дорожного массой 1 т. Оптовая цена (в текущем уровне цен, 2010 г.) составляет 9600 руб./т. Поставщик предлагает систему скидок в зависимости от размера приобретаемой партии (табл. 1).

С учетом издержек на хранение битума при производстве ремонтных работ определены затраты Z_i (руб./сутки) на управление

запасами битума в зависимости от объема поставляемой партии. Следует отметить, что в принятой системе управления запасами битума оптимальный размер партии не зависит от существующей интенсивности ремонта, а следовательно, его можно считать постоянным.

В реальных системах ремонта интенсивность потребления ресурсов изменяется в зависимости от реальных условий выполнения работ, экономической ситуации, а поэтому стабильность объема поставки имеет очень важное значение, так как обеспечивает эффективность управления ресурсами в широком диапазоне интенсивности выполнения различных ремонтных работ. Но от интенсивности потребления зависят два существенных параметра управления запасами: точка заказа и период поставки. Графики зависимости периода поставки и точки заказа от интенсивности потребления битума показаны на рис. 3, 4. Данные графики обеспечивают оперативное управление ресурсами при изменениях режимов ремонтных работ [9, 10].

При оптимизации системы управления запасами эффект обеспечивается снижением затрат на приобретение, транспортировку и хранение материалов и инструментов, как было показано выше. Основным элементом обеспечивающим этот эффект, является скидка, предоставленная поставщиком, но увеличение объема поставляемой партии приводит к возрастанию затрат на транспортировку и хранение. Таким образом, предоставленная скидка должна обеспечивать компенсацию этих дополнительных затрат. Экономический эффект, достигаемый в результате оптимального управления запасами \mathcal{E}_r (тыс. р), определяется как разность затрат на приобретение, транспортировку и хранение материалов и инструментов в течение отчетного года Z_B к

Экономические показатели оптимального управления запасами

Годы	Z_B , тыс. р.	Z_O , тыс. р.	\mathcal{E}_r , тыс. р.	\mathcal{E}_r^* , %
2004	3872,8	3291,9	580,9	15,0
2005	4352,1	3598,8	753,3	17,3
2006	5440,7	4679,0	761,7	14,0
2007	5720,3	4977,4	742,9	13,0
2008	5967,9	5132,5	835,4	14,0
Итого	24653,8	21679,6	3674,2	–

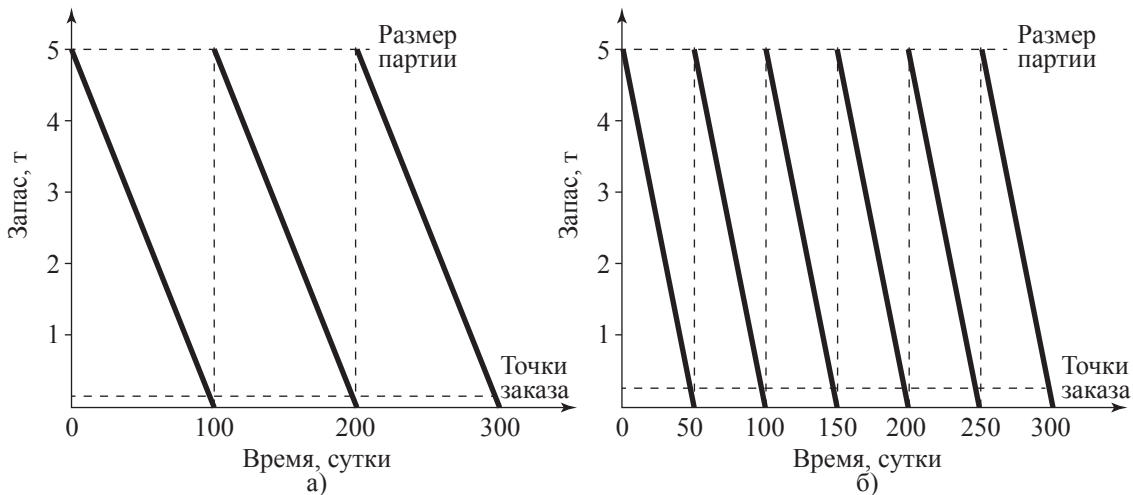


Рис. 3. Графики циклов изменения запасов битума: а – период поставки; б – точка заказа

затратам по указанным статьям Z_O , соответствующим оптимальным размерам партий поставок расходных материалов.

$$\mathcal{E}_r = Z_B - Z_O = Z_B - \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^{K_i} P_k Z_{ik}, \quad (5)$$

где Z_{ik} – затраты на управление запасами средств ремонта i -го типа в сутки при определенной интенсивности их потребления;

P_k – количество рабочих дней, в течение которых интенсивность потребления средств ремонта i -го типа в сутки можно считать одинаковой, дн.;

K_i – количество периодов в течение года с разной интенсивностью потребления средств ремонта i -го типа в сутки;

I – количество типов средств ремонта.

а – при интенсивности потребления 50 т/сутки; б – 100 т/сутки

Результаты расчета экономического эффекта и эффективности оптимального управления запасами по ремонту дорог за последние пять лет (2004–2008) приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что эффективность оптимального управления запасами средств ремонта достаточно высокая и составляет по годам 13–17,3 %, что обеспечивает за пять лет экономический эффект 3674,2 тыс. руб. На рис. 3 показаны диаграммы распределения экономического эффекта и эффективности оптимального управления запасами средств ремонта по годам.

Диаграммы на рис. 3 позволяют выполнить анализ изменения эффективности совершенствования системы управления запасами средств ремонта, они наглядно демонстрируют изменение величины экономического эффекта по годам и эффективности.

Существующая неравномерность роста экономического эффекта (рис. 5,а) обусловлена, в первую очередь, отсутствием в экономической системе ремонта рычагов управления запасами, следствием чего являлись хаотические, ничем не обоснованные поставки средств ремонта. В течение прошедших пяти лет были реальные сбои в работе ремонтных бригад из-за отсутствия на складе требуемых материалов. По некоторым средствам

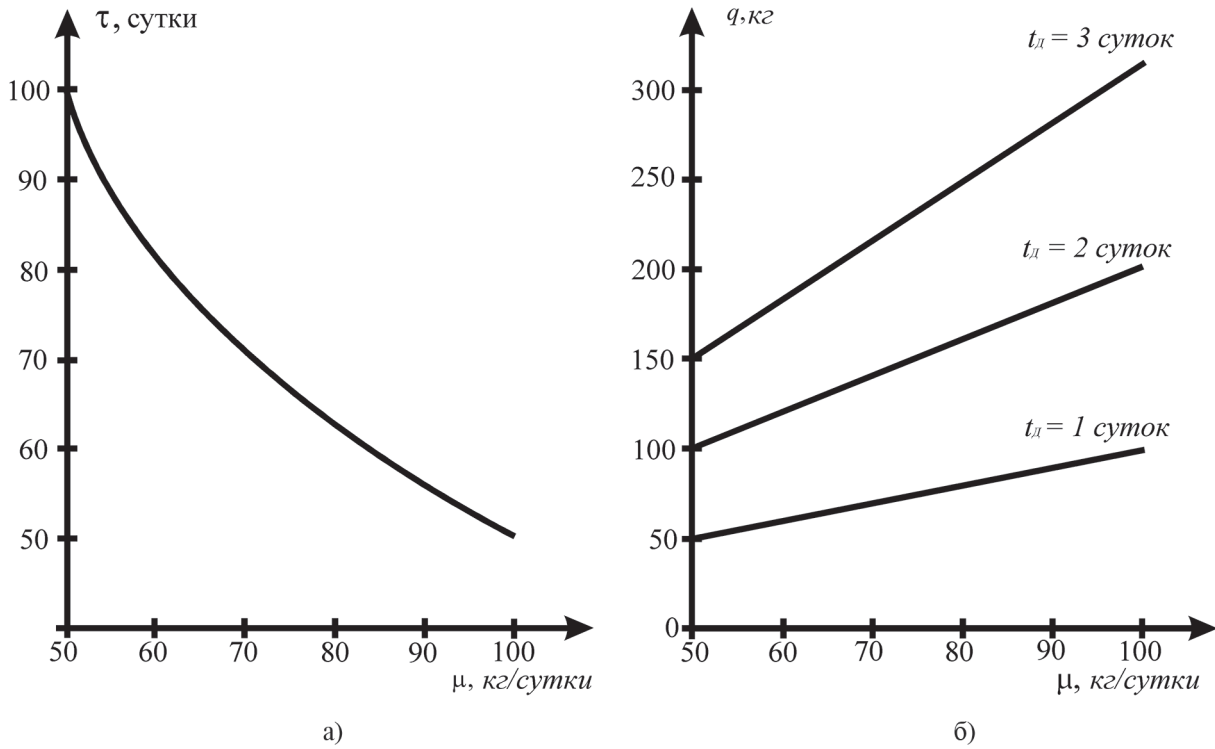


Рис. 4. Графики зависимости периода поставки и точки заказа в системе управления запасами битума

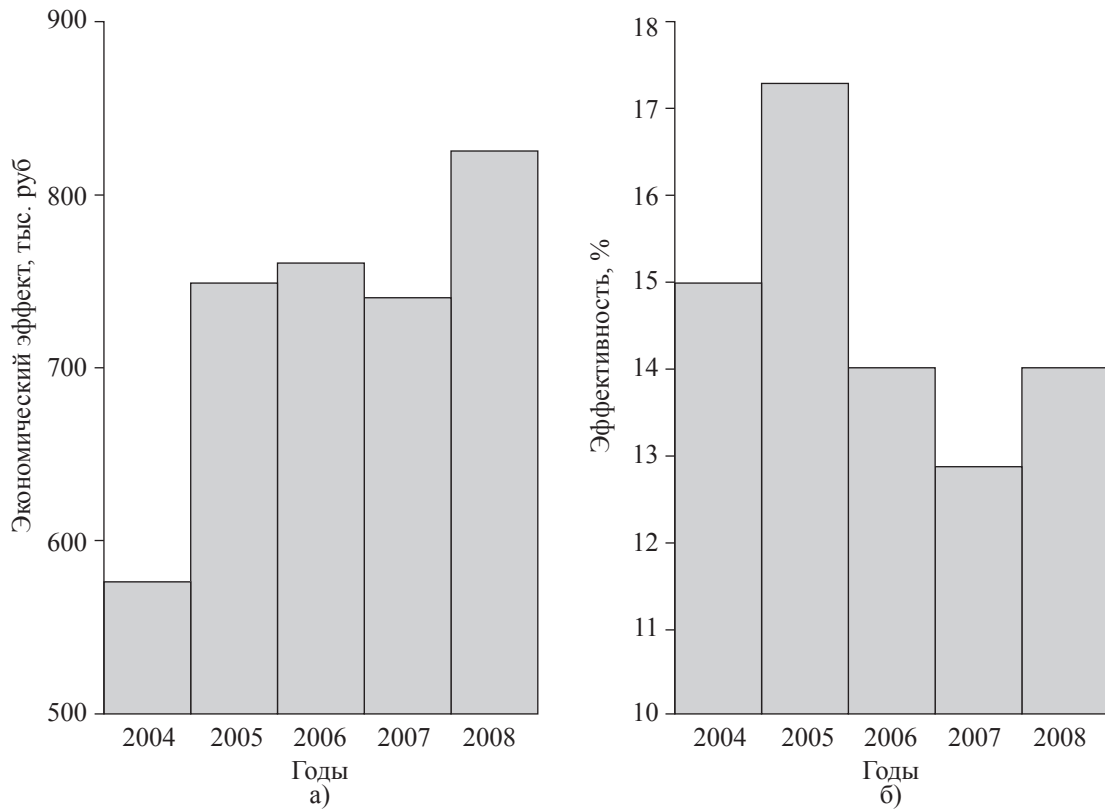


Рис. 5. Диаграммы распределения экономического эффекта и эффективности по годам от реализации оптимального управления запасами средств ремонта: а – распределение экономического эффекта; б – распределение эффективности

ремонта, которые применяются очень редко, наблюдался избыток, они переходили из года в год, находясь на складе, и приводили к неоправданным затратам на их хранение и преждевременным затратам на транспортировку. Устранение указанных недостатков обеспечивается применением модели, что выражается в получении экономической эффективности от 13 до 17,3 % (рис. 5,б), которая также неравномерно изменяется по рассмотренным отчетным годам, что связано с изменением цен и отсутствием реально функционирующей в учреждении системы управления запасами средств ремонта [7, 8].

Величина транспортных затрат определяется используемыми видами транспорта и подвижного состава. При доставке автотранспортом она увеличивается по причине использования более тяжелых автомобилей при больших размерах партии или использования двух и более транспортных средств.

При оптимизации системы управления запасами эффект обеспечивается снижением затрат на приобретение, транспортировку и хранение материалов и инструментов. При этом установлено, что основным элементом, обеспечивающим указанный эффект, является скидка, предоставленная поставщиком [11]. Но увеличение объема поставляемой партии приводит к возрастанию затрат на транспортировку и хранение, а предоставленная скидка должна обеспечивать компенсацию этих дополнительных затрат.

Выводы

Реализация модели оптимизации системы управления запасами средств ремонта показывает, что эффективность оптимального управления запасами средств ремонта участков лесных автомобильных дорог составляет по годам 13–17,3 %, что обеспечивает за пять лет экономический эффект 3674,2 тыс. руб. Реализация предложенной модели управления запасами возможна при управлении запасами расходных материалов в любой сфере деятельности, когда необходимо учитывать изменение транспортных затрат по причине увеличения объема поставляемой партии.

Библиографический список

1. Скрыпников, А.В. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования: монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин и др. Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, № 420-2011. – Воронеж, 2011. – 127 с.
2. Кондрашова, Е.В. Определение эффективности транспортной работы лесовозной автомобильной дороги / Е.В. Кондрашова // Бюллетень транспортной информации (БТИ). – № 9 (171) – 2009. – С. 25–27.
3. Никитин, В.В. Модель оптимального развития сети лесных дорог в лесосырьевом массиве / В.В. Никитин, И.С. Новоселов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 2. – 2013. – С. 121–126
4. Кондрашова, Е.В. Повышение эффективности транспортной работы автомобильных дорог в лесном комплексе / Е.В. Кондрашова, А.М. Волков. – Воронеж: Воронежский ГУ, 2010. – 232 с.
5. Курьянов, В.К. Повышение эффективности обследования автомобильных дорог в районах лесозаготовок / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов. – М.: РАЕ, 2010. – 130 с.
6. Скрыпников, А.В. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации: монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин и др. – М.: ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
7. Рябова, О.В. Совершенствование методов оценки транспортно-экологических качеств автомобильных дорог / О.В. Рябова, Е.В. Кондрашова, А.В. Скрыпников. – Воронеж: Воронежский ГУ, 2005. – 277 с.
8. Скрыпников, А.В. К вопросу повышения безопасности движения на лесовозных автомобильных дорогах и дорогах общего пользования / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.Ю. Губарев, А.Б. Киреев. – М.: ФЛИНТА: Наука, 2012. – 168 с.
9. Скрыпников, А.В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; URL: www.science-education.ru/100-5155.
10. Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Фундаментальные исследования. – М., 2011. – № 8 (ч. 3). – С. 667–671.
11. Скрыпников, А.В. Оценка транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования (САПР АЛД) / А.В. Скрыпников. – Воронеж: ВГЛТА, 2008. – 387 с.

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ

В.С. ГЕРАСИМОВ, *зав. лабораторией ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии,*
 Р.Ю. СОЛОВЬЕВ, *зам. директора ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии, канд. техн. наук,*
 В.И. ИГНАТОВ, *доц. каф. МГУЛ, канд. техн. наук*

gosniti@list.ru, ignatoww@inbox.ru

Проблема утилизации сельскохозяйственной и лесной техники, завершившей свой жизненный цикл, является составной частью глобальной проблемы рационального использования ресурсов, вовлекаемых в процессы производства и потребления. Значимость этой проблемы проистекает из ее комплексности. Она объединяет, по меньшей мере, такие направления как экологическое, технологическое, организационно-экономическое и правовое. На современном этапе развития общества проблемы охраны окружающей среды, экологизации технических средств приобретают основополагающее значение, определяют требования к созданию, использованию и утилизации машин и потребляемых ими ресурсов.

В сельском хозяйстве и лесном комплексе используется много видов машин, обеспечивающих страну продуктами и материалами.

Кроме парка мобильной сельскохозяйственной техники (таблица), имеется большой парк навесной и прицепной техники, в лесном комплексе работает около 100 тыс. машин на колесном и гусеничном ходу.

По экспертным данным [1–3] в ближайшие 2–3 года будет выведено из эксплуатации около 360 тысяч единиц сельскохозяйственных и лесных машин, в т.ч. 220 тыс. ед. мобильной техники.

Общий объем отходов от утилизации сельскохозяйственной и лесной техники [1] составляет около 2 млн т, а стоимость ори-

ентировочно – 3,5–4 млрд руб. Наибольшую долю в отходах занимают черные металлы – 75 %, на резину, цветные металлы и пластмассы приходится примерно по 6 % для каждого вида, прочие материалы (асбест, ковровые покрытия, стекловолокно, ткань и т.п.) занимают 4 %, жидкости – 3 %.

В системе агропромышленного и лесного комплексов решение проблемы с переработкой таких объемов отходов затягивается по причине несовершенства организационных форм, нормативной базы, технологии проведения процессов утилизации.

В связи с этим в настоящее время идет активный процесс анализа, поиска и создания нового механизма управления процессами утилизации сельскохозяйственной и лесной техники. Особое место в этой проблеме занимают вопросы обеспечения исполнителям работ мотивации для организации и проведения контролируемых технологических процессов, отвечающим требованиям потребителей (нормативным требованиям).

При всей привлекательности для государства рыночной экономики, в которой государство оставляет себе в основном только контрольные функции по безопасности использования продукции [4], в самую суть таких взаимоотношений заложены фундаментальные противоречия, характерные для человеческого бытия в целом. Противоречием, экономическим парадоксом на глобальном уровне

Т а б л и ц а

Структура парка сельскохозяйственной техники

Наименование	Всего, тыс. шт.	до 3-х лет, %	от 3-х до 10 лет, %	более 10 лет, %	кол-во техники, направляемой на утилизацию, тыс. шт.
Тракторы	475,9	12,0	20,4	67,4	160,0
Зерноуборочные комбайны	134,8	16,1	27,2	56,6	36,4
Кормоуборочные комбайны	21,5	21,5	31,6	46,8	5,0

по отношению к отходам производства и потребления, является жесткая реальность рыночной экономики, принципы ее функционирования, которые основаны на взаимоотношениях «продавца» и «покупателя». Их отношения регулируются спросом и предложением. Имеет место ситуация: товар – у продавца, деньги – у покупателя, договорная цена за товар и учет взаимного согласия в процедуре «купля-продажа» при разнополярности интересов: продать – подороже и купить – подешевле при том же качестве товара, чтобы получить ожидаемый от процесса купли-продажи эффект (прибыль или другое вознаграждение).

Рыночная экономика дает большие права и продавцу и покупателю. Но не может заставить их осуществлять процесс купли-продажи без вознаграждения. Хотя и ставит определенные ограничения. Но если кто-то (покупатель или продавец) не получают ожидаемый эффект, товар становится непродаемым и непокупаемым, даже если от этого зависит экология, безопасность и пр.

Рассмотрим этот контекст применительно к системе утилизации сельскохозяйственной и лесной техники (СУТ). Продавать и покупать вышедшую их эксплуатации технику, а также проводить работы по ее утилизации никому не запрещено, т.е. дозволено при соблюдении определенных ограничений. В качестве таких ограничений выступают различного рода нормы права, в которых эти ограничения и запреты прописаны, как и наказание за их несоблюдение. Однако, если наказание несоизмеримо меньше, чем доход от результатов проведения работ без соблюдения установленных законом ограничений и запретов, эти ограничения игнорируются. Поэтому, несмотря на ограничения и запреты, утилизаторы часто производят слив технических жидкостей в канализацию или в почву.

Основным компонентом утилизации техники являются металлы [5]. Рейтинг других компонентов (шины, пластик, стекло и т.п.) значительно меньше. Металлолом и аккумуляторы идут на «ура» и проблем с этими материалами практически не возникает. Шины утилизируются с меньшим успехом, с еще меньшим – масла. Пластик и стекло практически не находят своих хозяев и чаще

всего попадают на свалки, в лучшем случае легальные, а чаще – на нелегальные.

В настоящее время ни у кого (ни у государства, ни у какой-либо другой службы) нет возможности управлять технологиями утилизации техники. Даже наличие этих технологий в нормативных документах не обеспечивает их выполнения, поскольку самой системы утилизации (которая включала бы механизм этого управления: нормы, правила проведения и контроля) в России до настоящего времени не создано. Все это общеизвестно, однако экология вследствие несанкционированных захоронений продолжает ухудшаться, окружающая среда страдает от ядовитых веществ, попадающих в почву, воздух, водоемы, нанося огромный экономический ущерб *всем* жителям, а следовательно, *стране в целом*.

В такой ситуации единственным защитником населения и природы является государство в лице правительства, которое, по определению, должно соблюдать интересы и требования всех граждан страны. Всем ясно, что необходимо изменить ситуацию с утилизацией отходов, но эта ситуация, если и меняется, то очень медленно. Тем не менее, решать ее нужно именно с государственных позиций сохранения экологии и природных ресурсов, но выстраивать систему утилизации техники приходится на принципах рыночной экономики, которая признает только экономические мотивации.

Как бы ни пыталось государство переложить заботу на плечи саморегулирующихся предприятий, но без выполнения двух условий:

1) формирования государственного фонда дотаций исполнителям «непрестижных» и низкодоходных работ для обеспечения устойчивого комплекса мотиваций при проведении этих работ;

2) общей координации работ на федеральном уровне, связанных с выработкой ограничений и требований к технологиям и исполнителям работ на всех этапах СУТ, страна не сможет преодолеть кризис в области экологии и сохранения ресурсов. Для выхода из этого кризиса требуется эффективная СУТ.

В настоящее время в России начинают создаваться необходимые условия для изменения ситуации с утилизацией некоторых

видов колесной, сельскохозяйственной и лесной техники, для которой вводятся утилизационные сборы.

Отличительной особенностью процесса утилизации техники, том числе сельскохозяйственной и лесной (в отличие от утилизации твердых бытовых отходов, которые поступают на перерабатывающие предприятия) является возможность и необходимость проведения подготовительных работ. Такие работы не только обеспечивают их последующую безопасную переработку и повышают степень повторного использования входящих в состав этой техники компонентов, но и исключают (или, по крайней мере, минимизируют) загрязнение окружающей среды. В этом комплексе технологических процессов именно работы на начальных этапах (моечные, разборочные, осушительные, дефектовочные, сортировочные, транспортные и т.п.), как и все подготовительные операции любого технологического процесса, требуют достаточно больших трудовых и денежных затрат, строгого соблюдения экологических норм при их проведении, и при этом, чаще всего, являются некупаемыми в случае их проведения на специализированном, не входящем в систему утилизации предприятии.

Поэтому именно такие нерентабельные предприятия, выполняющие подготовительные работы и решающие задачи экологии, должны стать элементами единой системы и получать поддержку из государственного утилизационного фонда. И основной мотивацией качественного проведения подготовительных работ будет уверенность в их бюджетном обеспечении [6].

При этом на таких производствах должны соблюдаться технологические и экологические нормы, разработанные на основе государственных стандартов. Несомненно, что деятельность таких предприятий должна быть под постоянным контролем работодателя (государственной структуры) с позиций соблюдения установленных требований.

Наибольший интерес с точки зрения анализа и изучения методологии создания системы обращения с отходами утилизации представляет опыт стран ЕС. Непрерывное развитие этой системы ведется с 1975 г. К на-

стоящему времени разработаны нормативно-законодательные документы, обеспечивающие практически все виды работ по обращению с различными видами отходами (рис. 1).

Причем, главным направлением этой системы является не столько борьба с имеющимися отходами, сколько с предупреждением их возникновения.

В странах ЕС система управления отходами предполагает наличие интегрированной системы различных аспектов: социальных, экономических, нормативно-правовых, управленческих, технических. На рис. 2 представлены инструменты регулирования процесса управления отходами в ЕС.

В построении политики обращения с отходами и разработке нормативно-правовой базы ЕС установил четкую иерархию методов обращения с отходами. Иерархия устанавливает приоритетные направления развития технологий [7] с учетом устойчивого развития. Признано, что построение систем обращения с отходами не может быть основано на управлении потоком образования отходов только на стадии утилизации. Система управления отходами в целом должна двигаться к более интегрированным подходам решения вопроса. Впервые иерархия технологий обращения с отходами была представлена в Рамочной директиве об отходах [8] (почти 40 лет назад) и в настоящее время является компонентой всех основных директив в области обращения с отходами (рис. 3). Внедрение целесообразности тех или иных технологий определяется на основе выбора наилучших, с точки зрения экологии, из экономически целесообразных технологий с учетом как экономических, так и социальных аспектов.

Размещение (захоронение) отходов является наименее приемлемой технологией обращения с отходами и подразумевает безопасное размещение отходов, которые уже не могут быть вовлечены в иные опции иерархии отходов, в окружающей среде. Перед захоронением требуется предварительная подготовка отходов. Предварительная подготовка включает физическую, термическую, химическую и биологическую обработку отходов с целью снижения количества и токсичности отходов, направляемых на захоронение.



Рис. 1. Нормативно-законодательные документы ЕС (ЕЭС) в вопросах обращения с отходами

Юридическая и физическая ответственность за каждую задачу управления отходами делегируется на различных уровнях власти (федеральном, субъекта Федерации, муниципальном) [9]. Политика управления отходами в странах ЕС была заложена в законодательную базу более 30 лет назад с целью гармонизации сферы обращения с отходами и предотвращения неправильного развития технологий в рыночных условиях (рис. 4).

Объемы образования отходов зависят от численности техники, марочного состава, возраста парка, динамики поставок и выбытия техники и других факторов. В свою очередь, от объемов образования отходов зависит численность, производственные мощности и технологии предприятий по сбору, хранению и переработке требующих утилизации отходов. Чем больше предприятий, тем большие места занимают площадки и пункты сбора, хранения техники, функционирование которых в штатном режиме сопряжено с потреблением энергии, материальных ресурсов, а также с образованием отходов и загрязнением атмосферного воздуха, водных ресурсов, земли.

Поскольку основная масса сельскохозяйственной и лесной техники сейчас является частной собственностью, то момент ее отправки на утилизацию принимает собственник. У него имеется несколько вариантов для возникновения мотивации принятия такого решения.

Это принуждение (например, после выработки определенного ресурса), которое

используется в авиации, преференции (получение вознаграждения за сданный в утилизацию трактор) и другие.

Наиболее рациональным приемом мотивации для утилизации, который применяется в различных странах, является выкуп техники по остаточной стоимости у владель-



Рис. 2. Инструменты регулирования процесса управления отходами в ЕС

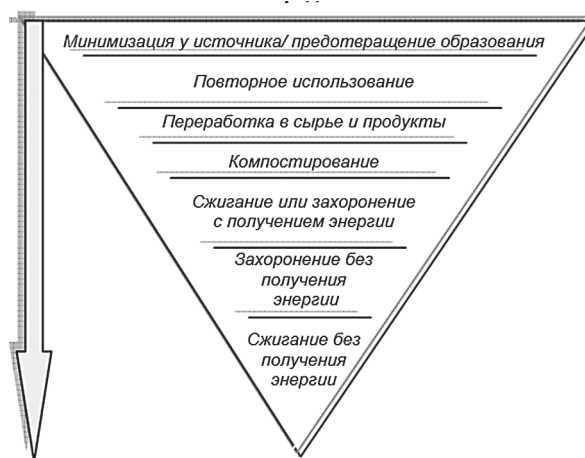


Рис. 3. Международная «Иерархия отходов»

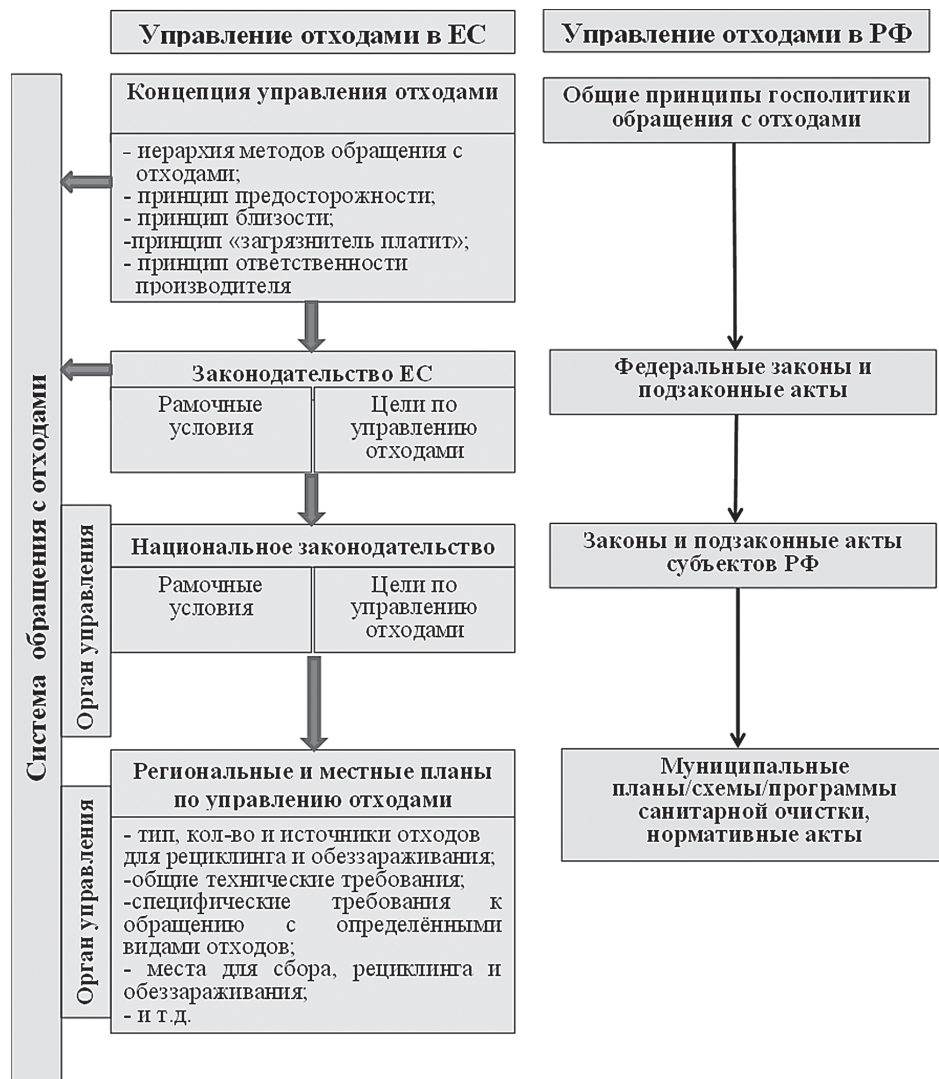


Рис. 4. Система управления отходами в ЕС и России

ца. В этом случае принципы, заложенные в утилизацию, работают полностью:

- сокращается период обращения машины (срок службы), что благоприятно сказывается на обновлении техники, обеспечивая увеличение объемов продаж;
- обеспечивается денежное вознаграждение в соответствии с состоянием машины, что стимулирует собственника сдавать машину в хорошем состоянии;
- повышается безопасность выполнения процесса утилизации, при условии, что утилизатор имеет соответствующие компетенции;
- обеспечивается максимальное сохранение остаточного ресурса годных к использованию компонентов;
- сокращается цикл оборота рециклируемых материалов;

– снижаются потери материалов от коррозии, старения и пр.

Работоспособность такого приема доказывается тем, что многие предприятия России уже используют его в настоящее время. Однако большинство таких предприятий работает «втемную» и не соблюдает ни технологическую, ни налоговую дисциплину. В том числе по причинам того, что нет той самой мотивации соблюдения требований, а также регламентированной и контролируемой системы утилизации техники. Таким образом, одним из краеугольных камней и основополагающим элементом создания СУТ (наряду с нормативно-законодательной базой) является ее экономическое обеспечение и экономическая целесообразность предпринимаемых действий, понимаемая в долгосрочном плане.

Мировая практика сформировала основные базовые принципы [9], которые должны закладываться при разработке и использовании СУТ:

- загрязнитель платит;
- продленная ответственность производителя;
- принцип самодостаточности;
- принцип предосторожности.

В соответствии с вышеприведенными принципами Россия, по примеру западных стран, также начала формировать государственный утилизационный фонд, который позволит создать экономическую базу для устойчивого функционирования СУТ и решить целый ряд задач организационного, технического и экономического плана, в том числе [10]:

- администрирование и координацию развития системы рециклинга, проведение работ по подготовке кадров;
- компенсацию затрат на землеотвод и строительство специализированных перерабатывающих предприятий;
- разработку и трансфер (от англ. *to transfer* – переносить, перемещать) инновационных технологий утилизации;
- компенсацию затрат на логистику и технологическое оборудование;
- дотацию предприятиям в технологической цепочке сбора и утилизации сельскохозяйственной и лесной техники и их компонентов и пр.

Обозначенные выше задачи перечислены в порядке их приоритетности на первых этапах разработки и внедрения СУТ. По мере отработки и внедрения системы величина затрат и их приоритетность будут изменяться и на момент стабилизации СУТ будет происходить снижение суммарных затрат на поддержание и функционирование системы.

В настоящее время в ГОСНИТИ начаты работы по исследованию возможности создания в России такой системы, по адаптации имеющихся передовых технологий ее проведения к сложившимся реалиям, а также по разработке нормативных документов, позволяющих обеспечить проведение и управляемость технологическими процессами утилизации сельскохозяйственной и лесной техники.

Выводы

1. В настоящее время Россия существенно отстает от развитых стран в утилизации техники.
2. В последние годы созданы предпосылки экономического обеспечения для формирования СУТ, в том числе для утилизации сельскохозяйственной и лесной техники.
3. Сдерживающими факторами развития системы утилизации сельскохозяйственной и лесной техники является несовершенство правовой базы.
4. В ГОСНИТИ начаты работы по формированию элементов нормативной базы, которые будут способствовать развертыванию работ по утилизации указанных видов техники.
5. По предварительным оценкам, общий объем различных видов отходов, которые могут быть получены при проведении утилизации сельскохозяйственной и лесной техники, составит около 2,0 млн т, а их ориентировочная стоимость – 3,5–4 млрд руб.

Библиографический список

1. Герасимов, В.С. Утилизация в системе обновления сельскохозяйственной техники в АПК // В.С. Герасимов, Р.Ю. Соловьев и др. – М.: Росинформагротех, 2013. – 123 с.
2. Черноиванов, В.И. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: Учебное пособие / В.И. Черноиванов, В.В. Бледных, А.Э. Северный и др. – ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003 г.
3. Бурдин, Н.А., Технический уровень лесного сектора Российской Федерации: состояние, проблемы / Н.А. Бурдин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 5. – С. 50–56.
4. Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 28.12.2013) «О техническом регулировании».
5. Игнатов, В.И. Утилизация: от «автохлама» к единой системе утилизации техники / В.И. Игнатов // Рециклинг отходов. – 2013. – № 2(44). – С. 18–21.
6. Игнатов, В.И. Мотивации к утилизации / В.И. Игнатов // Рециклинг отходов. – 2012. – № 5(41). – С. 18–20.
7. Европейская практика обращения с отходами: проблемы, решения, перспективы. Санкт-Петербург, 2005. НП «Региональное Энергетическое Партнерство» (электронный ресурс).
8. Директива 75/442/ЕЕС с поправками, внесенными Директивой 91/156/ЕС.
9. Минэкологии Нижегородской обл. Система управления отходами в странах ЕС (Электронный ресурс).
10. Трофименко, Ю.В. Утилизация автомобилей: Научная монография / Ю.В. Трофименко, Ю.М. Воронцов, К.Ю. Трофименко. – М., 2011. – 336 с.

References

1. Gerasimov V., Soloviev R. and other Utilization in the system of renewal of agricultural machinery in agriculture // V. Gerasimov [and other] – M: THE «Rosinformagroteh», 2013. – 123 p.
2. Chernovanov V., Pale V., North of acoustic emission and other maintenance and repair of machines in agriculture: the textbook // GOSNITI, Chelyabinsk state agricultural University, 2003.
3. Burdin N. Technical level of the forest sector of the Russian Federation: situation, problems // Bulletin of the MSFU – Lesnoi Vestnik. – 2012. № 5. – P. 50–56.
4. Federal law dated 27.12.2002 N 184-FZ (as amended on 28.12.2013) «On technical regulation».
5. Ignatov V. Disposal: from «jalopy of the unified system of recycling techniques // Recycling of wastes. – 2013. № 2(44). – P. 18–21.
6. Ignatov V. Motivation for recycling. // Recycling of waste. – 2012. № 5(41). – P. 18–20.
7. European practice of waste management: problems, solutions, perspectives. Saint-Petersburg, 2005. NP «Regional Energy Partnership» (electronic resource).
8. Directive 75/442/EEC as amended by Directive 91/156/EC.
9. The Ministry of environment of the Nizhny Novgorod region The waste management system in the EU (Electronic resource).
10. Utilization of vehicles: Scientific monograph / J. Trofimenko, Y. Vorontsov, K. Trofimenko. M., 2011. 336 P.

**К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ
ПО ПРОФИЛЯМ ПУТИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН ЛЕСНОГО
И ЛЕСОПАРКОВОГО ХОЗЯЙСТВ**

Д.В. ТУЛУЗАКОВ, доц. каф. технической механики МГУЛ, канд. техн. наук,
М.В. ПОДРУБАЛОВ, доц. каф. технической механики МГУЛ, канд. техн. наук,
В.К. ПОДРУБАЛОВ, доц. каф. теории и конструирования машин МГУЛ, канд. техн. наук

tuluzakov@mgul.ac.ru, podrubalov@mgul.ac.ru, podrubalov@bk.ru

В РФ в связи с переходом на рыночные отношения с 2008 г. введены в действие международные стандарты по безопасности труда [1–4]. В них учтены основные нормативные положения европейских (ЕН) и международных (ИСО) стандартов. Коренным отличием от ранее действовавших отечественных стандартов является то, что теперь ответственными сторонами в области обеспечения вибрационной безопасности являются государство, работодатель и изготовитель (поставщик) машины. В странах Европейского Союза (ЕС) и других странах, где применяется эта концепция, на изготовителя ложится ответственность за заявление вибрационных характеристик этой машины, полученных при натуральных испытаниях и непосредственно влияющих на условия ее безопасного применения. В дальнейшем ответственность за выбор машины и назначение режимов движения, определяющих ее виброактивность, переходит к работодателю. В свою очередь, надзорные органы государства проверяют правильность заявленных характеристик (контроль изготовителя) и эксплуатации машины (контроль работодателя). Видно, что

при этом аккредитованные государством независимые организации (центры, лаборатории, фирмы) могут иметь существенное влияние на конъюнктуру рынка машин и их конкурентоспособность, поскольку каждая марка импортного и отечественного производства должна иметь сертификат вибрационной характеристики, полученный у аккредитованной организации по испытательному коду (методу испытаний)[1–4]. Мобильные машины для лесного и лесопаркового хозяйств, а также техника, применяемая на рубках ухода и при ландшафтном строительстве (как правило, малогабаритная техника (МГТ)) – в дальнейшем лесные машины (ЛМ) – также полностью подпадают под действие указанных стандартов [3].

До 2008 г. для ЛМ существовали утвержденные критерии оценки вибрации и методы их получения (включая эталонные искусственные треки), аналогичные используемым для сельскохозяйственных тракторов и других самоходных машин [5], что было весьма удобно при проектировании. На сегодняшний день ситуация иная. Если параметры оценки вибрации (вибрационная характеристика) остались

во вновь принятых стандартах в основном такими же, то внедренный метод натурального испытания машины (испытательный код) претерпел существенные изменения [4]. В нем вместо отечественных в качестве эталонных приняты искусственные треки из СТ ИСО 5008 с существенными дополнениями по скоростным режимам движения машины и, следовательно, возможным увеличением уровня его воздействий от профиля пути. Кроме того, стандарт [4] теперь не распространяется на ЛМ, которые согласно [3] должны иметь собственный испытательный код.

Из сказанного выше следует актуальность проведения теоретических и экспериментальных работ по совершенствованию методов оценки и создания базы данных по кинематическим возбуждениям от профиля пути в типичных условиях эксплуатации. Это позволит обосновать методы испытательного кода по вибрации для ЛМ и сформировать требования по созданию эффективных систем их виброзащиты. Создание же искусственного трека по этому коду в соответствии с [3] позволит также задавать характеристики воздействий, в наибольшей мере пригодные для математического моделирования колебаний масс динамических систем машин и оптимизации их параметров, а также реальных испытаний. Только при использовании одного и того же трека при моделировании (стадия проектирования) и натурального эксперимента с образцом машины можно минимизировать стоимость исследований и решить актуальные вопросы по оценке:

- сравнимости экспериментальных данных;
- сходимости теоретических (расчетных) и экспериментальных результатов;
- адекватности расчетной схемы динамической системы машины реальному объекту и достаточности ее детализации;
- применимости выбранной теории при математическом моделировании вибронагруженности объекта.

Начальным этапом таких исследований является разработка методики регистрации и первичной статистической обработки экспериментальных данных типичных про-

филей пути фонов, на которых эксплуатируются ЛМ. Методика должна основываться на исключении субъективных действий исследователя при получении этих данных и современных программных продуктах для ЭВМ. Причем, необходимо учесть и проанализировать информативность накопленных данных как для лесных, так и для сельскохозяйственных машин, объем исследований для которых существенно больше. Разработанные рекомендации должны также соотноситься с характеристиками уже введенных эталонных треков в стандарт [4].

Эти искусственные треки (Британский стандарт 4220) были созданы в английском институте NIAE в начале 60-х годов прошлого века и в дальнейшем приняты в качестве фонов для испытаний тракторов и самоходных машин в СТ ИСО 5008. Два трека с ровными и неровными колеями (так называются), как подразумевается, имитируют проселочную дорогу и вспаханное поле. В [7] утверждается, что для построения профилей этих треков использованы образцы поверхностей, спектры которых огибают спектры дорог и агрофонов, обследованных в Англии и в одном из районов Германии. Также там говорится (голословно), что количество измерений было ограничено, вследствие чего их параметры недостоверны. В то же время в этой работе предложены треки, которые в дальнейшем были внедрены в СССР и странах СЭВ [5]. Принцип синтеза характеристик был другой: сначала проводилась оценка и усреднение параметров реальных фонов и затем – получение ординат эталонных профилей (грунтовая дорога и агрофон) через обратное преобразование Фурье исходного спектра. Во вновь разработанный стандарт [4] они, однако, не вошли, поэтому анализ этих параметров в настоящее время может носить лишь факультативный характер и в данной статье не проводится.

Таким образом, сформулированный выше начальный этап нашей работы разбивается на следующие подэтапы:

1. Оценка корректности применявшихся ранее методов регистрации, статистической обработки и анализа параметров профилей пути.

2. Разработка взамен их методики, которая позволит использовать современные компьютерные программы и исключить субъективный подход к исследованию кинематических возбуждений от лесных профилей.

1. Сразу оговорим, что нами будут рассматриваться только непосредственные методы регистрации случайных функций профиля пути, где сразу фиксируются его ординаты. Эти методы основаны на топографическом методе (нивелир-рейка) и являются наиболее точным, дешевым и достаточно доступным средством, причем, что важно для лесных условий, обеспечивают хорошую мобильность и минимальную занятость (2 человека без специальной подготовки работы с электронной аппаратурой). Отрицательная сторона – низкая производительность по сравнению с косвенными методами, которые использовались в автомобилестроении. Профилографы (разработанные МАДИ, «Дженерал моторс» и др.) записывают колебания применяемой в них динамической системы (например маятника или гироскопа) при движении на сцепке по профилю, которые аналоговыми методами преобразовываются в воздействие от дороги. Здесь налицо пониженная точность, сложность применения в лесных условиях и практическая уникальность этих приборов, что оставляет их за рамками нашей работы.

Безусловно, на первый взгляд весьма перспективным выглядит применение современных лазерных профилографов и 3D-сканеров. Однако при внимательном рассмотрении их использования для решения поставленной задачи можно отметить следующее:

- производительность и точность по измерению ординат профилей пути по двум колеям, которые в условиях леса не являются прямыми в горизонтальной проекции, будут сравнимы и даже хуже, чем показатели традиционного способа (например, у лазерного профилографа Riegl LPM-321 (Австрия) заявленная точность измерения расстояний 25 мм, а разрешение по ординатам 15 мм);

- стоимость указанной аппаратуры даже без дополнительных опций (компьютер, программное обеспечение, калиброванная цифровая камера высокого разрешения и др.)

доходит до 2,5 млн руб. (наземный сканер Riegl VZ 400).

Поэтому ясно, что апробация и применение таких приборов, которые, несомненно, в принципе являются перспективными, в настоящее время быть осуществлены только при достаточном финансировании исследований.

Анализ источников, в которых изучались свойства профилей пути [6–8], показал, что практически все авторы, используя метод нивелирования, пытались далее получить из собственно профиля, который чаще всего называли «макропрофилем», некоторую другую функцию – «микропрофиль». Один в другой превращался путем, как правило, «ручной фильтрации» профилограмм [7, 8] с «выпрямлением» их якобы нестационарных участков. База выпрямления выбиралась или чисто визуально, либо по формуле (использовалась в [7])

$$l \geq 2v/f_0, \quad (1)$$

где – v скорость трактора, м/с;

f_0 – собственные частоты колебаний колесных тракторов на шинах, $f_0 = 2,5–3,5$ Гц.

Т.е. эта база для тракторов при их максимальных эксплуатационных скоростях $v = 3–5$ м/с в соответствии с (1) должна составлять минимум 1,7–4 м. У длин реализаций «макропрофилей» и шаге квантования замеров ординат также был значительный разброс: от 30–40 м до 400 м и 0,05–1 м соответственно. По полученным таким образом «исправленным» массивам далее проводился расчет корреляционной функции и спектральной плотности реализации с последующей аппроксимацией (как правило, по корреляционной функции) с получением среднеквадратического значения (СКЗ) ординат и коэффициентов α и β (также вручную), по которым и велся весь дальнейший анализ [7, 8].

На рис. 1 и 2 приведены профилограммы взятых для примера правых колея эталонных треков, которые приняты в новом стандарте [4], и их характеристики. Для иллюстрации показаны варианты возможного «выпрямления» профилей за счет введения выбранных нами в соответствии с (1) баз длиной 3,2 и 8 м. Ясно, что после вычитания

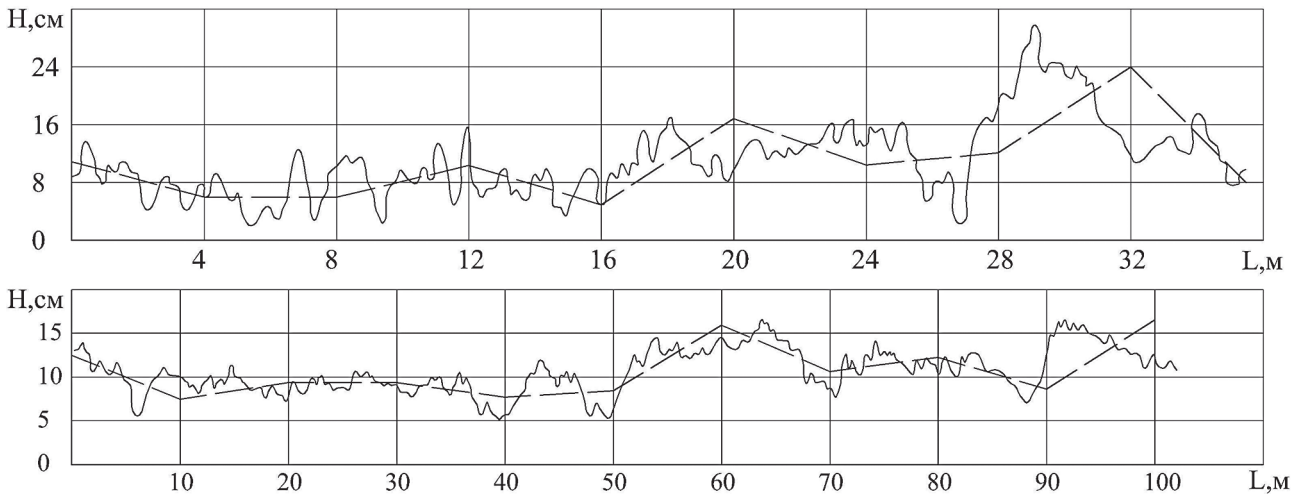


Рис. 1. Пример выделения «макропрофиля» из реализаций правых колея профилей ИСО 5008: — профилограммы по стандарту; --- возможная по формуле (1) база «выпрямления»

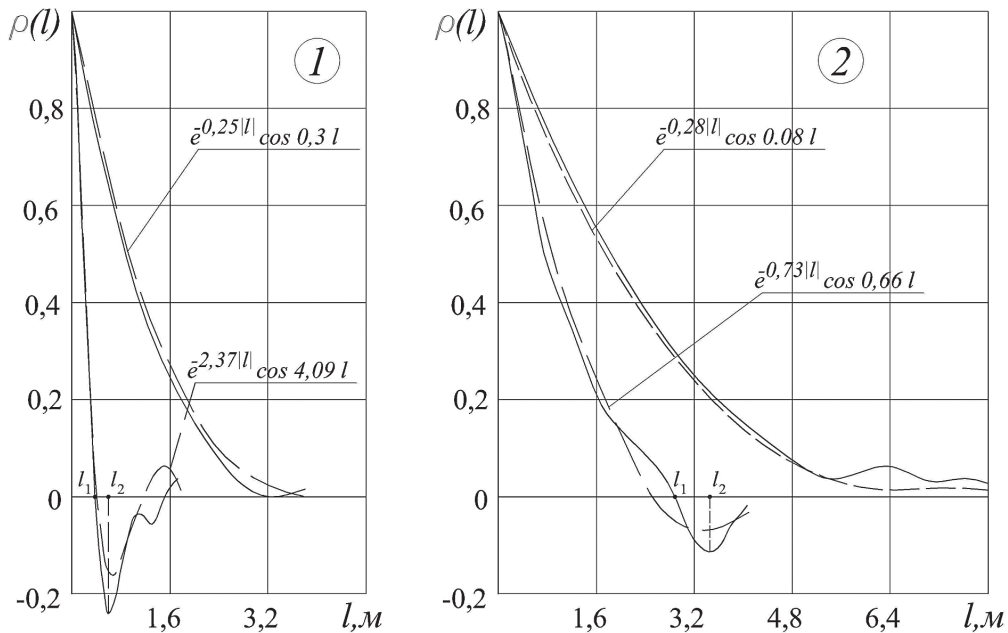


Рис. 2. Нормированные корреляционные функции правых колея искусственных треков неровной (1) и ровной (2) поверхностей ИСО 5008: — расчетные кривые; --- аппроксимационные кривые по $\rho(l) = e^{-\alpha|l|} \cos \beta l$

соответствующих ординат получатся совсем другие профилограммы с другими СКЗ ординат и корреляционными функциями.

Из рис. 2 хорошо видно, что такая процедура получения «микропрофиля», выполненная в [7] без указания в тексте конкретных величин базы, привела к существенному уменьшению времени, корреляционной связи и появлению у функций более выраженных гармонических составляющих $\beta = \pi/(2l_1)$. При этом $\alpha = \beta/\pi \ln(\rho(l_2)/\rho(0))$. Следовательно, у спектральных плотностей реализаций «мик-

ропрофилей» должен (при $\alpha/\beta < \sqrt{3}$ для указанной на рисунке формулы аппроксимации) появиться максимум на частотах $\omega = 2\pi f \approx \beta$. Именно желанием иметь такие максимумы на графиках функций спектральных плотностей, которые получены еще до введения в анализ скорости движения машины (традиционно: $\alpha_v = \alpha v$; $\beta_v = \beta v$), и объясняется, по нашему мнению, повсеместное использование такого двухэтапного подхода.

Однако на обеих стадиях такого анализа присутствуют неискоренимые ошибки:

некорректность применения формулы (1) (из-за выбора скорости, собственной частоты колебаний, значения коэффициента в знаменателе) и весьма неопределенная методика аппроксимации характеристик (по корреляционной функции – неоднозначность определения периода колебаний и декремента затухания, по спектральной плотности – по максимуму или с приближением кривых на более высоких частотах). Поэтому для проведения работы по синтезу испытательного кода для ЛМ параметры α и β «микропрофилей», имеющиеся в литературе, например в [7, 8], неприменимы.

2. Предлагается методика регистрации, статистической обработки и последующего анализа реализаций профилей пути, исключая приведенные выше недостатки. Во-первых, в ней исключаются двухэтапность анализа характеристик воздействий от профиля пути и связанные с этим ошибки. В методике рассматриваются только те массивы ординат, которые были получены методом нивелирования или его каким-либо аналогом без изменения базы отсчета, т.е. профили пути. При этом удаляются из применения термины «макропрофиль» и «микропрофиль» как совершенно ненужные и запутывающие описание свойств местности.

Критерием обоснованности принятых положений разработанного метода получения исходных характеристик лесных профилей является сравнительный анализ с соответствующими параметрами эталонных треков международного стандарта [4] (таблица). В ней максимальные эксплуатационные скорости движения по основным лесным фонам колесного трактора класса 1,4 взяты из [8]. Режим движения для МГТ назначен исходя из опыта авторов по эксплуатации транспортного агрегата мотоблока. Предполагается, что при поступлении новых данных любая скорость по п. 3–7 табл. 1 может корректироваться, а параметры, приведенные в ней, уточняются.

Для определения исходных характеристик фонов использовалась теорема В.А. Котельникова о дискретном представлении случайных процессов [9]. В нашем слу-

чае для воздействий от профиля пути с учетом скорости машины она выглядит как

$$N = 2BL/v, \quad (2)$$

где число значений, необходимых для описания случайных функций; B , 1/м, Гц – ширина полосы частот, присутствующих в реализации; L , м – длина профиля: $L/v = T$, с – время движения машины по этой реализации.

Нормированные среднеквадратические ошибки (СКО) оценок СКЗ ординат профилей и воздействий от них рассчитывались по формуле [9]

$$\varepsilon_r = \frac{1}{2\sqrt{BT}}, \quad (3)$$

где ε_r – указанная ошибка в диапазоне частот B .

В табл. 1 также приведены для сведения значения ε_2 для октавного диапазона частот (ОДЧ) со среднегеометрической частотой (СГЧ) 2Гц, т.е. 1,4–2,8 Гц, нормы вибрации в котором являются наиболее труднодостижимыми для тракторов.

Из формул (2) и (3) видна взаимосвязь всех параметров, представленных в табл. 1. Задаваясь, например, скоростью и нормированной СКО оценки СКЗ ординат процесса, можно вычислить и все остальные исходные параметры. Однако для таких величин, как шаг квантования профиля Δl и количество точек N , существуют вполне определенные ограничения: Δl выбирались не только из условия приближения верхнего значения ширины полосы B к пределу первых четырех ОДЧ (0,7–11,2 Гц), как у стандартных треков [4] (табл.1 п.1, 2), но и с учетом длин пятен контактов шин; N рассчитывалось с учетом минимизации трудозатрат, и величина $2^9 = 512$ обуславливалась их дальнейшим использованием при расчете спектров по общепринятым программам с применением БПФ методом Кули-Тьюки [9].

Необходимо отметить, что по опыту нивелирования авторами реальных профилей пути, на выбранных участках в пределах шага квантования по табл. 1 практически не бывает каких-либо ям или резких возвышений. Поэтому при проведении спектрального анализа реализаций профилей и воздействий от них (таблица) можно воспользоваться процедурой введения между соседними точками

Исходные параметры для исследования профилей пути

Фон	Скорость машины		Длина участка	Шаг квантования	Кол-во точек	Ширина полосы	Норм. СКО оценки СКЗ ординат	Норм. СКО оценки СКЗ ординат
	V							
	км/ч	м/с	м, с	м, с	–	1/м, Гц	%	%
Неровная поверхность	0,28	1	35,04	0,08	438	6,2	3,4	7,1
	4	1,11	31,6	0,07		6,9		
	5	1,39	25,2	0,06		8,7		
	7	1,94	18,1	0,04		12,1		
Ровная поверхность	0,28	1	100	0,16	625	3,1	2,8	4,2
	10	2,78	36	0,06		8,7		
	12	3,33	30	0,05		10,4		
	14	3,89	25,7	0,04		12,1		
Лесная дорога	0,28	1	76,8	0,15	512	3,3	3,1	6,2
	10	2,78	27,6	0,05		9,2		
Магистральный волок	0,28	1	102,4	0,2	512	2,5	3,1	6,2
	14	3,89	26,3	0,05		9,7		
Пасечный волок	0,28	1	76,8	0,15	512	3,3	3,1	6,2
	8	2,22	34,6	0,07		7,4		
Движение под кронами (МГТ)	0,28	1	51,2	0,1	512	5	3,1	6,2
	6	1,67	30,7	0,06		8,3		
Ландшафтное строительство (МГТ)	0,28	1	51,2	0,1	512	5	3,1	6,2
	8	2,22	23,1	0,05		11,1		

Примечание: 1, 2 – принятые в стандарте [4]; 3–7 – типовые для лесного [8] и лесопаркового хозяйств

дополнительных точек. Это легко достигается использованием в программе расчета стандартных алгоритмов по интерполяции (например кубическими сплайнами) и позволяет получать улучшенные оценки спектров. Кроме того, такое искусственное (но закономерное) уменьшение шага квантования гарантированно обеспечит увеличение ширины полосы частот B до 11,2 Гц (первых четырех ОДЧ) для всех возможных профилей и воздействий, что важно для обеспечения общего корректного методического подхода при анализе вибрационных характеристик. На этом же этапе исследования необходимо введение цифровой фильтрации верхних (0,5 Гц) и нижних частот (11,2 Гц), например двухполосного фильтра Баттерворта [2].

Таким образом, показано, что выбранные и рассчитанные исходные параметры профилей и воздействий от лесных фонов и эталонных треков международных стандартов, полученные по единой методике, похожи между собой. Поэтому это даст основание после их статистической обработки осущес-

твить корректный сравнительный анализ выбранных характеристик этих реализаций и аргументированно выбрать параметры испытательного кода для машин, используемых в лесном и лесопарковом хозяйствах.

Библиографический список

1. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартинформ. – 2008. – 22 с.
2. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). Межгосударственный стандарт. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 1. Общие требования. – М.: Стандартинформ. – 2008. – 37 с.
3. ГОСТ 31193-2004 (ЕН 1032:2003). Межгосударственный стандарт. Вибрация. Определение параметров вибрационной характеристики самоходных машин. Общие требования. – М.: Стандартинформ. – 2008. – 27 с.
4. ГОСТ 31323-2006 (ИСО 5008:2002). Межгосударственный стандарт. Вибрация. Определение параметров вибрационной характеристики самоходных машин. Тракторы сельскохозяйственные колесные и машины для полевых работ. – М.: Стандартинформ. – 2008. – 85 с.

5. ГОСТ 12.2.102-89 ССБТ. Межгосударственный стандарт. Машины и оборудование лесозаготовительные и лесосплавные, тракторы лесопромышленные. Требования безопасности, методы контроля требований безопасности и оценки безопасности труда. Методы оценки безопасности. – М., 1989. – 70 с.
6. Рукомойников, К.П. Имитационное моделирование взаимосогласованной работы комплектов адаптивно-модульных лесных машин / К.П. Рукомойников // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 2. – 2013. – С. 154–159
7. Арутюнян, В.С. Обоснование параметров и разработка конструкции типового трека для испытания колесных сельскохозяйственных тракторов по оценке вибрации: дисс. ... канд. техн. наук / В.С. Арутюнян. – Ереван, 1983. – 212 с.
8. Волошин, Ю.Л. Исследование плавности хода лесохозяйственного трактора класса 1,4 в производственных условиях / Ю.Л. Волошин, Ю.А. Добрынин // Тракторы и сельхозмашины. – 1977. – № 1. – С. 15–18.
9. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол – М.: Мир, 1989. – 540 с.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

В.Я. ЛАРИОНОВ, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,*
 Д.М. ЛЕВУШКИН, *ст. преп. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук*

transportlesa@mail.ru, levushkin@mgul.ac.ru

Безопасность движения лесовозных автопоездов и других транспортных средств, условия работы водителей, стоимость содержания и ремонта лесных дорог в значительной мере зависят от того, насколько правильно разработана и рассчитана конструкция дорожной одежды.

Вопросами проектирования дорожных одежд посвящены работы многих поколений ученых и инженеров.

Дорожная одежда представляет собой конструкцию, включающую несколько слоев из различных материалов, основанием которой является грунт земляного полотна.

Прежде всего необходимо было разработать физическую модель среды, которая адекватно бы отражала в определенных пределах деформирование грунтового основания под площадкой нагружения.

Представление о деформируемости грунтового массива как сплошного однородного полупространства было развито уже давно и в настоящее время продолжает совершенствоваться.

Одно из ранних упоминаний взаимодействия колеса и грунтовой поверхности относится к 1798 г. Н.И. Фусс при исследовании процесса движения колеса конной повозки по грунтовой поверхности и образования колеи исходил лишь из возможности

местного, локального развития деформаций, затрагивающих только те области грунтового полупространства (основания), которые находятся непосредственно под нагруженной площадкой. При этом деформация основания носит не только локальный характер, но она оказывается необратимой, то есть после снятия нагрузки на грунтовом основании останется видимый след – отпечаток от колеса.

В развитие этой модели Э. Винклер сделал допущение на возможность полного упругого восстановления деформаций основания при сохранении их локального характера. Винклер полагал, что грунтовое основание может быть представлено упругим полупространством. Модель Винклера используется при расчете балок на упругом основании, аэродромных покрытий и т.п.

Дальнейшее развитие модель Фусса-Винклера получила в работах М.М. Филоненко-Бородич (1940 г.), который дополнительно ввел мембрану, перекрывающую с поверхности упругие элементы и тем самым обеспечивающую включение в деформирование не только зоны под площадкой нагружения, но и прилегающие к ней области полупространства. В зависимости от соотношения жесткостей мембраны и основания поверхность полупространства принимает ту или иную плавно изогнутую форму. По-

лученная модель, таким образом, по своим деформационным характеристикам в большей степени соответствует сплошному линейно-деформируемому полупространству, которое может быть представлено связными грунтами, обладающими развитыми силами межчастичного сцепления.

Последующие экспериментальные и теоретические исследования позволили ученым (Фишер, Кандауров и др.) разработать физические модели, которые более полно отражали распределение напряжений в дорожной одежде от нагрузки, приложенной к поверхности слоистого полупространства, обладающего различными свойствами. Это позволило совершенствовать методы расчета дорожных одежд

В 1885 г. французский ученый Ж. Буссинеск получает решение задачи о распределении напряжений в полупространстве от действия сосредоточенной силы, заложившее основы теории распределения напряжений в грунте.

Ж. Буссинеск, принимая грунтовое полупространство в качестве линейно-деформируемой среды, для которой связь между напряжениями и деформациями подчиняется закону Гука, впервые математически описал его напряженное состояние. При этом он исходил из предположения, что перемещение любой точки полупространства по направлению действия силы обратно пропорционально расстоянию этой точки от точки приложения силы.

В дальнейшем О.К. Фрелихом (1934) та же задача была решена на более широкой основе, для которой задача Буссинеска являлась лишь частным случаем решения. Две последние гипотезы получили наибольшее развитие, поскольку результаты расчетов напряжений и деформаций, выполненные с использованием теории упругости и теории зернистых сред, оказываются в пределах точности решения конкретных задач.

Впервые методика расчета жестких дорожных одежд была разработана в 1870 г. инженером Е.С. Головачевым. Предложенная им методика расчета исходила из предположения о равномерном распределении давления от колеса подвижного состава вглубь одежды под углом естественного откоса грунта. При

этом предположении площадь, на которую передается давление, будет возрастать по мере углубления в толщу дорожной одежды, то есть распределение давления представляет собой усеченный конус, расширяющийся вглубь дорожной конструкции.

Зная величину угла распределения давления, принимаемую для грунтов в среднем 45° , можно на любой глубине z определить площадь, воспринимающую нагрузку, а следовательно, при известной нагрузке p установить удельное давление σ_z в любом сечении дорожной одежды $\sigma_z = p/\omega_z$.

При расчете дорожных одежд этим методом прочность грунтов характеризуется только несущей способностью или сопротивляемостью их сжатию без учета таких важных факторов, как упругие свойства материалов одежды и подстилающих грунтов, влияние повторяемости приложения нагрузок.

Многочисленные исследования показали, что выразить сжимаемость грунта можно через модуль общей деформации грунта. А модуль деформации в данном случае аналогичен модулю упругости, определяемому в соответствии с законом теории упругости – законом Гука – по выражению

$$E = p/\lambda,$$

где λ – относительная деформация,

p – давление, передаваемое штампом.

Так как конструктивные слои жестких дорожных одежд не являются линейно-деформируемыми телами, то закон теории упругости применим к расчету дорожных одежд с определенными ограничениями.

Исследованиями профессоров Н.Н. Иванова, Н.М. Герсиванова, Г.И. Покровского, А.М. Кривисского, М.Б. Корсунского и др. была выявлена закономерность деформации грунтов под действием нагрузки и разработаны теоретические основы расчета жестких дорожных одежд [1].

В 1943 г. впервые была разработана под руководством профессора Н.Н. Иванова и опубликована «Инструкция по назначению конструкции дорожных одежд жесткого типа» и приложения к ней. Крупное научное и практическое значение разработанного метода проектирования одежд жесткого типа

было отмечено награждением профессора Н.Н. Иванова Государственной премией.

В предложенном методе дорожная одежда и грунт земляного полотна рассматриваются как упруго-вязко-пластичная среда, в которой при повторных нагрузках накапливаются остаточные деформации. Прочность одежды определялась допускаемой предельной деформацией (осадкой), при которой начинает нарушаться пропорциональная зависимость между нагрузками и вертикальными осадками. Расчет дорожной одежды производился при однократном приложении внешней вертикальной нагрузки.

В связи со сложностью задачи о напряженном состоянии многослойных систем разработаны решения лишь для двух- и трехслойных систем, у которых верхний слой имеет больший модуль деформации (упругости), чем нижний.

Результаты продолжавшихся исследований в этом направлении (а они не прекращаются) отражены в последующих переизданиях инструкции в 1954, 1957, 1960 гг.

В этих инструкциях и изданиях в последующие годы расчет одежды производился с учетом суточной приведенной интенсивности движения. Это был важный шаг на пути совершенствования методов расчета.

Появление официального издания инструкций стало существенным событием для сухопутного транспорта леса. Они позволили научно обоснованно подойти к расчету дорожных одежд лесовозных дорог. В этих инструкциях расчетные характеристики автомобилей были даны для подвижного состава дорог общего пользования. В связи с этим появилась необходимость учитывать особенности влияния лесовозных автопоездов на расчет дорожных одежд.

Необходимо было установить влияние характера перевозимого груза – хлыстов, деревьев, сортиментов, степень подрессоривания автомобиля и прицепного состава, конструкции сцепки и т.п. на износ и разрушение дорог с разными типами одежд. Специалистами ЦНИИМЭ, Гипролестранса, ЛТА им. С.М. Кирова, МЛТИ, АЛТИ, УЛТИ и др. за тридцать с лишним лет, прошедших с 1943 г., были пред-

ложены и внесены дополнения и поправки в инструкции, учитывающие особенности лесовозных автомобильных дорог [2–6].

Работы по усовершенствованию методов расчета одежд нежесткого типа продолжались исследователями Союздорнии, автомобильно-дорожными институтами (Московский, Харьковский и др.), Военной академии тыла и транспорта и др.

Результатом сложной совместной работы явилась «Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа» ВСН 46-72.

В инструкции дорожную одежду и земляное полотно рассматривают как слоистое упругое полупространство. Основным критерием прочности одежды является величина допускаемого упругого прогиба. В работе приведена уточненная формула определения требуемого модуля упругости.

В инструкцию включены указания об учете числа осей у автомобилей и даны коэффициенты приведения автомобилей с различными осевыми нагрузками к нормативным.

В приложениях к инструкции содержатся уточненные характеристики грунтов и материалов; методы определения модулей упругости; указания по оценке прочности одежды по величине прогиба; методика испытания грунтов и материалов на морозоустойчивость.

Все сказанное делает инструкцию 1973 г. более качественной и прогрессивной по сравнению с ранее действовавшими. Однако в ней еще недостаточно учтена специфика лесовозных дорог. Нагляднее всего это отражается в определении расчетной интенсивности движения.

В 1985 г. увидела свет «Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа» ВСН 46-83.

В разработке инструкции под руководством Ю.М. Васильева, М.Б. Корсунского, П.И. Теляева приняли участие сотрудники двадцати двух НИИ и вузов. Один из авторов инструкции – специалист Гипролестранса А.В. Епифанов.

В методике ВСН 46-83 так же как и в ВСН 46-72 расчетная схема дорожной конструкции – слоистое упругое полупростран-

тво, равномерно загруженное по площади круга, равновеликого площади следа отпечатка колеса автомобиля. Дорожная одежда рассчитывается по допускаемому упругому прогибу.

В этой работе приведены расчетные характеристики девяти лесовозных автопоездов. Но в лесозаготовительной отрасли использовалась широкая гамма лесовозов. В 1989 г. А.Д. Грязин (МарПИ) опубликовал работу [7], в которой даны расчетные характеристики практически всех типов лесовозных автопоездов того времени.

Дальнейшим развитием методов расчетов нежестких дорожных одежд явилась Инструкция ОДН 218.046-01, опубликованная в 2001 г.

Новая инструкция разработана под руководством д.т.н. В.Д. Казарновского и к.т.н. В.М. Юмашева большим коллективом ученых СоюздорНИИ и его филиалов в Санкт-Петербурге и Омске, МАДИ, РосдорНИИ, Военной академии тыла и транспорта, СибАДИ.

В инструкции учтены материалы исследований, выполненных в 1985–1995 г.г. под руководством профессоров В.А. Семенова, А.Я. Тулаева, Б.С. Радовского и других.

Здесь также расчетная схема дорожной одежды – слоистое упругое полупространство.

Во всех методах расчета конструкции нежестких дорожных одежд до появления ОДН 218.046-01 основным исходным параметром является суточное перспективное приведенное к расчетной нагрузке движение к концу срока службы одежды перед очередным капитальным ремонтом.

Принципиально новым положением в инструкции является определение нагрузки как суммарного числа приложений расчетной нагрузки за весь срок службы дороги. Это позволяет повысить надежность и работоспособность дорожных одежд нежесткого типа. В инструкции также приведены уточненные расчетные характеристики грунтов и дорожно-строительных материалов.

Однако в инструкции даны коэффициенты приведения к расчетным нагрузкам для автомобилей общего пользования, специ-

фика лесовозных дорог не учтена. В расчете дорожной одежды суммарный коэффициент приведения является одной из важнейших характеристик. Расчет дорожной одежды определяется величиной требуемого модуля упругости, который, в свою очередь, зависит от интенсивности воздействия расчетной нагрузки на одежду.

Этот недостаток инструкции восполнен Н.В. Дыровых и А.М. Меньшиковым (АГТУ), опубликовавшими работу [8]. Авторы аналитически определили суммарные коэффициенты приведения современных лесовозных автопоездов к расчетной нагрузке.

В целях совершенствования методов определения суммарных коэффициентов приведения для расчета нежестких одежд лесовозных дорог необходимо выполнить дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

- публикация каждой инструкции являлась важным этапом развития методов расчета нежестких дорожных одежд;
- Инструкция ОДН 218.046-01, изданная в 2001 г. взамен опубликованных ранее, более прогрессивна и совершенна;
- инструкция имеет теоретическое обоснование, четко выраженные критерии прочности и основана на применении объективных расчетных характеристик грунтов и дорожных материалов;
- инструкция включает ряд новых и научно обоснованных положений расчета конструкций нежестких дорожных одежд, но она не полностью отвечает специфике работы лесовозных автомобильных дорог;
- необходимо выполнить ряд теоретических и экспериментальных исследований для разработки методов определения суммарных коэффициентов приведения воздействия лесовозного подвижного состава к нормативной нагрузке.

Библиографический список

1. Иванов, Н.Н. Строительство автомобильных дорог / Н.Н. Иванов. – М.: Дориздат, 1948. – Т. 1. – 229 с.

2. Буверт, В.В. Сухопутный транспорт леса / В.В. Буверт, Б.Д. Ионов, М.И. Кишинский, С.А. Сыромятников. – М.: Гослесбумиздат, 1960. – Т. 1.
3. Инструкция по проектированию дорожных покрытий лесовозных и автомобильных дорог. – Л.: Гипролестранс, 1967. – 70 с.
4. Инструкция по назначению и расчету конструкций дорожных одежд нежесткого и полужесткого типов для лесовозных автомобильных дорог. – М., Химки: ЦНИИМЭ, 1972. – 70 с.
5. Ильин, Б.А. Сухопутный транспорт леса / Б.А. Ильин, И.Ф. Алышев, Б.И. Кувалдин и др. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – 384 с.
6. Техническая информация № 1. – Л.: Гипролестранс, 1957.
7. Грязин, А.Д. Лесовозный транспорт: учеб. пособие / А.Д. Грязин. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1989. – 74 с.
8. Дыроватых, Н.В. Обоснование суммарных коэффициентов приведения воздействия на дорожную одежду современных автопоездов на вывозке древесины к расчетной нагрузке. Сухопутный транспорт леса / Н.В. Дыроватых, А.М. Меньшиков // Матер. научн.-техн. конфер. СПбГЛТА им. С.М. Кирова. – СПб: 2009. – С. 200–205.
9. Левушкин, Д.М. Ресурсное обеспечение в условиях вероятностного характера дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог / Д.М. Левушкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 2. – 2012. – С. 123–126.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ДЭС, РАБОТАЮЩИХ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ЕВРОСТАНДАРТАМ

Г.И. КОЛЬНИЧЕНКО, *проф. каф. ЭТЭ ПЛК МГУЛ, д-р техн. наук,*

А.В. СИРОТОВ, *проф. каф. ЭТЭ ПЛК МГУЛ, д-р техн. наук,*

Я.В. ТАРЛАКОВ, *ст. препод. каф. ЭТЭ ПЛК МГУЛ, канд. техн. наук*

tarlakov@narod.ru

Единая энергосистема страны на протяжении многих десятилетий была основой надежности энергоснабжения. Однако ее нынешнее состояние таково, что приходится констатировать ухудшение экономических показателей, снижение эффективности функционирования и темпов развития электроэнергетики. Известно, что российские тепловые электростанции (ТЭЦ), производящие примерно 2/3 всей электроэнергии в стране, характеризуются технологической и технической отсталостью: у многих из них КПД и коэффициент использования установленной мощности значительно ниже, чем у зарубежных. Низкая эффективность, моральный и физический износ не только станционного, но и сетевого оборудования приводят к высокой стоимости электроэнергии. Реорганизация электроэнергетики за годы реформы РАО ЕЭС, к сожалению, не привели ни к остановке роста цен, ни к росту инвестиций, что, естественно, тормозит модернизацию электроэнергетики, требующую огромных финансовых затрат. Только для сетевой составляющей нужны вложения в размере не менее 5 трлн руб. на ближайшие 10–15 лет [1, 6].

По ценам на электроэнергию мы уже приблизились, а кое-где превзошли цены США и стран Западной Европы.

Высокие цены на электроэнергию снижают конкурентоспособность продукции большинства отраслей России, уменьшают поток зарубежных и отечественных инвестиций, существенно затрудняя развитие экономики всей страны.

Высокие цены на электроэнергию заставляют потребителей отказываться от централизованного энергоснабжения. Число таких потребителей растет: уже многим предприятиям выгоднее иметь свой источник электроэнергии, чем покупать ее у энергосистемы. Не случайно статистика показывает рост импорта в Российскую Федерацию дизельных генераторов. Суммарная мощность ввозимых за год мини электростанций составляет от 2,5 до 4 гигаВатт.

Таким образом, наблюдается развитие малой распределенной энергетики (МРЭ). При этом важно отметить, что переход на автономную генерацию востребован как в сегменте традиционной, так и нетрадиционной энергетики.

География развития объектов МРЭ очень широка: множество удаленных от централизованного электроснабжения поселков (и это зачастую лесные поселки) снабжаются электроэнергией от локальных дизельных источников.

Общеизвестно, что нефть на ближайшую перспективу (т.е. на ближайшие несколько десятилетий) по-прежнему остается основным источником моторного топлива. Однако обострение проблемы обеспечения населения Земли органическими энергоносителями привела к необходимости хотя бы частичной замены природных топлив (главным образом нефтяных) возобновляемыми растительными, то есть биотопливом или его добавками.

Выход на рынок биотоплива является серьезной альтернативой дорогостоящим нефтяным ресурсам. Предполагается, что к концу столетия биотопливо обеспечит уже более двух третей потребностей транспортной отрасли в жидком топливе. Значительное внимание в мире ныне уделено биотопливу, полученному из рапса. Рапс занимает прочные позиции в мировом сельском хозяйстве как одна из основных масличных культур [2].

В условиях лесного комплекса имеются широкие возможности применения биотоплива и традиционного топлива с биодобавками, так как многие энергопотребители лесных отраслей располагаются в местах, удаленных от централизованных источников электроснабжения.

В МГУЛе были проведены эксплуатационные испытания дизель-генератора и технико-экономические исследования по определению мощностных, экологических и экономических показателей дизеля, работающего на штатном стандартном топливе и биотопливе (т.е. дизельном топливе (ДТ) с добавлением рапсового масла (РМ)).

Для оценки эксплуатационных показателей дизельных электростанций (ДЭС) была разработана методика, включающая следующие основные этапы:

1. Для каждого определяемого стандартами вредного вещества проводится серия экспериментов по количественному определению его содержания в отработанных газах при различных процентных содержаниях биодобавок и генерируемых мощностей.

2. По результатам экспериментов строятся зависимости количества вредных веществ в отработанных газах от исследуемых параметров.

3. На основе построенных функциональных зависимостей и значений ограничительных параметров стандартов для каждого используемого значения процентного содержания биодобавки определяется диапазон мощностей, генерируемых ДЭС, в котором возможна работа двигателя при данном процентном содержании.

4. Диапазон экологически безопасных режимов для работы ДЭС может определяться по максимально вредному воздействию одного из вырабатываемых вредных веществ,

Т а б л и ц а 1

Наименование видов топлива, используемого в экспериментах

Наименование топлива	% РМ	% ДТ
100ДТ	–	100
10РМ90ДТ	10	90
15РМ85ДТ	15	85
20РМ80ДТ	20	80
25РМ75ДТ	25	75
30РМ70ДТ	30	70
35РМ65ДТ	35	65
40РМ60ДТ	40	60

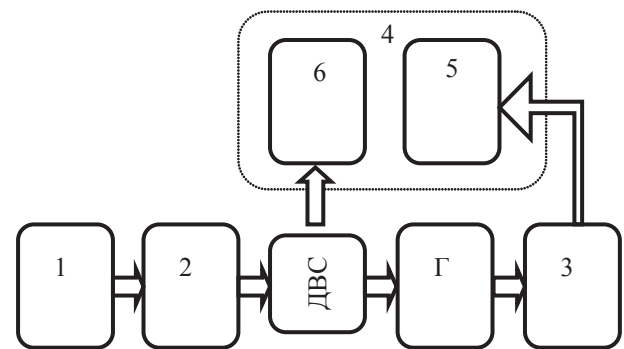


Рис. 1. Схема устройства для определения технических характеристик передвижных электростанций с приводом от двигателей внутреннего сгорания: 1 – вынесенный топливный бак, 2 – расходомер, 3 – имитатор нагрузки, 4 – блок снятия характеристик, 5 – приборы для измерения электротехнических показаний генератора, 6 – приборы для снятия характеристик двигателя внутреннего сгорания (газоанализатор и дымомер)

**Ограничения технологических режимов работы двигателя
с учетом требований евростандарта IV**

0 %	Расход топлива на 1 кВт·ч при генерируемой мощности и ограничениях						
	0,600	0,800	0,600	0,400	0,343	0,333	0,340
10 %	0,630	0,800	0,613	0,520	0,386	0,378	0,380
15 %	0,650	0,890	0,667	0,600	0,486	0,489	0,480
20 %	0,700	0,920	0,733	0,680	0,629	0,600	0,600
25 %	0,840	1,000	0,867	0,800	0,714	0,644	0,660
30 %	0,900	1,500	0,933	1,000	0,857	0,756	0,800
35 %	1,100	1,700	1,000	1,120	0,943	0,844	0,860
40 %	1,300	1,900	1,533	1,200	1,057	0,933	0,920
Содержание РМ в смеси с ДТ, %	xx	1	1,5	2,5	3,5	4,5	5
	Генерируемая мощность, кВт·ч						

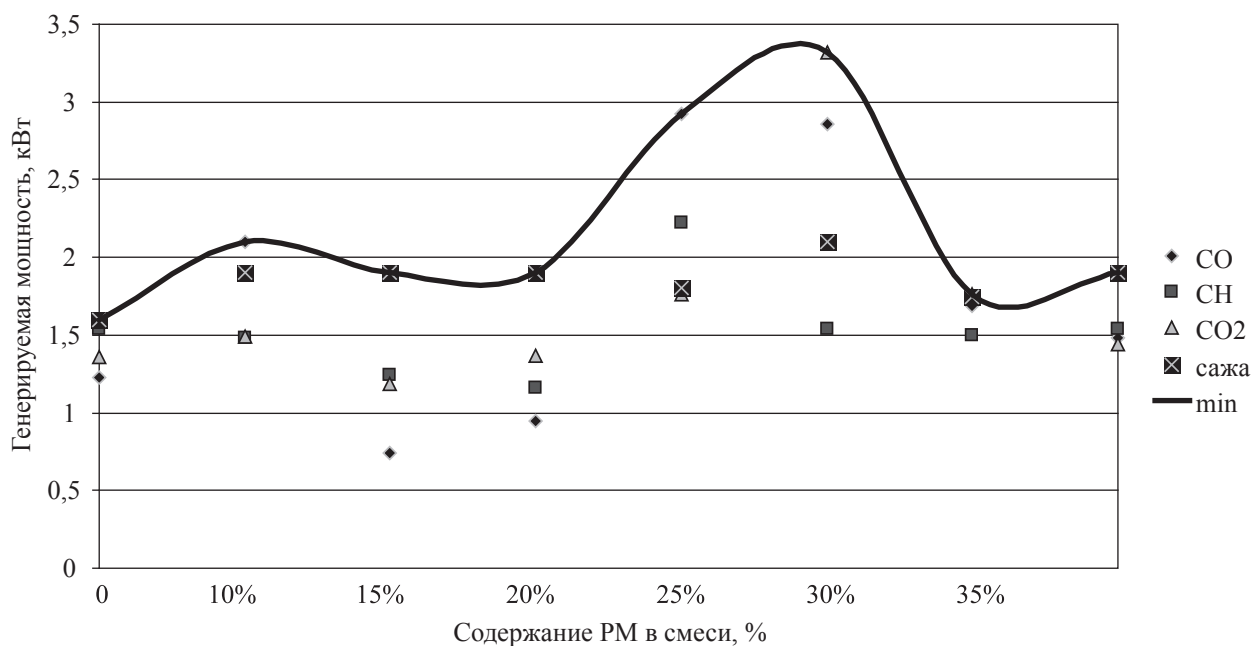


Рис. 2. Область ограничений технологических режимов по выбросам с учетом требований EURO IV

а также по их совместному агрегатному воздействию, на основе чего формируются ограничения для возможных технологических режимов работы ДЭС.

Программа и методика стендовых испытаний ДЭС имела целью получение следующих функциональных зависимостей:

- зависимость напряжения от процентного содержания смесового топлива и выходной мощности;

- зависимость выброса вредных веществ (CO, CO₂, CH) в отработанных газах (ОГ), а также дымности ОГ на 1 кВт·ч от процентного соотношения смесового топлива и генерируемой мощности;

- зависимость падения мощности от процентного соотношения смесового топлива и номинальной мощности;

- зависимость расхода топлива на 1 кВт·ч от процентного соотношения смесового топлива и генерируемой мощности.

Для проведения испытаний и получения перечисленных зависимостей был разработан стенд для определения технических характеристик передвижных электростанций с приводом от двигателей внутреннего сгорания (рис. 1). На данное изобретение получен патент РФ на полезную модель № 106918.

В качестве стандартного топлива для дизельной электростанции типа SKAT УГД-

4500 ($P_{\max} = 5$ кВт) использовалось чистое дизельное топливо (ДТ) по ГОСТ 309-82 и смесевое топливо (дизельное топливо (ДТ) + рапсовое масло (РМ) в различных процентных соотношениях). Состав топлива, используемого в эксперименте, представлен в табл. 1.

На основе проведенных экспериментов были получены перечисленные выше функциональные зависимости, которые необходимы для построения области ограниченных оптимальных технологических режимов ДЭС с учетом требований по экологии. Последнее напрямую связано с требованиями экологических стандартов, поскольку Россия готовится к переходу на стандарты EURO-IV и EURO-V. По численным значениям экологических евростандартов для каждого вида топлива составляется таблица минимальных мощностей, при которых работа двигателя считается экологически безопасной [4], что позволяет построить область ограничений технологических режимов по выбросам отработанных газов (ОГ) с учетом требований евростандартов (рис. 2).

Полученные в ходе экспериментов данные по расходу топлива и данные рис. 2 позволяют рассчитать параметры технологических режимов, то есть определить допустимый расход топлива при определенном процентном содержании биодобавок в топливе и

определенной генерируемой мощности с учетом ограничений по евростандартам.

Результаты обработки экспериментальных данных показали, что во всем допустимом диапазоне данного двигателя лучшим по экологическим показателям является топливо с содержанием биотоплива в размере 15 %.

Библиографический список

1. Егоров, Е.Ю. Вынужденная распределенная генерация / Е.Ю. Егоров // НГ-энергия. 14 мая 2013 г. – С.10.
2. Клименко, А.В. Биомасса – важнейший источник энергии для России / А.В. Клименко, Б.Ф. Реутов // Энергетика России: проблемы и перспективы: тр. науч. сессии РАН – М.: Наука – 2006. – С. 336–340.
3. Тарлаков, Я.В. Эксплуатационные показатели дизельных электростанций лесного комплекса при работе на биотопливе: дисс. ... канд. техн. наук / Я.В. Тарлаков. – М.: МГУЛ, 2013.
4. Кольниченко, Г.И. Эксплуатационное исследование характеристик дизель-генератора, работающего на дизельном топливе с биодобавками/ Г.И. Кольниченко, А.В. Сиротов, Я.В. Тарлаков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 3. – 2012. – С. 58–61.
5. Кольниченко, Г.И. Биомасса и биотопливо в энергетическом обеспечении отраслей экономики страны / Г.И. Кольниченко, А.В. Сиротов, В.И. Панферов, Я.В. Тарлаков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – № 4 (73). – С. 136–140.
6. Бурков, В.Д. Сбалансированная модель глобально-биогеохимического круговорота углерода / В.Д. Бурков, В.Ф. Крапивин, В.С. Шалаев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 2. – 2012. – С. 86–94.

УПРУГИЕ И ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

А.А. КОТОВ, *проф. каф. искусственного лесовыращивания и механизации лесохозяйственных работ МГУЛ, д-р техн. наук*

kotov@mgul.ac.ru

В реологии – науке о законах образования и развития во времени деформаций любых веществ – выделяют три сплошные среды, а именно: твердое тело Гука, вязкое тело Ньютона и пластическое тело Сен-Венана [1]. Этими телами определяются три фундаментальных свойства материалов: упругость, вязкость и пластичность. Многие реальные материалы, в том числе и древесина как материал растительного происхождения обла-

дают способностью одновременно проявлять несколько свойств в конкретных условиях деформирования. Различия этих свойств отражаются в определенных пропорциональных соотношениях, т.е. одно свойство может преобладать над другим.

Упругость зависит от влажности, плотности, прямослойности древесины, от количества и размеров сердцевинных лучей в ней, а также от возраста дерева. Упругость растет с

уменьшением влажности и увеличением плотности, прямолинейности и возраста древесины. Большой упругостью обладает ядровая древесина по сравнению с заболонной. Значительная упругость древесины хвойных пород при сравнительно небольшом ее объемном весе объясняется прямолинейностью ее строения.

Условия, понижающие упругость, увеличивают пластичность и наоборот. Пластичность древесины хвойных пород, отличающихся прямолинейностью строения, незначительна.

Материал, нагружаемый силой до предела ползучести, упруго деформируется и практически мгновенно восстанавливает форму после снятия нагрузки. Однако образование пластической деформации в отдельных частицах материала происходит уже в начальной (упругой) стадии испытания. С увеличением нагрузки пластическая деформация начинает накапливаться.

Ранее, с целью упрощения расчетов, древесину считали упругим телом. Позднее при испытаниях древесины под действием постоянной нагрузки было установлено, что,

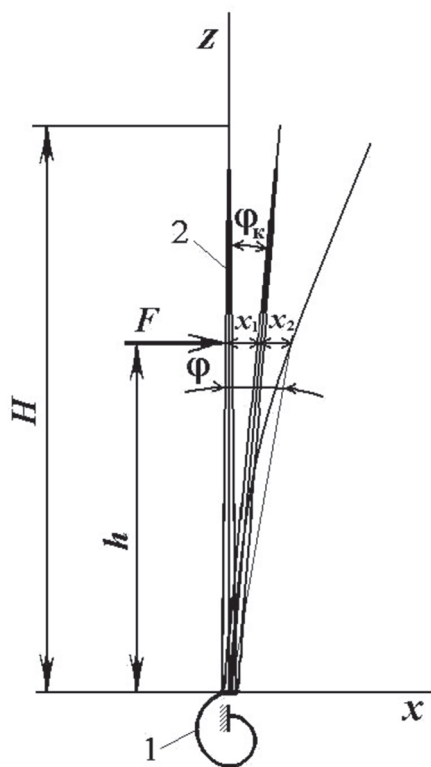


Рис. 1. К расчету изгиба растения: 1 – корневая система, 2 – ствол

кроме собственно упругой деформации, появляющейся немедленно после приложения нагрузки, с течением времени развиваются эластические и остаточные (пластические) деформации. Упругие и эластические деформации составляют обратимую часть общих деформаций, они исчезают после снятия нагрузки. При эластической деформации сохраняется полная геометрическая обратимость, то есть образец полностью восстанавливает форму и размеры после снятия нагрузки. Кроме того, восстанавливаются и его механические свойства. Полная обратимость эластической деформации коренным образом отличает ее от пластической, необратимой в любых условиях. Остаточные деформации сохраняются в древесине после снятия нагрузки при длительной выдержке в среде с постоянной температурой и влажностью [2]. Скорость нарастания остаточных деформаций за счет упругих зависит от величины последних и вязкости древесины.

В то время как свойства срезанной древесины изучены достаточно полно, сведений о деформационных свойствах растущих древесных растений в литературе недостаточно.

Целью статьи является определение доли влияния корневой системы на величину упругих и остаточных деформаций растущих древесных растений при их статическом изгибе.

Определение деформации представляет собой сложную задачу и не всегда учитывает реальные условия произрастания. Так при изучении упругих свойств живых растений часто игнорируется влияние их механической связи с почвой, уменьшающей суммарную жесткость растений. Кроме этого, при исследованиях используются предварительно срезанные растения, что приводит к некоторой ошибке. Она заключается в том, что не учитывается степень вовлеченности корневой системы, участвующей в противодействии внешней нагрузке. Чаще всего растущее дерево моделируют жестко закрепленной с одной стороны консолью. В таком случае влияние корневой системы не принимается во внимание. Но тогда, при изучении изгибов стволика под действием рабочих органов лесохозяйственных машин, зафикси-

рованные в опыте прогибы стволика не будут отражать напряжений в корневой системе.

Для учета механической связи корней растения с почвой, обеспечивающей упругую заделку, моделируем стволик растущего древесного растения консолью, представляющей собой балку переменного сечения по высоте и закрепленной жестко у основания со спиральной пружиной, имитирующей корневую систему (рис. 1).

Для достижения поставленной цели в 2010–2012 гг. на сплошной вырубке, поросшей самосевом, были проведены опыты на девяти растущих стволиках березы высотой от 2,4 до 6,1 м. Эксперименты проводились в два этапа. На первом этапе определялся прогиб стволика, вызванный только деформацией корневой системы и почвы (далее – корневой системы), на втором этапе – полный прогиб стволика, вызванный деформацией корневой системы и почвы и изгибом самого стволика.

Температура окружающего воздуха изменялась в пределах от 15 до 22 °С. Опыты проводились в безветренную погоду, чтобы исключить влияние ветра на изгиб растений.

На первом этапе стволик от корневой шейки до высоты 0,6 м сжимался двумя металлическими уголками. Этим вводилось допущение о моделировании стволика абсолютно жесткой балкой.

Высота растения замерялась рулеткой с точностью до 1 см; диаметр на соответ-

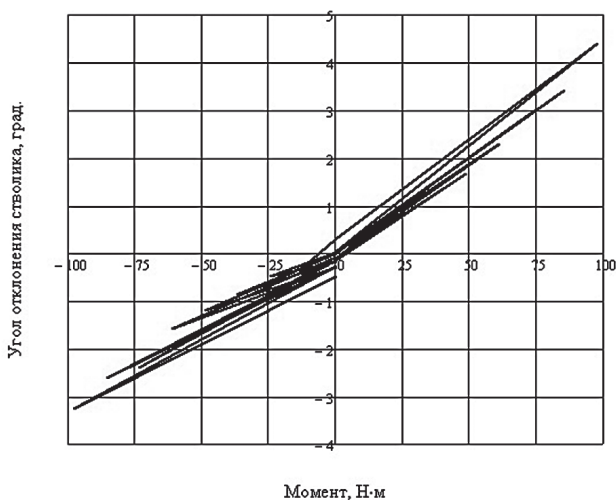


Рис. 2. Зависимость отклонения стволика березы от нагрузки при деформации корневой системы ($d_0 = 39,6$ мм, $H = 5,936$ м)

ствующих высотах в двух взаимно перпендикулярных плоскостях – штангенциркулем ШТЦ-1 с точностью до 0,1 мм. В качестве расчетного принималась средняя величина. Усилия замерялись динамометром (тип ДОР 01) Н.Г. Токаря с точностью 0,01 Н.

Ввиду того, что отклонить растение точно на определенный угол не представлялось возможным, отклонение производилось фиксированной изгибающей силой F .

Тогда момент этой силы

$$M = Fh, \quad (1)$$

где h – высота приложения нагрузки, $h = 0,5$ м.

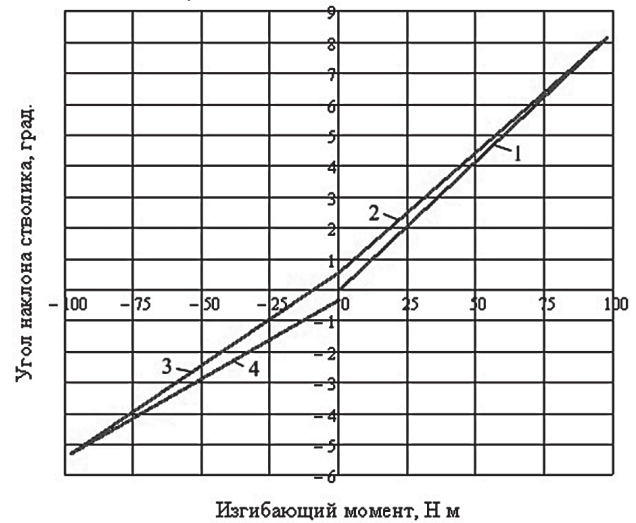


Рис. 3. Петля гистерезиса для стволика березы ($d_0 = 36,5$ мм, $H = 6,135$ м)

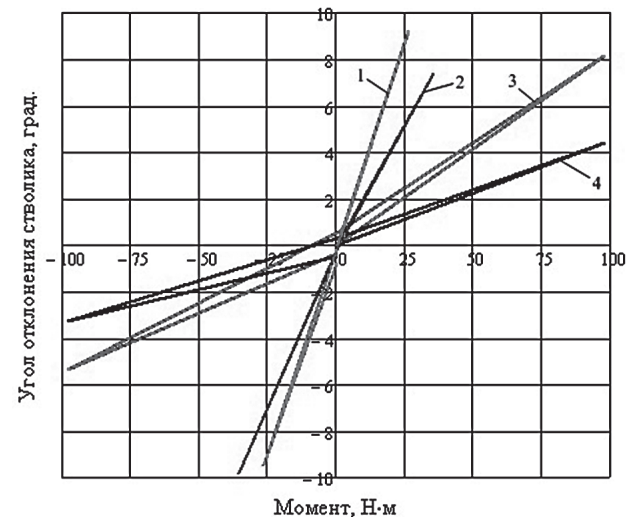


Рис. 4. Петли упругого гистерезиса для берез при изгибе за счет деформации корневой системы: 1 – $d_0 = 33,0$ мм, $H = 3,10$ м; 2 – $d_0 = 34,3$ мм, $H = 2,88$ м; 3 – $d_0 = 36,5$ мм, $H = 6,135$ м; 4 – $d_0 = 39,6$ мм, $H = 5,936$ м

Результаты экспериментов по изучению деформаций древесных растений

Диаметр стволика у корневой шейки, d_0 , мм		26,5	27,1	29,0	33,0	34,3	34,5	36,3	36,5	39,6
Высота растения, H , м		2,93	2,42	2,71	2,94	2,88	3,10	2,965	6,135	5,936
Максимальный изгибающий момент, M , Н·м	в прямом направлении	26,7	26,7	22,25	26,7	35,6	26,7	37,825	97,9	97,9
	в обратном направлении	-22,25	-26,7	-	-26,7	-35,6	-26,7	-37,825	-97,9	-97,9
Упругая деформация, φ , град.	в прямом направлении	23,73	14,67	13,24	16,08	7,36	9,21	13,32	8,17	4,41
	в обратном направлении	-14,93	-5,62	-	-16,39	-9,83	-9,49	-18,05	-5,35	-3,25
Остаточная деформация, $\Delta\varphi$, град.	в прямом направлении	1,53	1,85	-	0,83	-0,15	-0,16	-1,16	0,55	0,32
	в обратном направлении	0,80	1,48	-	-0,61	-0,16	-0,79	-2,56	-0,35	-0,47
Отношение величины остаточной деформации к упругой, %	в прямом направлении	6,4	12,6	-	5,2	-2,0	-1,7	-8,7	6,7	7,3
	в обратном направлении	-5,4	-26,3	-	3,7	1,6	8,3	13,8	6,5	14,5

К стволику прикладывалась некоторая начальная нагрузка в прямом направлении, которая затем снималась. Потом в этом же направлении прикладывалась следующая нагрузка, которая также затем снималась, и так далее, при этом величина нагрузок увеличивалась с равным интервалом. Максимальное значение нагрузки не превышало предел упругости и достигало 200 Н. Затем весь процесс повторялся при изгибе стволика в обратном направлении.

С помощью фотоаппарата вначале фиксировались исходное пространственное положение стволика растения, затем каждое его положение под нагрузкой и после ее снятия. Угол φ отклонения оси стволика от исходного положения определялся на фотографии для каждого замера с помощью компьютерной программы Paint.NET. Начало координат совмещалось с геометрическим центром сечения на высоте корневой шейки стволика. Ось z направлена по вертикали (необходимо заметить, что она, чаще всего, не совпадает с осью стволика в исходном положении), ось x – перпендикулярно оси z как на рис. 1.

Полученные результаты представлены для всех берез выборочно в табл. 1 и для одной березы – на рис. 2. Из этого рисунка видно, что после снятия нагрузки стволик не

возвращается сразу точно в исходное положение, т.е. наблюдается при изгибе наличие эластических и остаточных деформаций (далее – остаточных).

Очевидно, что с увеличением d_0 при одинаковом изгибающем моменте уменьшается величина отклонения стволика, или увеличивается коэффициент жесткости корневой системы [3, 4].

На основании полученных данных построены петли упругого гистерезиса (рис. 3, 4) [5]. На рис. 3 петля построена для одной березы со следующими параметрами: $d_0 = 36,5$ мм, $H = 6,135$ м). На этом рисунке цифрой 1 показано поведение стволика под нагрузкой при изгибе его в прямом направлении, цифрой 2 – поведение стволика после снятия нагрузки при этом изгибе, цифрой 3 – поведение стволика под нагрузкой при изгибе в обратном направлении и цифрой 4 – поведение стволика после снятия нагрузки при данном изгибе. Остаточная деформация при изгибе стволика в прямом направлении составила $0,55^\circ$, при изгибе в обратном направлении – $0,35^\circ$.

На рис. 4 представлены петли упругого гистерезиса сразу для четырех берез. Здесь явно просматривается рост коэффициента жесткости корневой системы с увеличени-

ем диаметра стволика. При увеличении диаметра d_0 петля приближается к оси абсцисс.

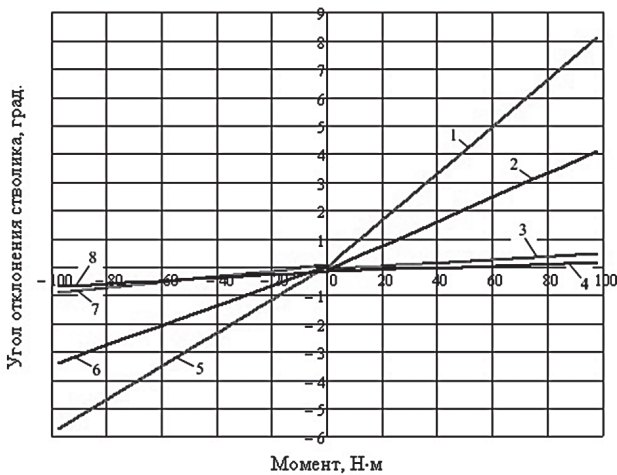


Рис. 5. Зависимости угла отклонения стволика от нагрузки: 1 и 5 – упругая деформация стволика ($d_0 = 36,5$ мм, $H = 6,135$ м) при изгибе соответственно в прямом и обратном направлениях, 2 и 6 – упругая деформация стволика ($d_0 = 39,6$ мм, $H = 5,936$ м) при изгибе соответственно в прямом и обратном направлениях, 3 и 7 – остаточная деформация стволика ($d_0 = 36,5$ мм, $H = 6,135$ м) при изгибе соответственно в прямом и обратном направлениях, 4 и 8 – остаточная деформация стволика ($d_0 = 39,6$ мм, $H = 5,936$ м) при изгибе соответственно в прямом и обратном направлениях

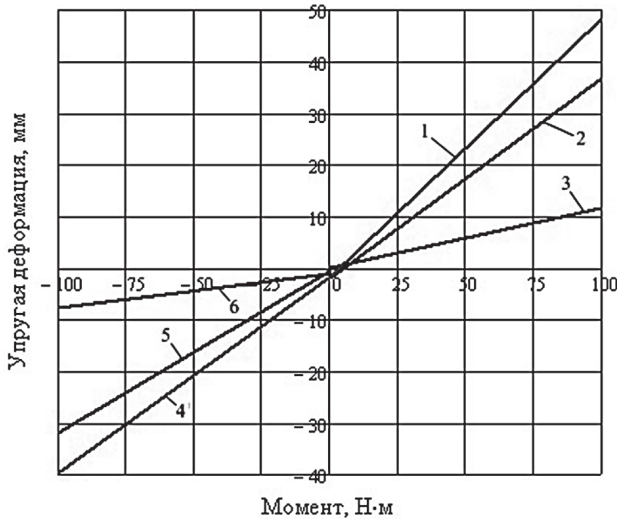


Рис. 6. Зависимости линейной упругой деформации стволика ($d_0 = 39,6$ мм, $H = 5,936$ м) от нагрузки: 1 и 4 – полная деформация при изгибе соответственно в прямом и обратном направлениях, 2 и 5 – деформация, обусловленная корневой системой при изгибе соответственно в прямом и обратном направлениях, 3 и 6 – деформация собственно стволика при изгибе соответственно в прямом и обратном направлениях

Значения моментов, упругих и остаточных деформаций представлены в табл. 1.

На рис. 5 показаны для двух берез сравнительные графики упругих и остаточных угловых деформаций стволика, обусловленных корневой системой. Установлено, что и упругие и остаточные деформации находятся в линейной зависимости от нагрузки. Анализ графиков (рис. 3–5) показывает, что остаточные деформации в среднем составляют 6–14 % от упругих.

Линейная аппроксимация зависимостей упругих и остаточных деформаций

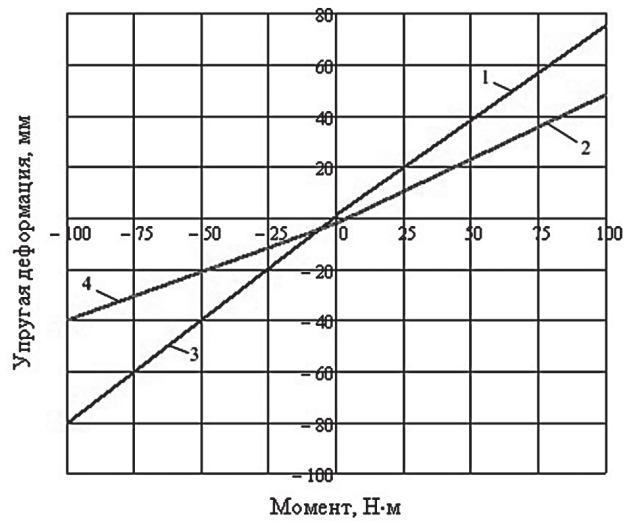


Рис. 7. Зависимости полной линейной упругой деформации от нагрузки: 1 и 2 – соответственно стволиков $d_0 = 36,5$ мм и $d_0 = 39,6$ мм при изгибе в прямом направлении, 3 и 4 – соответственно этих же стволиков в обратном направлении

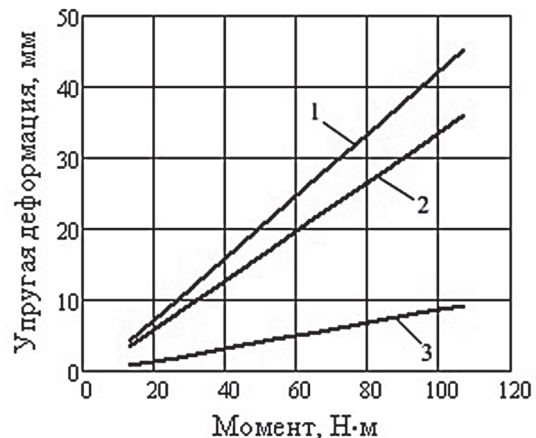


Рис. 8. Зависимости средней линейной упругой деформации стволика ($d_0 = 39,6$ мм, $H = 5,936$ м) от нагрузки: 1 – полная деформация, 2 – деформация, вызванная корневой системой, 3 – деформация собственно стволика

Линейная аппроксимация зависимостей упругих и остаточных деформаций

		Параметры растения		$d_0 = 36,5 \text{ мм}, H = 6,135 \text{ м}$	$d_0 = 39,6 \text{ мм}, H = 5,936 \text{ м}$	
		Уравнения аппроксимации	угловая деформация	упругая	в прямом направлении	нагрузка
	разгрузка				$\varphi = 0,55 - 0,078M$	$\varphi = 0,32 + 0,042M$
в обратном направлении	нагрузка				$\varphi = 0,55 + 0,06M$	$\varphi = 0,32 + 0,036M$
	разгрузка			$\varphi = -0,35 + 0,051M$	$\varphi = -0,47 + 0,028M$	
остаточная	в прямом направлении			нагрузка	$\Delta\varphi = -0,085 + 0,0055M$	$\Delta\varphi = -0,151 + 0,003M$
				разгрузка	—	—
	в обратном направлении		нагрузка	$\Delta\varphi = 0,057 + 0,0099M$	$\Delta\varphi = -0,168 + 0,0055M$	
	разгрузка		—	—		
линейная деформация	упругая		в прямом направлении	нагрузка	$x_1 = -5,471 + 0,792M;$ $x = 1,808 + 0,735M$	$x_1 = -1,807 + 0,384M;$ $x = -1,728 + 0,499M$
				разгрузка	—	—
			в обратном направлении	нагрузка	$x_1 = -0,404 + 0,567M;$ $x = -1,018 + 0,813M$	$x_1 = -0,593 + 0,313M;$ $x = -1,656 + 0,381M$
				разгрузка	—	—
		средняя	нагрузка	$x_1 = -4,052 + 0,73M;$ $x = 0,395 + 0,774M$	$x_1 = -1,182 + 0,348M;$ $x = -1,689 + 0,439M$	
		остаточная	в прямом направлении	нагрузка	$\Delta x_1 = -1,257 + 0,067M;$ $\Delta x = 0,577 + 0,051M$	$\Delta x_1 = -2,328 + 0,038M;$ $\Delta x = 0,916 + 0,016M$
	разгрузка			—	—	
	в обратном направлении		нагрузка	$\Delta x_1 = -0,688 + 0,098M;$ $\Delta x = 2,849 + 0,097M$	$\Delta x_1 = 2,595 + 0,036M;$ $\Delta x = -3,836 + 0,054M$	
			разгрузка	—	—	
	средняя	нагрузка	$\Delta x_1 = -0,736 + 0,072M;$ $\Delta x = 1,713 + 0,074M$	$\Delta x_1 = 0,134 + 0,037M;$ $\Delta x = -1,416 + 0,034M$		

$\varphi = f(M)$ $\Delta\varphi = f(M)$, $x = f(M)$ и $\Delta x = f(M)$ для двух берез представлена в табл. 2.

На втором этапе стволы освободились от уголков, и весь процесс их статического изгиба в двух направлениях повторялся. В этом случае определялась не угловая, а ли-

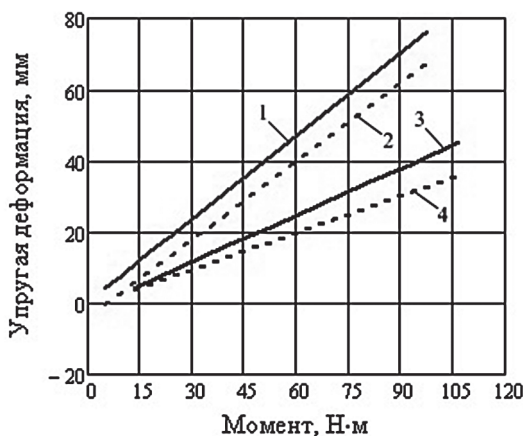


Рис. 9. Зависимости средней линейной упругой деформации от нагрузки: 1 и 3 – полная деформация соответственно стволиков $d_0 = 36,5 \text{ мм}$ и $d_0 = 39,6 \text{ мм}$, 2 и 4 – деформация соответственно этих же стволиков, вызванная корневой системой

нейная деформация стволиков в точке приложения нагрузки. Так как прогиб стволика за счет деформации самого стволика определить на растущем растении невозможно, то он определялся как разница между полной деформацией и прогибом стволика за счет деформации корневой системы. Полная деформация вычислялась по формуле

$$x = x_1 + x_2, \quad (2)$$

где x_1 – прогиб точки стволика за счет деформации корневой системы,

x_2 – прогиб точки стволика за счет деформации самого стволика.

$$x_1 = h\varphi_k, \quad x = h\varphi,$$

где φ_k – угловая деформация стволика за счет корневой системы,

φ – полная угловая деформация стволика.

На рис. 6 представлен пример распределения линейной упругой деформации стволика ($d_0 = 39,6 \text{ мм}, H = 5,936 \text{ м}$). При данной высоте приложения нагрузки (0,5 м) и данном диаметре стволика деформации большой вклад в полную деформацию вносит корнев-

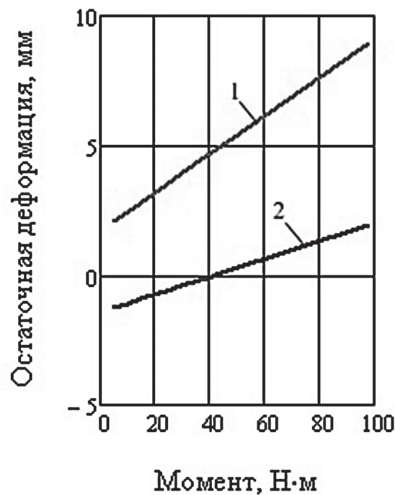


Рис. 10. Зависимости средней линейной остаточной деформации стволиков от нагрузки: 1 – $d_0 = 36,5$ мм, $H = 6,135$ м, 2 – $d_0 = 39,6$ мм, $H = 5,936$ м

вая система; но при увеличении высоты приложения нагрузки или уменьшении диаметра стволика ситуация начинает меняться на противоположную [3].

На рис. 7 выполнено сравнение аппроксимированных графиков полной линейной упругой деформации двух берез.

Так как значения деформации стволиков при изгибе в обоих направлениях отличаются, далее приняты их средние значения (рис. 8). Также показаны сравнительные усредненные графики упругих деформаций для двух берез (рис. 9). График зависимости средней линейной остаточной деформации стволиков от нагрузки представлен на рис.

10. Здесь видно, что остаточная деформация, так же как и упругая, прямо пропорциональна нагрузке.

В заключение необходимо сделать вывод о том, что при расчете параметров и режимов работы лесохозяйственных машин (например кусторезов), рабочие органы которых вступают в контакт с древесной растительностью, необходимо учитывать не только упругие, но и остаточные деформации этой растительности, а также влияние на эти деформации как самих стволиков, так и их корневой системы.

Библиографический список

1. Тюленева, Е.М. Уточнение реологической модели древесины // Хвойные бореальной зоны / Е.М. Тюленева. – 2008. – № 1–2. – С. 179–183.
2. Перельгин, Л.М. Древесиноведение: изд. 4-е, доп. и испр. / Л.М. Перельгин, Б.Н. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 288 с.
3. Иванов, Г.А. Приближенный способ определения модуля упругости древесных стволиков при изгибе / Г.А. Иванов, А.А. Котов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции, 8–10 декабря 2009 г. – Вологда: ВоГТУ, 2010. – С. 155–159.
4. Иванов, Г.А. Коэффициент жесткости корневой системы дерева при статическом изгибе / Г.А. Иванов, А.А. Котов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 3. – 2011. – С. 98–102.
5. Красносельский, М.А. Системы с гистерезисом / М.А. Красносельский, А.В. Покровский. – М.: Наука, 1983. – 271 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ КРУГЛЫМИ ПИЛАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ

Е.Ю. КУЗНЕЦОВ, асп. каф. д/о производств Поволжского ГТУ,
А.С. ТОРОПОВ, д-р техн. наук, проф. каф. д/о производств Поволжского ГТУ,
Е.С. ШАРАПОВ, канд. техн. наук, доц. каф. д/о производств Поволжского ГТУ

kuzeu@mail.ru, sharapov_evgeniy@mail.ru

Цель исследований – определение точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих.

Решаемые задачи: проведение экспериментальных исследований точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих; проверка теоретических исследований точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих; оценка эффективности электромагнитных направляющих по сравнению с пилением древесины круглыми пилами без направляющих.

Исследователями установлено, что точность пиления древесины на лесопильных станках, зависит от сил, действующих на пилу в процессе пиления (радиальной P_r и боковой Q силы резания), и способности пилы противодействовать этим силам – жесткости j_n и устойчивости P_r^{kp} [1].

Точность пиления древесины можно характеризовать максимальным отклонением пилы w_{max} [2].

Максимальное отклонение зубчатой кромки пилы при пилении, м

$$w_{max} = \frac{Q}{j_n \left(1 - \frac{P_r}{P_r^{kp}} \right)},$$

где Q – боковая сила резания, Н;

$Q = P_r \cdot \text{tg}\theta$; θ – угол между продольной осью станка и радиальной силой резания, град;

j_n – начальная жесткость круглой пилы, Н/м;

P_r – радиальная сила резания, Н;

P_r^{kp} – критическая радиальная сила резания, при достижении которой пила теряет устойчивость, Н.

Одной из вероятных причин возникновения боковой силы резания Q является непараллельность направления подачи продольной оси станка из-за неточности монтажа подающего устройства.

Все факторы, влияющие на точность пиления древесины, подразделяем на контролируемые, управляемые и выходные.

Контролируемые независимые факторы: порода древесины – сосна; влажность древесины, $W = 6,5\%$; длина выпиленных образцов, $l = 1,5$ м; угол между продольной осью станка и равнодействующей радиальной силы резания, $\theta = 1^\circ$; параметры круглой пилы – тип 1, исполнение 1, число зубьев $z = 48$, диаметр зажимных фланцев $d_\phi = 120$ мм, остальные параметры в соответствии с ГОСТ 980-80 [3]; скорость резания, $v = 40$ м/с; величина выставки электромагнита относительно плоскости пилы, $x = 6,0$ мм.

Управляемые независимые факторы: высота пропила, h ; скорость подачи распиливаемого материала и толщина пилы, s .

Выходные факторы – отклонение пилы в процессе пиления древесины, w ; работа резания, $A_{рез}$; частота вращения пилы, n .

По результатам теоретических исследований [4, 5] выявлено, что поверхность отклика описывается с достаточной точностью полиномом не выше второго порядка, поэтому для факторного планирования эксперимента нами был выбран план типа B_k .

Общее количество опытов плана B_k определяется по формуле [6]

$$N_{on} = 2^k + 2k,$$

где k – число факторов.

При $k = 3$, общее количество опытов $N_{on} = 14$. Уровни варьирования факторов приведены в табл. 1.

Уровни варьирования факторов

Факторы	Размерность	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень	Шаг варьирования
Высота пропила, h	м	0,02	0,03	0,04	0,01
Скорость подачи, u	м/мин	2	3	4	1
Толщина пилы, s	м	0,022	0,026	0,03	0,004

Экспериментальная установка для исследования точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитной направляющей представлена на рис. 1,а. На рис. 1,б представлена ее структурная схема.

Экспериментальная установка включает: 1 – автоподатчик JET M12-2351MG ($u = 1-12$ м/мин); 2 – электромагнит ДКМ-020, 3 – плоская круглая пила, $D = 0.56$; 4 – индуктивный датчик положения круглой пилы ИДА28-U-PNP; 5 – индуктивный датчик скорости вращения круглой пилы ИДА28-U-PNP, 6 – трехфазный асинхронный электродвигатель FFD WIEN ($n = 1450$ об/мин, $P = 3$ кВт); 7 – направляющая линейка; 8 – блок управления электромагнитной направляющей; 9 – устройство для измерения мощности ЦП8506-120; 10 – устройство сбора данных E14-140-M; 11-ЭВМ.

С целью проверки эффективности электромагнитной направляющей были проведены опытные распиловки без применения и с применением электромагнитной направляющей.

Порядок проведения исследований: на экспериментальную установку в соответствии с методикой проведения эксперимента устанавливается круглая пила, заготовка для распиловки, на подающем устройстве задается скорость подачи. Включается электродвигатель и все измерительные устройства, осуществляется подача заготовки к пиле по направляющей линейке, установленной под углом θ (рис. 1,б) к плоскости пилы. Под действием радиальной силы P_r образуется боковая сила Q , которая приводит к отклонению пилы в древесине на величину w . В процессе пиления измеряется отклонение w и скорость вращения пилы n , мощность, потребляемая электродвигателем. В случае применения электромагнитной направляющей осуществ-

ляется регулирование положения полотна пилы электромагнитными силами, возникающими в воздушном зазоре между пилой 3 и электромагнитом 2 автоматически в зависимости от величины ее отклонения с помощью блока управления 8. При этом электромагнитным полем создается сила F , равная по величине и противоположная по направлению боковой силе Q [7].

Отклонение пилы измеряется с помощью индуктивного датчика положения 4, установленного относительно полотна пилы 3 с противоположной стороны от электромагнита 2. Мощность, потребляемая электродвигателем, измеряется с помощью цифрового устройства для измерения мощности 9, включенного в сеть питания электродвигателя 6 установки. Частота вращения пилы измеряется с помощью индуктивного датчика скорости вращения 5. Сигнал с датчика вращения через устройство сбора данных 10 поступает на ЭВМ.

В качестве показателя, характеризующего отклонение пилы, была принята величина ее среднеквадратического отклонения. Энергоемкость процесса характеризовалась величиной работы резания за процесс пиления заготовки.

Величина работы резания за процесс пиления заготовки определяется по формуле

$$A_{рез} = t \sum_{i=1}^m N_{рез i}$$

где t – частота дискретизации устройства, с;

$N_{рез i}$ – мощность резания, Вт.

Мощность резания определяется по формуле

$$N_{рез i} = N_{ni} - N_{xx}$$

где N_{ni} – мощность, потребляемая электродвигателем, Вт;

N_{xx} – мощность холостого хода, Вт.

Результаты экспериментов были обработаны с помощью программы Statistica 6.0.

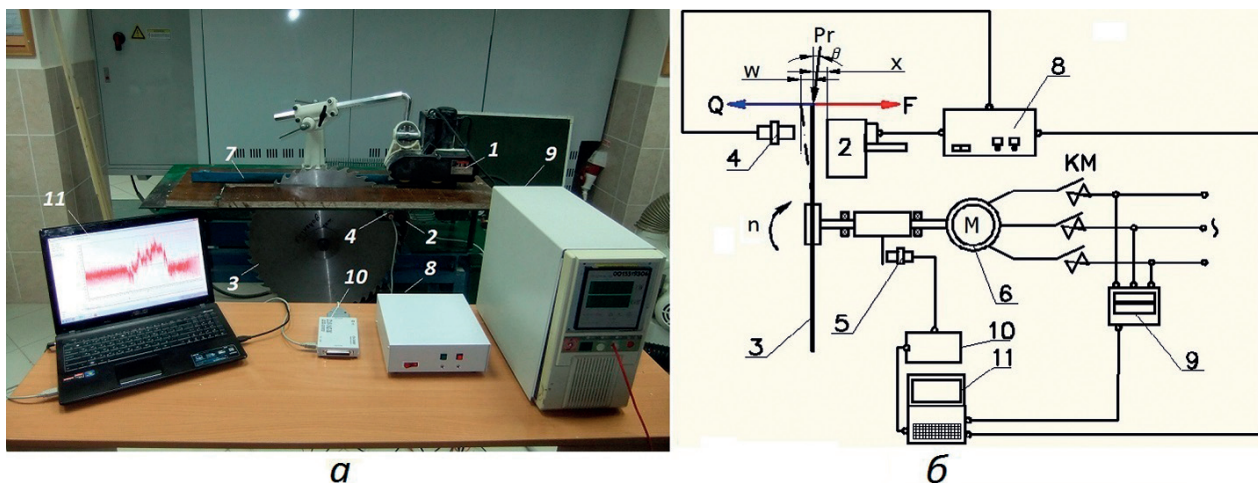


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитной направляющей (а) и ее структурная схема (б)

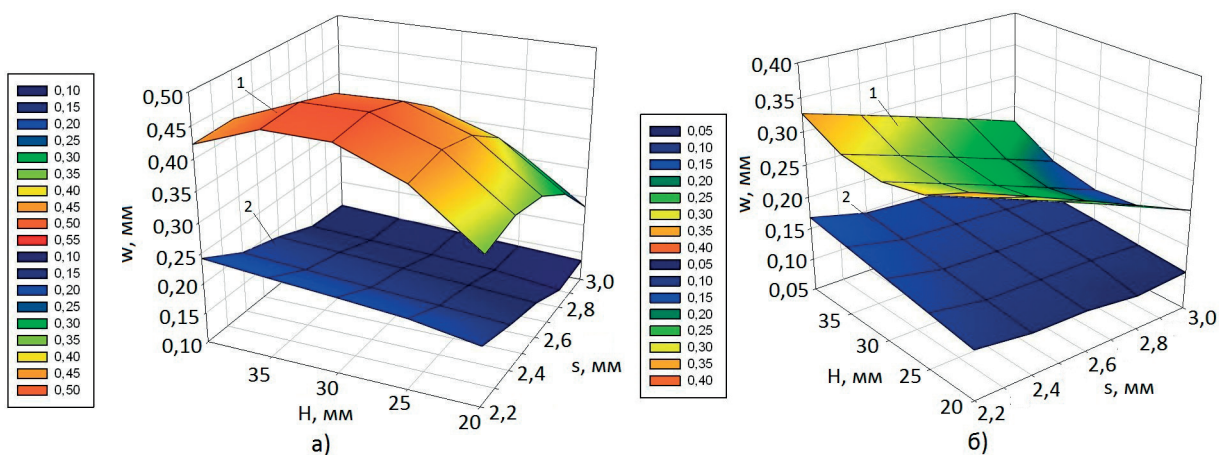


Рис. 2. Поверхности отклика максимального отклонения пилы w_{\max} относительно высоты пропила H и толщины пилы s без направляющей (а) и с направляющей (б), полученные экспериментально – 1 и теоретически – 2

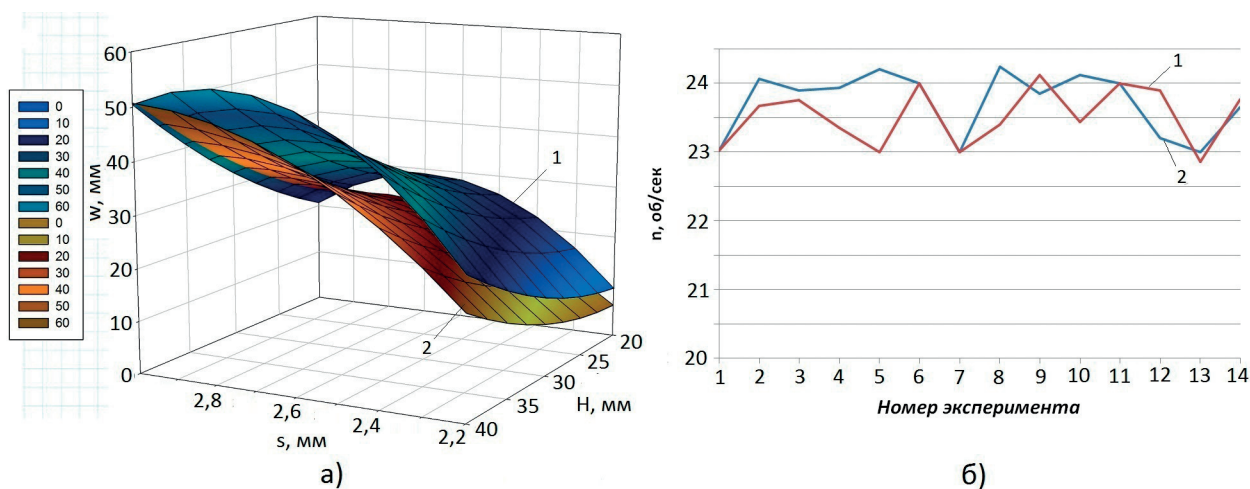


Рис. 3. Поверхности отклика работы резания относительно высоты пропила H , толщины пилы s без направляющей – 1, с направляющей – 2 (а) и график изменения скорости вращения пилы в экспериментах (б)

Результаты статистической обработки в программе Statgraphics Centurion

Параметр	Уравнение регрессии
Отклонение пилы, м	$w = -0,95 + 0,019H + 0,577s + 0,102U - 0,000269H^2 - 0,000747Hs + 0,000152HU - 0,107s^2 - 0,0252sU - 0,0062U^2$
Отклонение пилы с направляющей, м	$w = 0,28 - 0,009H - 0,067s + 0,056U + 0,00014H^2 + 0,00067Hs - 0,00086HU - 0,0026s^2 + 0,0051sU - 0,0066U^2$
Работа резания, Дж	$A = -507 - 2,38H + 429,5s - 15,5U + 0,03H^2 + 0,82Hs - 0,19HU - 83,3s^2 + 0,46sU + 2,85U^2$
Работа резания с направляющей, Дж	$A = -364 - 2,8H + 250s + 50U + 0,03H^2 + 0,9Hs - 0,16HU - 44,4s^2 - 8,24sU - 4,3U^2$

С помощью программы Statgraphics Centurion построены уравнения регрессий исследуемых параметров (табл. 2).

С целью сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований в программе SigmaPlot 12.0 построены поверхности отклика максимального отклонения пилы относительно высоты пропила – H и толщины пилы – s без электромагнитной направляющей (рис. 2,а) и с электромагнитной направляющей (рис 2,б), полученные экспериментально – 1 и теоретически – 2. Поверхности отклика отклонения пилы, полученные по результатам эксперимента, представлены величиной ее среднеквадратического отклонения. Поверхности отклика отклонения пилы, полученные теоретически, построены по результатам теоретических исследований точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих [4].

В программе SigmaPlot 12.0 построены поверхности отклика работы резания относительно высоты пропила H и толщины пилы s без направляющей – 1 и с направляющей – 2 (рис. 3,а). На рис. 3,б. представлен график изменения скорости вращения пилы в экспериментах.

В результате исследований выявлено, что отклонение пилы возрастает с увеличением высоты пропила и уменьшается с увеличением толщины пилы, работа резания возрастает с увеличением высоты пропила и толщины пилы. Исследования показали, что применение электромагнитной направляющей позволило снизить отклонение пилы на 37 %, работу резания – на 17 %. Применение электромагнитной направляющей не оказывает влияния на изменение скорости вращения

пилы. Результаты теоретических исследований оказались заниженными по сравнению с экспериментальными из-за отсутствия в математической модели зависимостей, учитывающих изменение физико-механических свойств заготовок. Математическая модель точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих может быть использована для определения параметров электромагнитных направляющих при их проектировании и применении в промышленности.

Библиографический список

1. Прокофьев, Г.Ф. Аналитический метод определения точности пиления древесины рамными и ленточными пилами / Г.Ф. Прокофьев // Изв. вузов Лесной журнал. – 2006. – № 6.
2. Банников, А.А. Повышение точности пиления древесины на делительных ленточнопильных станках: дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / А.А. Банников.– Архангельск, 2007.– 177 с.
3. ГОСТ 980-80. Пилы круглые плоские для распиловки древесины. Технические условия. – Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 26 с.
4. Торопов, А.С. Теоретические исследования точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих / А.С. Торопов, Е.Ю.Кузнецов // Изв. Вузов. Лесн. Журн. – 2013. – № 3. – С. 86–96.
5. Кузнецов, Е.Ю. Обоснование параметров системы управления электромагнитной направляющей в круглопильных станках / Е.Ю. Кузнецов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 3. – 2013. – С. 125–130
6. Пижурин, А.А. Исследования процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенбит. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 232 с.
7. Пат. 94898 Российская Федерация МПК В 27 В 13/10. Отжимная электромагнитная направляющая круглой пилы / Шарапов Е.С., Кузнецов Е.Ю.; заявитель и патентообладатель Шарапов Е.С., Кузнецов Е.Ю. – № 2010107641/22 ; заявл. 02.03.2010 ; опубл. 10.06.2010.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАБОТКИ ЗАГОТОВОК С ДОПУСТИМЫМ ОБЗОЛОМ ИЗ НЕОБРЕЗНЫХ И ОБРЕЗНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

О.И. ПОЛОСУХИНА, асп. каф. технологии перерабатывающих производств МГУЛ

oierhova@mail.ru

В статье выявлено повышение эффективности выработки заготовок для пола из необрезных и обрезных пиломатериалов при заданных предельных значениях допустимого обзола заготовок.

Из необрезной доски можно получить заготовку полной длины (равной длине доски) путем обрезки ее сбеговой зоны. Известно, что можно допустить некоторый предельный тупой обзол заготовки [1], т.е. необработанную часть ее поверхности, при условии, что при формировании пола она укладывается внешней пластью с обзолом вниз. Тогда коэффициент выхода сырой заготовки из сырой доски можно увеличить, т.к. при этом ширина заготовки будет несколько больше ширины доски в верхнем торце.

В первую очередь, экспериментальным методом определена статистическая зависимость коэффициента выхода сырых заготовок из необрезных досок от ширины заготовок и от величины предельного обзола по толщине заготовок в виде уравнения регрессии. Для этого была отобрана партия необрезных досок из березы, полученных в Щелковском учебно-опытном лесхозе, составлены паспорта досок, которые виртуально были раскроены на заготовки разных ширин.

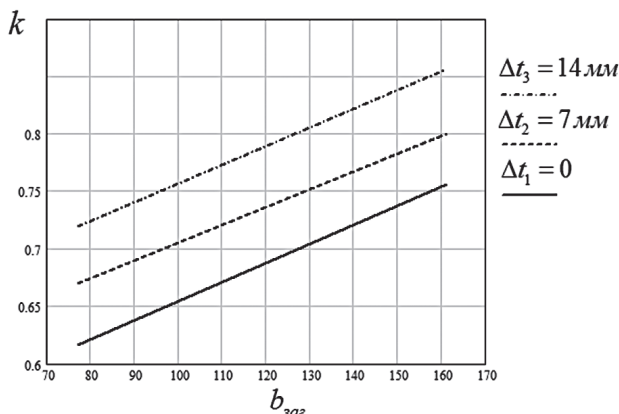


Рис. 1. Графики зависимостей коэффициента выхода сырых заготовок из необрезных досок

Далее был поставлен машинный эксперимент с целью получения уравнения регрессии на основе плана эксперимента второго порядка (план $B2$ [2]) для двух факторов x_1 — ширины сырых заготовок, x_2 — величины предельного обзола заготовок по толщине. Он содержит 8 опытов, в каждом из которых предусматривались измерения для 20–24 досок. Это вполне достаточно для получения необходимой точности эксперимента (3–5 %).

Для каждой доски вычислялся коэффициент выхода вписанной в нее сырой заготовки с учетом припусков на усушку и механическую обработку. Приближенный объем необрезной доски вычислялся по ширине в верхнем и нижнем торцах внешней пласти. Принято, что толщина доски равнялась толщине заготовки.

По результатам статистической обработки данных эксперимента было получено полное уравнение регрессии в нормализованном масштабе. Оно имеет вид

$$\hat{Y} = 0,736 + 0,07x_1 + 0,05x_2 + 0,0025x_1x_2 - 0,01x_1^2 + 0,001x_2^2, \quad (1)$$

где \hat{Y} — средний коэффициент выхода заготовок из необрезных досок, вычисленный по уравнению регрессии.

Здесь диапазоны варьирования основных факторов

$$\begin{aligned} 77 \leq x_1 \leq 161 \text{ мм}; \\ 0 \leq x_2 \leq 14 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (2)$$

Эффекты второго порядка и парные взаимодействия оказались статистически незначимыми и были исключены из уравнения регрессии. Таким образом, упрощенное адекватное уравнение регрессии с точностью достаточной для расчетов имеет вид

$$\hat{Y} = 0,736 + 0,07x_1 + 0,05x_2. \quad (3)$$

В натуральном масштабе факторов оно приобретает вид

$$\hat{Y} = 0,486 + 0,0017b_{заг} + 0,0071\Delta t. \quad (4)$$

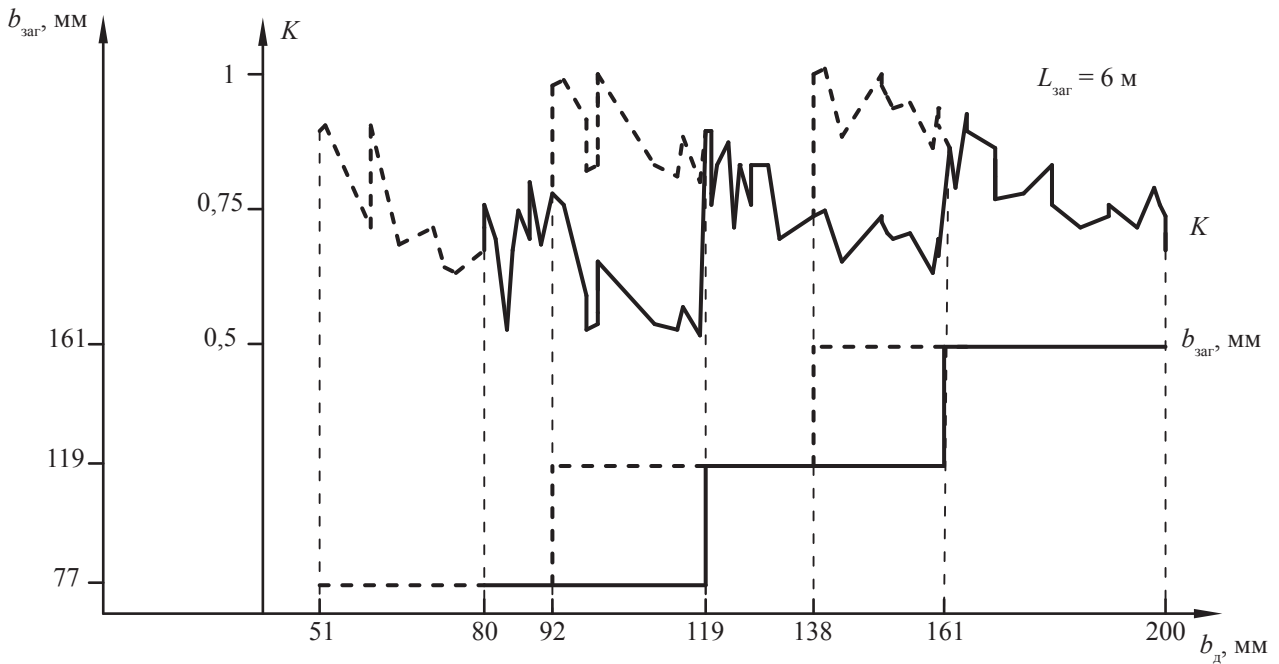


Рис. 2. Изменение коэффициента выхода от ширины досок при постоянной длине заготовок

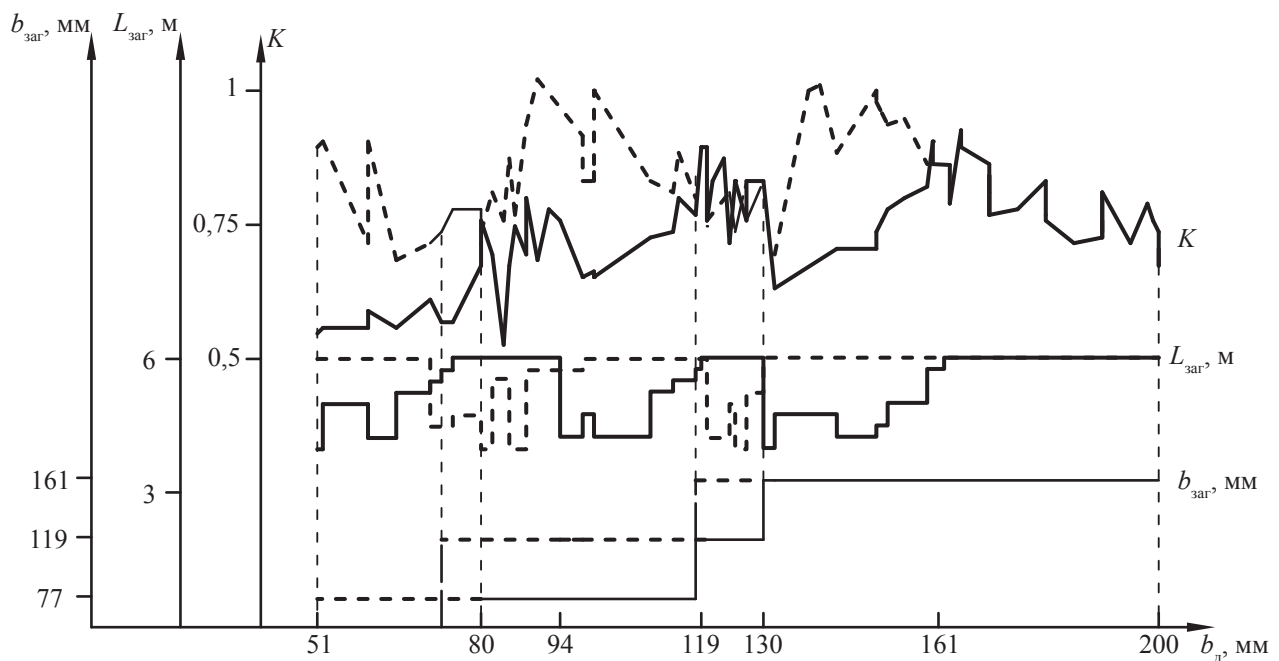


Рис. 3. Изменение коэффициента выхода от ширины досок при различной длине заготовок

На рис. 1 представлены графики зависимостей коэффициента выхода сырых заготовок от их ширины $b_{заг}$ и предельного обзола по толщине Δt .

Из анализа рисунка следует, что при предельном обзоле, равном половине толщины заготовки, коэффициент выхода заготовки может быть увеличен до 10%. С увеличением ширины заготовки коэффициент ее выхода из необрезной доски растет, что связано

с уменьшением доли отходов относительно объема доски.

На рис. 2 показано случайное изменение коэффициента выхода заготовок из необрезных досок при увеличении ширины необрезных досок в верхнем торце.

Сплошная линия соответствует коэффициенту выхода при отсутствии обзола заготовок, пунктирная – с предельным обзолом, равным половине толщине заго-

Коэффициенты выхода сырых досок (сырых заготовок) из бревна минимального диаметра

Ном. ширина заготовок, мм	Предельный обзол заготовок в долях толщины			Коэф. выхода сырых заготовок из досок	Коэф. выхода чистовых заготовок из сырых досок
	0 (0 мм)	1/4 (7 мм)	1/2 (14 мм)		
70	0,436	0,515	0,597	1,0	0,66
110	0,468	0,525	0,593	1,0	0,672
150	0,44	0,483	0,515	1,0	0,677

Коэффициенты выхода заготовок ($M_{ном}^{заг} = 28$ мм) из сырых досок с номинальными размерами (ном.толщина досок 40 мм)

Ном. ширина заготовок, мм	Ном. ширина досок, мм	Коэффициент выхода	
		сырых заготовок из сырых досок	чистовых заготовок из сырых досок
70	100	0,66	0,435
110	125	0,82	0,552
150	175	0,79	0,530

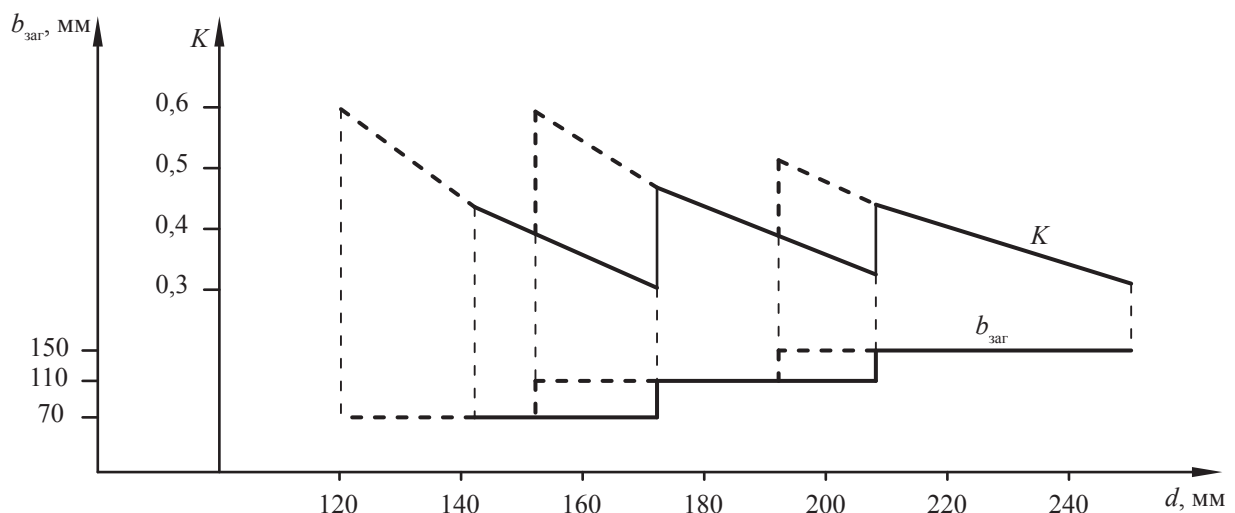


Рис. 4. Зависимости коэффициента выхода заготовок от диаметра бревен

товки. Предельный обзол достигается для максимальных пиковых значений коэффициента выхода. Ступенчатая линия отображает ширины заготовок. Длина заготовок была принята равной длине необрезной доски 6 м.

Согласно рис. 2 средний коэффициент выхода заготовок всех ширин, вырабатываемых без обзола, составил 0,7, а вырабатываемых с предельным обзолом, равным половине толщины заготовки, составил 0,77. Вероятность (доля) появления заготовок с предельным обзолом составит

4 %, а вероятность появления заготовок с любым обзолом в пределах от 0 до предельного – 40 %. Предельный обзол появляется при изменении размеров заготовок в зонах перехода.

В необрезные доски можно вписывать заготовки разных длин, если их укорачивать, при этом можно увеличить ширину заготовок. На рис. 3 изображен график изменения коэффициента выхода заготовок от ширины необрезных досок в верхнем торце при различных длинах заготовок. Принято, что минимальная длина заготовок 4 м и их

укорочение с градацией 0,25 м. Средний коэффициент выхода заготовок всех ширин, вырабатываемых без обзола, составил 0,73, а вырабатываемых с предельным обзолом, равным половине толщины заготовки, составил 0,79. Вероятность появления заготовок с предельным обзолом вырастет до 8–10 %, а вероятность появления заготовок с любым обзолом в пределах от 0 до предельного – до 90 % из-за увеличенного количества переходов по размерам заготовок.

Обрезные толстые доски для заготовок пола получаем при брусом способе раскроя из пропиленной пласти бруса. Будет выгодно путем уменьшения диаметра распиливаемых бревен допустить предельный обзол крайних толстых досок из бруса. Тогда будет увеличен коэффициент выхода всех толстых досок из бревна. В табл. 1 представлены коэффициенты выхода сырых досок (сырых заготовок) из бревна минимального диаметра. В этом случае размеры сырых досок устанавливались равными размерам сырых заготовок. Поэтому коэффициент выхода сырых заготовок из досок везде был равен единице [3].

На рис. 4 показано расчетное изменение коэффициента выхода заготовок из обрезных досок при увеличении верхних диаметров среднемерных бревен. Для примера взяты поставки с тремя толстыми досками из бруса. Сплошная линия соответствует изменению коэффициента выхода заготовок при отсутствии их обзола, пунктирная – с предельным обзолом, равным половине толщины заготовки. Предельный обзол достигается для максимальных пиковых значений коэффициента выхода. Вероятность появления заготовок с предельным обзолом составит 4 %, а вероятность появления заготовок с любым обзолом в пределах от 0 до предельного – 25 %. Здесь длина заготовок, выработанных из обрезных досок, всегда равна 6 м.

По данным рис. 4 рассчитаны средние коэффициенты выхода заготовок всех ширин, они равны: без обзола 0,38, с обзолом S толщины заготовки 0,47.

Часто возможен случай, когда заготовки получают из закупленных сырых до-

сок с номинальными размерами по ГОСТу для обрезных пиломатериалов. Тогда обзола заготовок не будет, поскольку размеры досок, как правило, завышены. Коэффициенты выхода будут зависеть от того, насколько близки номинальные размеры заготовок к номинальным размерам досок. В табл. 2 выполнен пример расчетов коэффициентов выхода заготовок из сырых досок с номинальными размерами.

Сравнивая варианты выработки заготовок из обрезных досок, следует указать, что гораздо выгоднее при производстве заготовок выпиливать их по заданным размерам, чем из пиломатериалов с номинальными размерами по ГОСТу.

Выводы

1. Коэффициент выхода заготовок полной длины из необрезных пиломатериалов может быть повышен до 7 %, если допустить предельный обзол, равный S толщины заготовки.

2. При выработке заготовок разных длин из необрезных пиломатериалов коэффициент выхода можно повысить еще на 2–3 %.

3. Коэффициент выхода заготовок из бревна при их выработке из обрезных досок, полученных из бруса, может быть повышен до 9 %, если допустить предельный обзол, равный $1/2$ толщины заготовки.

Библиографический список

1. Песоцкий, А.Н. Лесопильное производство. Учеб. для вузов. Изд. 4-е переработанное и доп. / А.Н. Песоцкий. – М.: Лесная пром-сть, 1970. – 432 с.
2. Фергин, В.Р. Методы оптимизации в лесопильно-деревообрабатывающем производстве / В.Р. Фергин. – М.: Лесная пром-сть, 1975. – 216 с.
3. Фергин, В.Р. Актуальные вопросы теории раскроя пиловочного сырья. Учеб. пос. / В.Р. Фергин, О.И. Шако, О.И. Ерхова. – М.: МГУЛ, 2010. – 96 с.
4. Ветшева, В.Ф. Влияние распиловки в рамном потоке несорттированных бревен на показатели расхода древесины / В.Ф. Ветшева А.Н. Сычев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 2. – 2013. – С. 53–59.
5. Шако, О.И. О снижении параметров обзола обрезных досок. Технология и оборудование для переработки древесины / О.И. Шако, О.И. Ерхова // Сб. науч. тр. – Вып. 342. – М.: МГУЛ, 2008. – С. 36–41.

МНОГОФОРМОВЫЙ ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ДРЕВЕСИНЫ

Б.Н. УГОЛЕВ, *проф. каф. древесиноведения ФГБОУ ВПО МГУЛ, д-р техн. наук,*
 Г.А. ГОРБАЧЕВА, *доц. каф. древесиноведения ФГБОУ ВПО МГУЛ, канд. техн. наук,*
 С.Ю. БЕЛКОВСКИЙ, *асп. каф. древесиноведения ФГБОУ ВПО МГУЛ*

ugolev@mgul.ac.ru, gorbacheva@mgul.ac.ru, belkovskiy@ro.ru

В настоящее время эффект памяти формы обнаружен у широкого круга материалов (сплавы металлов, полимеры, керамика, гели). Материалы с памятью формы способны сохранять временную форму (*temporary shape*), полученную в результате деформирования при определенных условиях. При возвращении в начальные физические условия образец вспоминает постоянную форму (*permanent shape*), происходит восстановление начальной формы. Таким образом, образец запоминает две формы – постоянную и временную. В последнее время предложено несколько полимеров, которые запоминают три формы [9], и появились сведения о полимере, который может запоминать четыре формы [2]. Древесина, представляющая собой комплекс природных полимеров, также проявляет многоформовый эффект памяти формы.

Ранее нами были проведены исследования влияния предыстории деформирования, включающей различные виды нагружения, на проявление эффекта деформационной памяти [1, 3, 7, 8, 10, 11] на древесине березы. В случае, когда образец подвергался последовательному растяжению и сжатию, было показано, что древесина запоминает вид приложенной нагрузки. Были проведены эксперименты на изгибаемых образцах [1, 7, 11]. Переворачиванием изгибаемого образца мы размещаем одну и

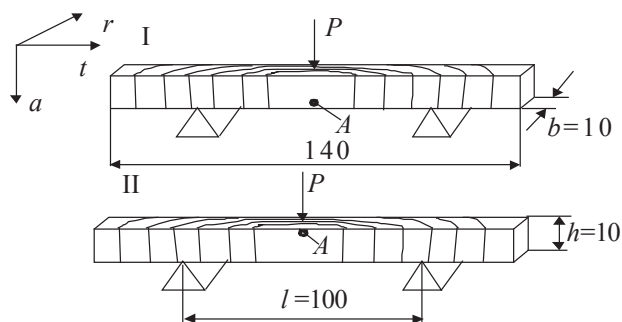


Рис. 1. Схема нагружения образца древесины

ту же точку А сначала в растянутую, а затем в сжатую зоны (рис. 1).

На рис. 2а показаны результаты опытов на древесине березы. Здесь (1–2) – растяжение, (2–2) – охлаждение, (2–3) – разгрузка, затем (3–4) – сжатие, (4–4) – охлаждение, (4–5) – разгрузка древесины. На участке 5–6 при нагревании от 18 °С до 40 °С наблюдаемый размер увеличивался, а на участке 5–6 при нагревании от 40 °С до 60 °С – уменьшался. Такое поведение древесины зависит от различного вида термозамороженных деформаций в соответствующих температурных диапазонах.

Схемы на рис. 2б показывают более наглядно изменение прогиба образцов во время эксперимента. Можно видеть после нагревания необычное (но предсказанное) увеличение прогиба образца, предшествующее обычному уменьшению прогиба.

Таким образом, древесина запоминает 3 формы: постоянную и две временные.

Использование предложенного метода визуализации [4] и применение показателей эффекта памяти формы (доля обратимых деформаций) и R_f (доля фиксированных (сет) деформаций) [6] позволяет более детально и наглядно рассмотреть деформационные превращения древесины при многоформовом эффекте памяти.

На рис. 3 показана схема деформационных превращений в координатах σ – ϵ – θ , где $\theta = 100 - t$, падение температуры. Поскольку носителем эффекта памяти древесины являются упруго-эластические деформации, схема не включает пластических деформаций. Все зависимости между напряжениями и деформациями линеаризованы.

Здесь отражена следующая предыстория деформирования:

0–1 Нагрев до 100 °С,

1–2 Нагружение левой части образца при 100 °С до $\epsilon_0 = \epsilon_{ev1}$

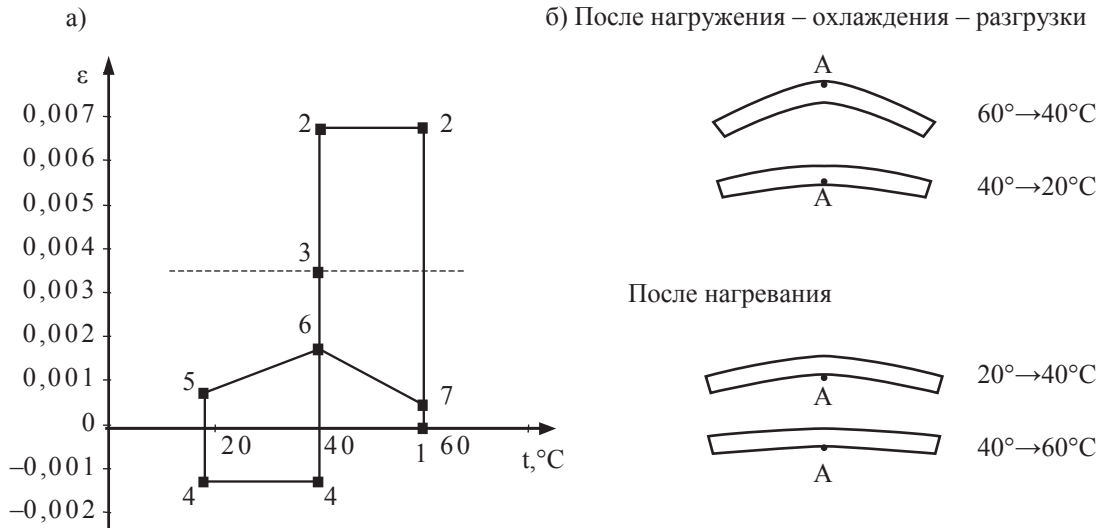


Рис. 2. Эффект деформационной памяти при смене знака нагрузки и изменении температуры

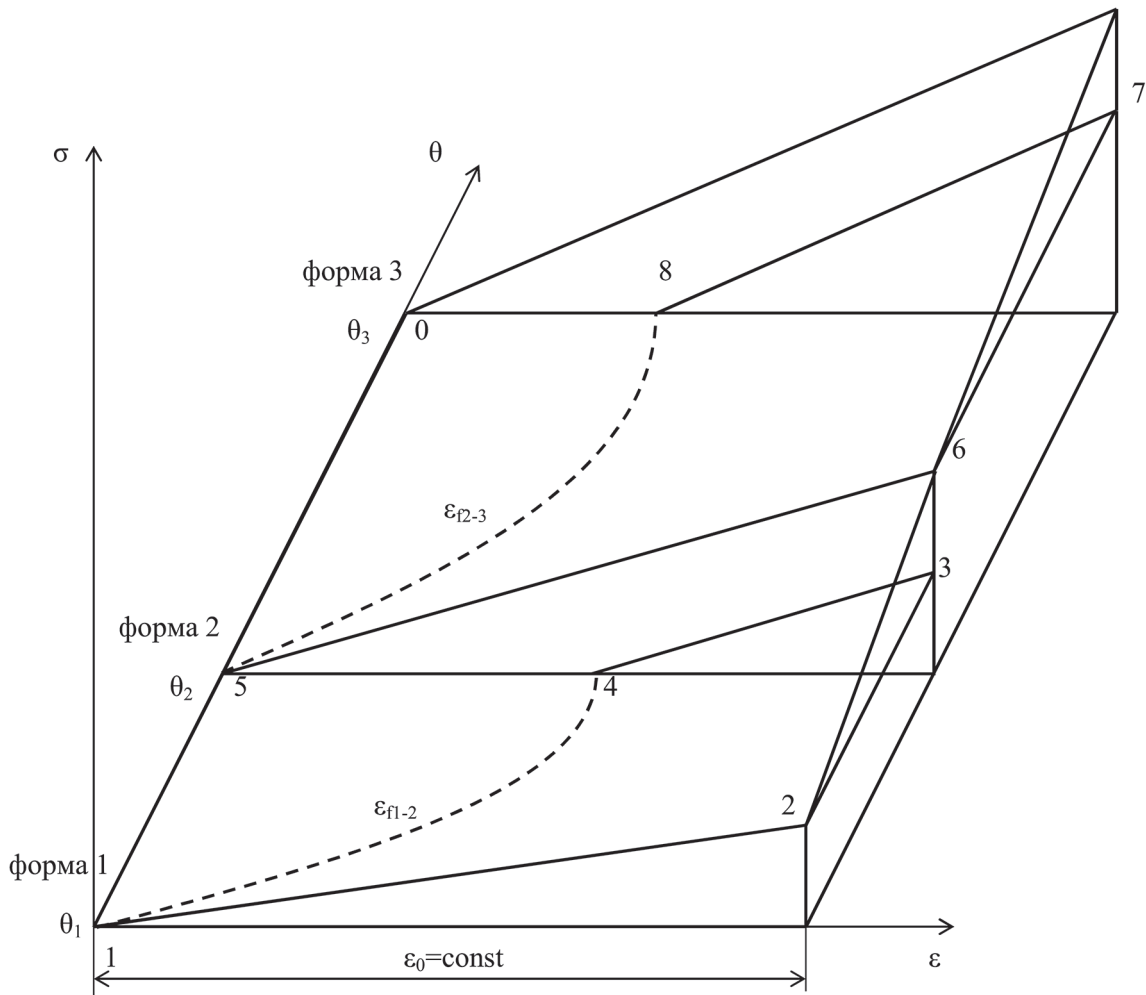


Рис. 3. Схема деформационных превращений при многоформовом эффекте памяти древесины

2–3 Охлаждение под нагрузкой, $\epsilon_0 = \text{const}$,

3–4 Разгрузка левой части образца при 60 °С совершается после нагружения и охлаждения правой части,

4–5 Замороженные деформации при охлаждении левой части образца до 60 °С,

5–6 Нагружение правой части образца при 60 °С,

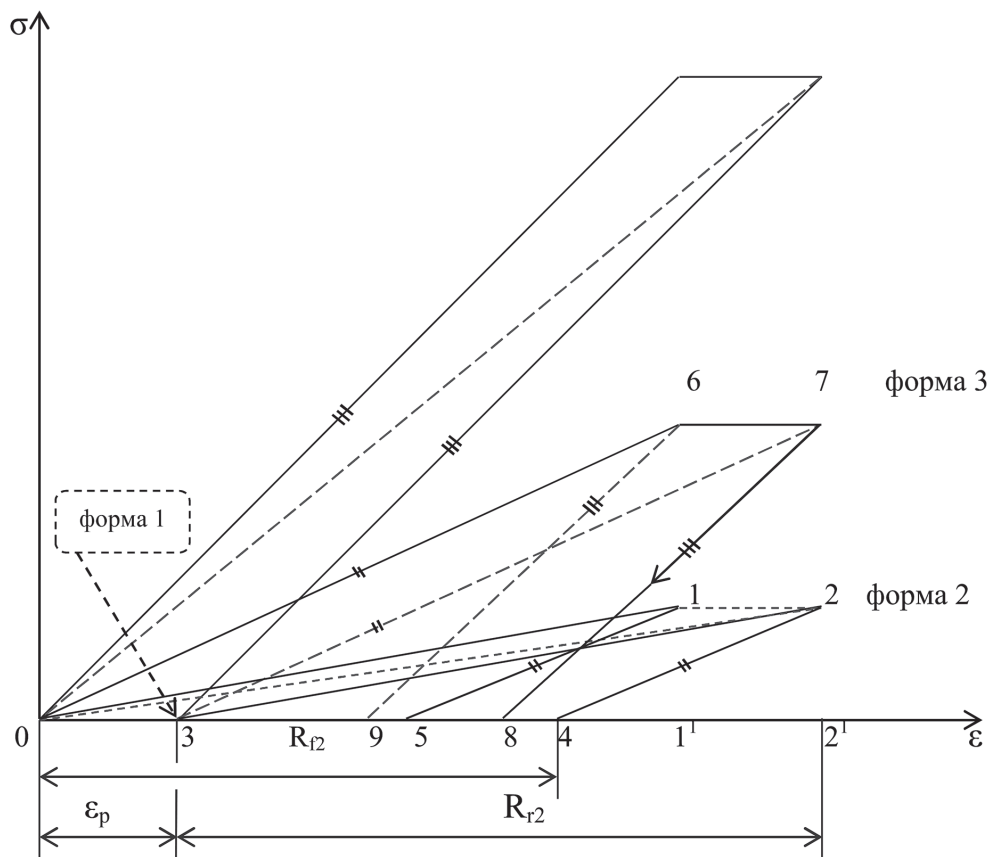


Рис. 4. Многоформовый эффект памяти древесины

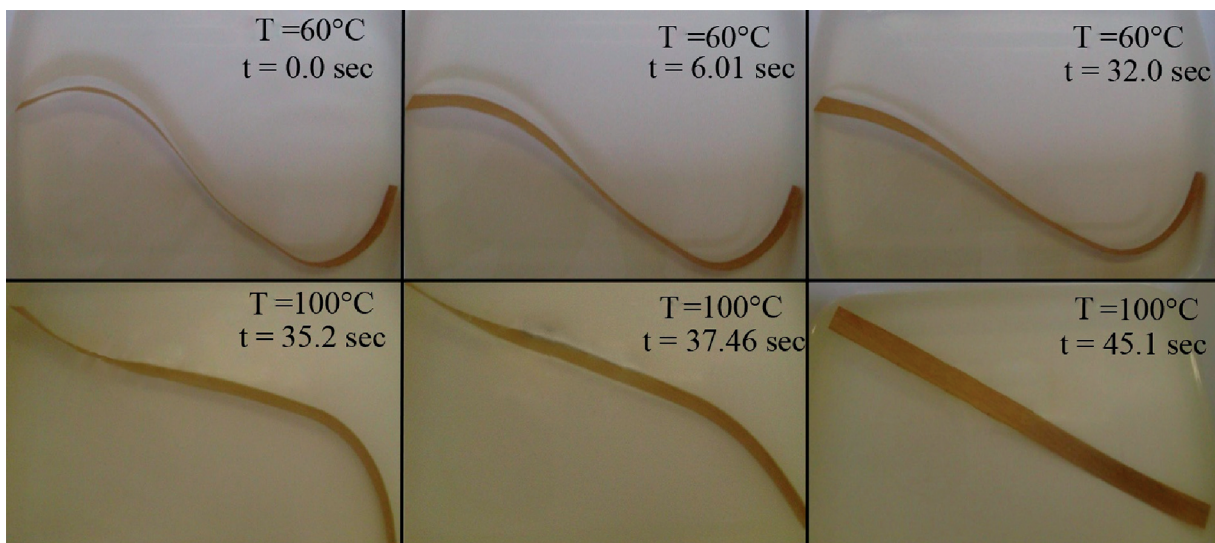


Рис. 5. Визуализация многоформового эффекта памяти древесины для образца строганого шпона из древесины бука в направлении вдоль волокон при нагревании

6–7 Охлаждение правой части образца 60 °С до 0 °С,
7–8 Разгрузка правой части образца при $t = 0$ °С,
0–8 Замороженные деформации ϵ_f (60–0 °С)

8–5 Размораживание замороженных деформаций ϵ_f правой части (0–60 °С)
4–1 Размораживание замороженных деформаций ϵ_f левой части (60–100 °С)
Рассмотрим три формы, запоминаемые при многоформовом эффекте памяти,

на совмещенном графике для одного образца (рис. 4).

Форма 1

$$\theta_1 = 0, \varepsilon_{f1} = 0.$$

Нагрев, 0–1 – нагрузка, 1–2 – выдержка, 2–3 – разгрузка, 0–3 отрезок, равный ε_p , где ε_p – пластические деформации.

$$E = E_0(1 + \gamma\theta), \quad (1)$$

где E – модуль упругости;

E_0 – модуль упругости при $\theta = 0$;

γ – коэффициент.

$$\sigma_1 = E_1\varepsilon_1, \varepsilon_{c1} = \varepsilon_p = \text{const}, \varepsilon_{evp} = \text{const},$$

где ε_{evp} – величина общей гигро(термо)-механической деформации.

Отрезок

$$3-2' R_r = (\varepsilon_{evp} - \varepsilon_p)/\varepsilon_{evp} \quad (2)$$

Отрезок

$$0-4 R_f = \varepsilon_s/\varepsilon_{evp} = (\varepsilon_f + \varepsilon_p)/\varepsilon_{evp} \quad (3)$$

где ε_s – величина сет-деформаций.

Форма 2

$$\theta_2, \varepsilon_{f2} = \varepsilon_1\gamma(\theta_2 - \theta_1)/(1 + \gamma\theta_2)$$

Отрезок

$$3-2' R_{r2} = (\varepsilon_{evp} - \varepsilon_p)/\varepsilon_{evp} \quad (4)$$

Отрезок

$$0-4 R_{f2} = \varepsilon_1\gamma(\theta_2 - \theta_1)/(1 + \gamma\theta_2) + \varepsilon_p/\varepsilon_{evp} \quad (5)$$

Сохранение нагрузки до σ_1 при θ_1 (0–1), выдержка 1–2, охлаждение до θ_2 , разгрузка 2–4, отрезок 4–5, равный ε_p , отрезок 5–0, равный ε_{f2}

Форма 3

$$\theta_3, \varepsilon_{f3} = \varepsilon_1\gamma(\theta_3 - \theta_2)/(1 + \gamma\theta_3)$$

Отрезок

$$3-2' R_{r3} = (\varepsilon_{evp} - \varepsilon_p)/\varepsilon_{evp} \quad (6)$$

Отрезок

$$0-4 R_{f3} = \varepsilon_1\gamma(\theta_3 - \theta_2)/(1 + \gamma\theta_3) + \varepsilon_p/\varepsilon_{evp} \quad (7)$$

На совмещенных графиках медленное нагружение до σ_2 при θ_2 (0–6), выдержка, равная примерно продолжительности охлаждения (6–7), охлаждение (7–7) до θ_3 , отрезок 8–9 соответствует ε_p , отрезок 9–0 соответствует ε_{f3} .

Экспериментальные исследования были проведены на образцах строганого, лущеного и файн-лайн шпона из древесины березы, бука, сосны и обече. Влажность древесины была выше 100 %, температура изменялась в преде-

лах 0–100 °С [5]. Визуализация многоформового эффекта памяти древесины представлена на рис. 5. Можно заметить, что процесс восстановления начальной формы – ступенчатый, древесина последовательно вспоминает исходную форму. При нагревании древесины от 2 до 60 °С исчезают термомороженные деформации левой части, при дальнейшем повышении температуры от 60 до 100 °С восстанавливает форму правая часть. Величина остаточных деформаций выше у правой части, что связано с большей деформативностью древесины при температуре 100 °С.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что древесина способна проявлять многоформовый эффект памяти. Подобное поведение наблюдается у некоторых полимеров и связано с наличием нескольких фазовых или релаксационных переходов. В древесине – сложном природном композите – возможны многочисленные и разнообразные переходы состояний различных структурных единиц. Полученные закономерности могут быть использованы при разработке умных, экологически дружественных материалов на основе древесины.

Библиографический список

1. Горбачева, Г.А. Деформационные превращения древесины при изменении нагрузки, влажности и температуры: дисс. ... канд. техн. наук / Г.А. Горбачева. – М.: МГУЛ. –2004. – 198 с.
2. Полимер с памятью в четыре формы <http://www.nature.com/nature/journal/v464/n7286/full/nature08863.html>
3. Уголев, Б.Н. Наноструктурные изменения древесины как природного «умного» материала. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе: монография / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2011. – С. 52–73.
4. Уголев, Б.Н. Визуализация эффекта памяти древесины в шпоне / Б.Н. Уголев, Г.А. Горбачева, С.Ю. Белковский // Сб. науч. тр. МГУЛ. – Вып. 353 Технология и оборудование для переработки древесины. – М.: МГУЛ, 2011. – С. 226–232.
5. Уголев, Б.Н. Количественная оценка эффекта памяти древесины / Б.Н. Уголев, Г.А. Горбачева, С.Ю. Белковский // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: Матер. международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры механической технологии древесины КГТУ. – Кострома: КГТУ, 2012. – С. 38–42.

6. Уголев, Б.Н. Параметры эффекта памяти древесины / Б.Н. Уголев, Г.А. Горбачева, С.Ю. Белковский // Сб. науч. тр. МГУЛ. – Вып. 358 Технология и оборудование для переработки древесины. – М.: МГУЛ, 2012. – С. 9–13.
7. Уголев, Б.Н. Некоторые результаты экспериментального исследования термомеханических деформаций древесины / Б.Н. Уголев, Н.В. Скуратов, Г.А. Горбачева // Сб. науч. тр. МГУЛ. – Вып. 312 Технология и оборудование для переработки древесины. – М.: МГУЛ, 2000, – С.15–18.
8. Скуратов, Н.В. Анализ методов контроля качества сушки пиломатериалов/ Н.В. Скуратов, А.В. Протасова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 3. – 2012. – С. 96–99.
9. Lendlein A., Kelch S. Shape-Memory Polymers. Reviews. Angew. Chem. Int. Ed. 2002, 41, 2034–2057.
10. Ugolev B.N. Academy lecture «Wood as natural smart material», http://www.iaws-web.org/files/file/2009-SaintPetersburg_academy_lecture_ugolev.pdf
11. Ugolev B.N., Skuratov N.V., Gorbacheva G.A. The Influence of Deformation Prehistory upon the “Memory Effect” of Wood Proc. of 4th IUFRO Symposium «Wood Structure and Properties '02». Eds. J. Kudela, S. Kurjatko. Zvolen, Slovakia, 2002, – p. 145–149.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ДРЕВЕСИНЫ

Б.Н. УГОЛЕВ, *проф. каф. древесиноведения ФГБОУ ВПО МГУЛ, д-р техн. наук*
 Г.А. ГОРБАЧЕВА, *доц. каф. древесиноведения ФГБОУ ВПО МГУЛ, канд. техн. наук*
 С.Ю. БЕЛКОВСКИЙ, *асп. каф. древесиноведения ФГБОУ ВПО МГУЛ*

ugolev@mgul.ac.ru, gorbacheva@mgul.ac.ru, belkovskiy@ro.ru

Доминантным признаком умных материалов является «эффект памяти формы». Этот эффект заключается в том, что упомянутые материалы после принудительного изменения формы способны восстанавливать первоначальную форму в результате возвращения исходного физического состояния. Этот эффект наблюдается в сплавах металлов, керамике. В последнее десятилетие проводятся масштабные исследования эффекта памяти в полимерах [2, 3, 9–12]. Комплексный биополимер – древесина – является природным умным материалом, поскольку она обладает этим доминантным признаком. Эффект памяти древесины на деформационные превращения был экспериментально обнаружен в конце 70-х годов [8, 14]. Дальнейшие исследования различных аспектов этого явления имели, в основном, феноменологический, качественный характер. Обзор полученных результатов был приведен в Академической лекции [13] и последующих работах МГУЛ [5, 16].

Материалы и методика исследований

Для количественной оценки этого доминантного признака древесины как природного умного материала можно использовать показатели, применяемые для полимеров с эффектом памяти формы [11]:

– R_r – доля обратимых деформаций, которая показывает способность материала запоминать постоянную форму и является мерой восстановления деформации, полученной в результате механического воздействия (programming) .

– R_f – доля фиксированных (сет) деформаций, которая отражает способность фиксировать механическую деформацию и тем самым запоминать временную форму.

Доля обратимых деформаций R_r отражает степень восстановления исходной формы образца

$$R_r = (\varepsilon_m - \varepsilon_p) / \varepsilon_m, \quad (1)$$

где ε_m – максимальная деформация, полученная в результате механического воздействия;

ε_p – необратимая пластическая деформация.

Доля фиксированных (сет) деформаций R_f определяется как отношение деформации, остающейся после снятия напряжений, к величине максимальной деформации

$$R_f = \varepsilon_u / \varepsilon_m, \quad (2)$$

где ε_u – деформация после снятия нагрузки.

В зависимости от назначения полимера регулируют диапазон изменения показателей R_r и R_f [12].

Характеристика образцов

Порода	Вид шпона	Размеры образцов, мм
Бук (<i>Fagus L.</i>)	Строганный	250×15×0,6
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris L.</i>)	Строганный	250×15×0,6
Обече (<i>Triplochiton scleroxylon K. Schum.</i>)	Файн-лайн	250×15×0,6
Береза (<i>Betula L.</i>)	Лущеный	250×15×1,5

В основе эффекта памяти древесины лежат замороженные деформации. В древесине они были обнаружены экспериментально в начале 60-х годов прошлого века при сушке закрепленного образца [4]. Замороженные деформации образуются в результате временной перестройки наноструктуры древесины под управляющим воздействием нагрузки при увеличении жесткости древесины в процессах сушки или охлаждения. Замороженная деформация исчезает при увлажнении или нагревании.

На основе закона деформирования нагружаемой древесины при изменении температуры и влажности, предложенного Б.Н. Уголевым и Ю.Г. Лапшиным [8, 15], позднее была разработана модель гидро-термомеханических деформаций [5, 13], учитывающая образование квази-необратимых замороженных деформаций ϵ_f . Модель позволяет, имея в виду температурно-влажностную аналогию, объяснить поведение древесины при различных проявлениях эффекта памяти древесины [1, 5, 13]. Кроме того, сложные деформационные превращения происходят в древесине при стесненной усушке древесины, когда она нагружается поперек волокон [16].

Используя положения модели гидро(термо)-механических деформаций древесины, можно получить выражения для расчета показателей эффекта памяти формы при изменении температуры или влажности нагруженной древесины [7]. Величина доли обратимых деформаций R_r пределяется следующим образом:

$$R_r = (\epsilon_{evp} - \epsilon_p) / \epsilon_{evp}, \quad (3)$$

где ϵ_{evp} – величина общей гидро(термо)-механической деформации;

ϵ_p – остаточные пластические деформации $\epsilon_r = \epsilon_c = \epsilon_p$.

Доля фиксированных (сет) деформаций R_f вычисляется по формуле

$$R_f = \epsilon_s / \epsilon_{evp} = (\epsilon_f + \epsilon_p) / \epsilon_{evp}, \quad (4)$$

где ϵ_s – величина сет-деформаций.

Замороженные деформации являются носителями эффекта памяти древесины.

Величина замороженной деформации определяется через показатели эффекта памяти следующим образом:

$$\epsilon_f = \epsilon_{evp} (R_r + R_f - 1). \quad (5)$$

Взаимосвязь показателей эффекта памяти формы для полимеров и для древесины представлена на рис. 1. На участке 0–1 происходит медленное нагружение при θ_1 , при этом возникают все три вида деформаций, далее (1–1) происходит охлаждение до θ_2 при $\sigma = \text{const}$, затем разгрузка (1–2) при θ_2 и последующее нагревание (2–3) при $\sigma = 0$ до начальной температуры θ_1 .

Поскольку древесина представляет собой сложный, неоднородный, изменчивый, анизотропный материал, способный усыхать и разбухать, был разработан учитывающий

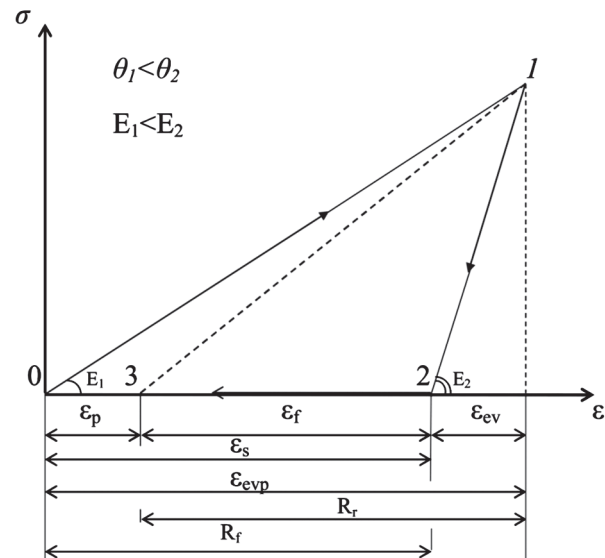


Рис. 1. Показатели эффекта памяти формы полимеров, характеризующие деформационные превращения древесины

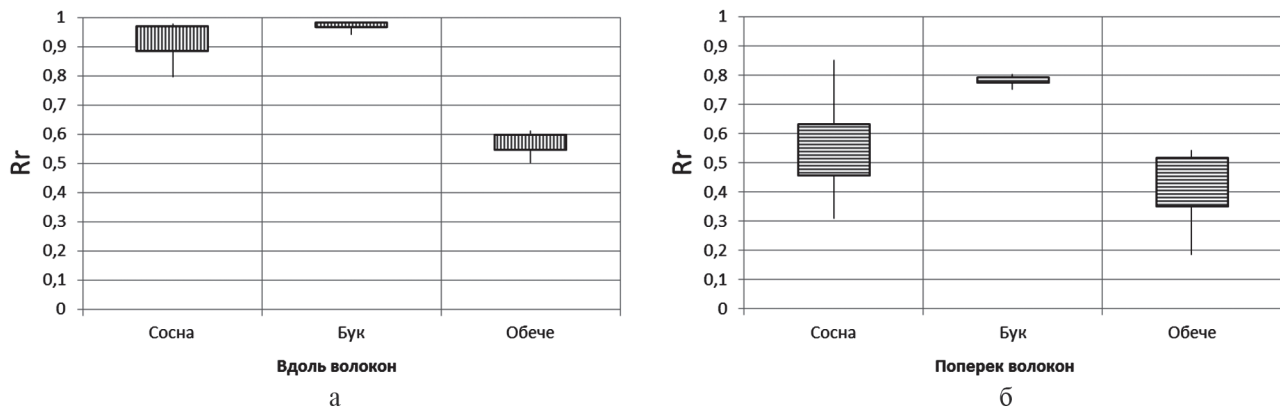


Рис. 2. Доля обратимых деформаций R_r^t при изменении температуры в направлениях вдоль (а) и поперек волокон (б)

специфику метод визуализации и количественной оценки с использованием достаточно малых образцов [6]. Предложенный метод позволяет выделить главные факторы, элиминируя влияние вышеперечисленных факторов, и определить все возможные характеристики на одном образце. Это снижает необходимое число опытов и облегчает анализ полученных данных. Характеристика образцов представлена в таблице. Диапазон изменения температуры – 0–100 °С, влажности – 0–150 %.

Результаты экспериментального определения доли обратимых деформаций R_r при изменении температуры в направлениях вдоль и поперек волокон представлены на рис. 2, где даны диапазоны изменения показателей. Для образцов строганого шпона из сосны и бука в направлении вдоль волокон показатели R_r^t , отражающие способность древесины восстанавливать исходную форму при изменении температуры, имеют довольно высокие значения (0,92–0,97). В направлении поперек волокон значения этого показателя ниже из-за меньшей жесткости, а также наличия имевшихся до начала опыта сушильных трещин. Максимальные значения показателя R_r^t в направлениях вдоль и поперек волокон отмечены для образцов строганого шпона из древесины бука, 0,97 и 0,78 соответственно. Древесина бука содержит больше гемицеллюлоз, которые в силу их аморфной природы являются более чувствительными к температурно-влажностным воздействиям. В композиционном (файн-лайн) шпоне способность запоминать исходную (постоянную) форму

проявляется в меньшей мере. Низкие значения показателей R_r^t файн-лайн шпона обусловлены многостадийной предшествующей технологической обработкой, наличием клеевых соединений.

При изменении влажности величина показателя R_r^w в направлении вдоль волокон (рис. 3а) для всех видов шпона имеет также высокие значения (0,79–0,95), максимальное значение выявлено для образцов строганого шпона из древесины бука.

В направлении поперек волокон (рис. 3б) значения показателя R_r^w для образцов строганого шпона из древесины бука меньше, чем для древесины сосны (0,26 и 0,39 соответственно). Это обусловлено влиянием широких сердцевинных лучей бука, при сушке разрыв тканей происходит вдоль сердцевинных лучей из-за слабой связи между ними и древесными волокнами. Показатель R_r^w в направлении поперек волокон для образцов лущеного шпона из древесины березы и файн-лайн шпона из древесины обече имеет близкие значения (0,73 и 0,72 соответственно).

Величина показателя R_r^t , отражающего способность образцов фиксировать временную форму при изменении температуры в направлении вдоль и поперек волокон, показана на рис. 4. В направлении вдоль волокон показатель R_r^t имеет наибольшее значение для образцов файн-лайн шпона из древесины обече (0,81). В направлении поперек волокон отмечены близкие значения показателей R_r^t для всех пород и видов шпона (0,70–0,78), максимальная величина выявлена для древесины бука.

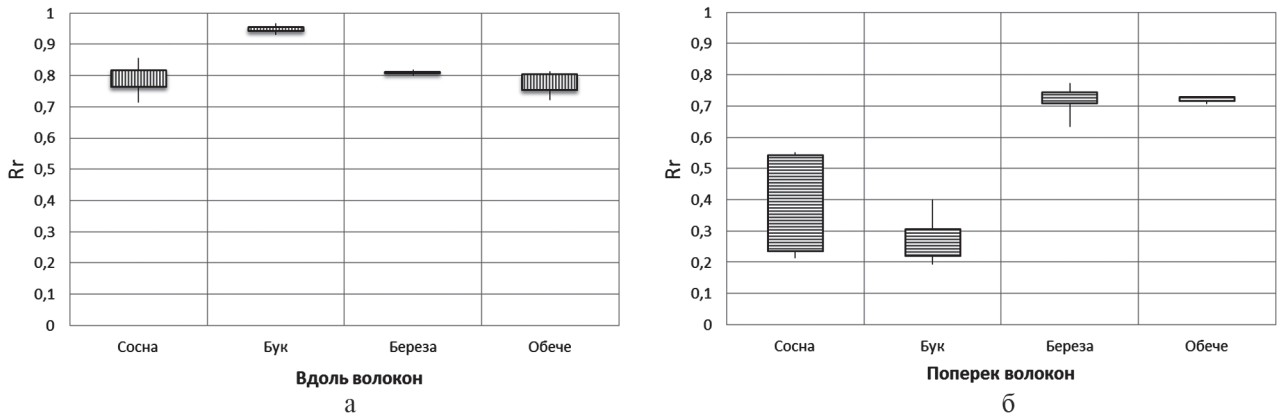


Рис. 3. Доля обратимых деформаций R_r^w при изменении влажности в направлениях вдоль (а) и поперек волокон (б)

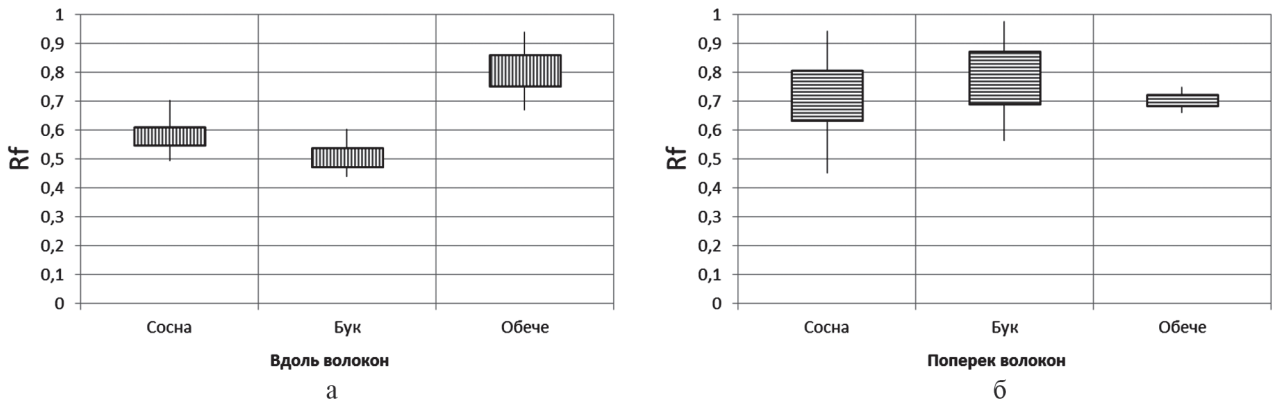


Рис. 4. Доля фиксированных деформаций R_f^t при изменении температуры в направлениях вдоль (а) и поперек (б) волокон

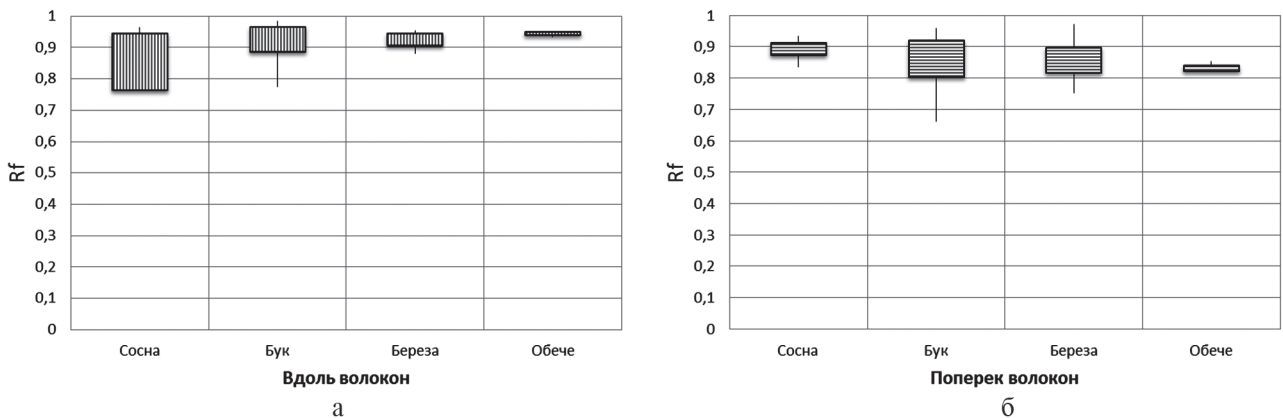


Рис. 5. Доля фиксированных деформаций R_f^w при изменении влажности в направлениях вдоль (а) и поперек (б) волокон

Результаты определения показателя R_f^w при изменении влажности представлены на рис. 5. Величина показателя R_f^w в направлении вдоль волокон для всех пород и видов шпона имеет высокие значения (0,92–0,94). В направлении поперек волокон величина данного показателя несколько меньше (0,83–0,89) и практически не зависит от породы древеси-

ны и вида шпона. В этом случае имеет место замороженная усушка древесины, что осложняет анализ полученных результатов.

Таким образом, проведенные исследования показывают целесообразность применения общепринятой для полимеров системы показателей для количественной характеристики эффекта памяти формы древесины. Осо-

бенности технологии изготовления шпона, древесная порода оказывают влияние на показатели эффекта памяти древесины. Сложность строения, химического состава, анизотропия, природная вариативность свойств древесины доставляют определенные трудности в объективной оценке эффекта памяти древесины различных пород. Предложенный метод позволяет количественно оценить способность древесины восстанавливать постоянную форму и фиксировать временную форму образца.

Библиографический список

1. Горбачева, Г.А. Деформационные превращения древесины при изменении нагрузки, влажности и температуры: дисс. ... канд. техн. наук / Г.А. Горбачева. – М.: МГУЛ. –2004. – 198 с.
2. Каюмов, Р.А. Прогнозирование деформации во времени полимерных материалов с памятью формы при различной температуре / Р.А. Каюмов, Д.Е. Страхов // Известия КазГАСУ. – 2011. –№ 2 (16). – С. 196–199.
3. Полимер с памятью в четыре формы <http://www.nature.com/nature/journal/v464/n7286/full/nature08863.html>
4. Уголев, Б.Н. Метод исследования реологических свойств древесины при переменной влажности / Б.Н. Уголев. – М.: Заводская лаборатория, 1961. – 27(2). – С. 199–203.
5. Уголев, Б.Н. Наноструктурные изменения древесины как природного «умного» материала. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе: монография / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2011. – С. 52–73.
6. Уголев, Б.Н. Визуализация эффекта памяти древесины в шпоне / Б.Н. Уголев, Г.А. Горбачева, С.Ю. Белковский // Сб. науч. тр. МГУЛ. – Вып. 353 Технология и оборудование для переработки древесины. – М.: МГУЛ, 2011. – С. 226–232.
7. Уголев, Б.Н. Параметры эффекта памяти древесины / Б.Н. Уголев, Г.А. Горбачева, С.Ю. Белковский // Сб. науч. тр. МГУЛ. – Вып. 358 Технология и оборудование для переработки древесины. – М.: МГУЛ, 2012. – С. 9–13.
8. Уголев, Б.Н. Контроль напряжений при сушке древесины / Б.Н. Уголев, Ю.Г. Лапшин, Е.В. Кротов. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 208 с.
9. Скуратов, Н.В. Анализ методов контроля качества сушки пиломатериалов/ Н.В. Скуратов, А.В. Протасова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 3. – 2012. – С. 96–99.
10. Hiltz J. A.. Shape Memory Polymers. Literature Review. Technical Memorandum DRDC Atlantic TM 2002–127 August 2002.
11. Lendlein A., Kelch S. Shape-Memory Polymers. Reviews. Angew. Chem. Int. Ed. 2002, 41, 2034 – 2057.
12. Schuh C., Schuh K., Lechmann M. C., L. Garnier, Kraft A. Shape-Memory Properties of Segmented Polymers Containing Aramid Hard Segments and Polycaprolactone Soft Segments. Polymers 2010, 2, 71-85; doi:10.3390/polym2020071
13. Ugolev B.N. Academy lecture «Wood as natural smart material», http://www.iaws-web.org/files/file/2009-SaintPetersburg_academy_lecture_ugolev.pdf
14. Ugolev B.N. Effect of «freezing» wood deformations at complex force and heat actions. Proc. of 2nd Int. Symposium on wood rheology, Rydzina, Poland, 1986 – p. 5 – 14.
15. Ugolev B.N. General laws of wood deformation and rheological properties of hardwood//Wood Science and Technology. – 1976. – vol. 10(3). – P. 169–181.
16. Ugolev B.N., Galkin V.P., Gorbacheva G.A., Kalinina A.A. Frozen shrinkage of wood. Proc. IUFRO - TUZVO «Wood Structure and Properties'10», Zvolen, Slovakia, 2010. – p. 73–77.

ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ В ДРЕВЕСИНЕ

Е.М. ТЮЛЕНЕВА, доц. каф. технологии и оборудования лесозаготовок СибГТУ, канд.техн.наук

evgeniamixail@mail.ru

Изучение и накопление знаний о реологических показателях имеет важное значение для проектной оценки эксплуатационных характеристик деревянных конструктивных элементов, прессовании и размоле древесины, целлюлозно-бумажной промышленности для дальнейшего развития теории резания с целью более рационального использования древесины.

Задачей наших исследований является уточнение реологической модели и нахождение реологических коэффициентов древесины при сжатии ее поперек волокон в радиальном направлении. С этой целью на определенном этапе исследований в качестве экспериментальной модели рассматривалось тело Бюргерса (рис. 1), что подразумевало присутствие в древесине упругой, эластической и вязкой деформаций.

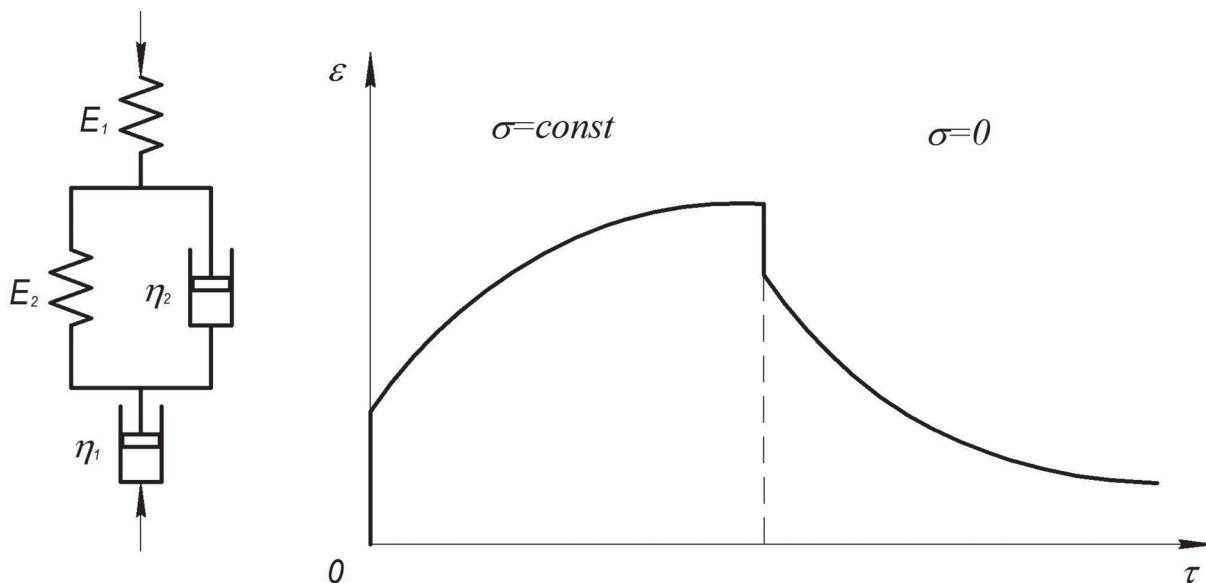


Рис. 1. Модель тела Бюргерса и зависимость деформации древесины от времени действия нагрузки: E_1 – модуль упругости первого рода, E_2 – модуль упругости второго рода; η_2 – коэффициент эластичности; η_1 – коэффициент вязкости

При нагружении такого тела упругая деформация возникает мгновенно, а эластическая и вязкая – с течением времени. После снятия нагрузки мгновенно восстанавливается упругая деформация, эластическая – с течением времени, вязкая же остается в теле навсегда.

Многочисленные эксперименты, проведенные на образцах древесины, показали:

- при нагружении образцов помимо упругой возникают значительные мгновенные необратимые деформации, которые не исчезают после снятия нагрузки и длительной выдержки;

- наблюдается гистерезис эластических деформаций – после разгрузки образца убывание эластических деформаций протекает более медленным путем, чем нарастание;

- развитие деформаций во времени останавливается при 100–110 часах, в то время как для вязкости характерен неограниченный рост деформаций. Поэтому модель тела Бюргерса не может быть применена к древесине – элемент Ньютона явно не вписывается в реальность и должен быть заменен каким-то другим.

Те реологические модели, которые применяются в настоящий момент к древесине (упруго-эластическое тело, упруго-вязкое и др.) включают только два простых элемен-

та – это модель тела Гука и модель Ньютонской жидкости. Модель Сен-Венана (описывает свойство пластичности) при создании реологических моделей не используется, хотя авторы иногда говорят о пластических деформациях, которые отождествляют с вязкими деформациями.

Пластичностью называется способность материала принимать под действием силы определенную форму без каких-либо разрушений и эту форму удерживать по прекращении действия нагрузки.

Прежде чем утверждать, что остаточные деформации древесины есть не что иное, как пластичность, необходимо обозначить характерные особенности, отличающие пластичность от других видов деформаций и проанализировать, насколько они соответствуют процессам, происходящим в древесине в области остаточных деформаций.

1. Пластические деформации, возникающие в материале при воздействии на него внешних сил, проявляются при достижении предела ползучести. Материал, нагружаемый силой вплоть до предела ползучести, упруго деформируется и практически мгновенно восстанавливает форму после снятия нагрузки.

Однако, по данным А.В. Александрова [1], образование пластической деформации в отдельных частицах материала происходит

уже в начальной (упругой) стадии испытания. Эти деформации настолько малы, что не обнаруживаются обычными приборами. С увеличением нагрузки пластическая деформация начинает накапливаться, охватывая макрообъемы вещества, вследствие чего под микроскопом наблюдаются необратимые сдвиги, происходящие в слоях больше подвергшихся действию напряжений.

При кратковременных нагрузках до величины, соответствующей пределу ползучести, Л.М. Перелыгин и другие авторы отмечают, что у древесины наблюдается близкая к линейной зависимость между напряжениями и деформациями. То есть уже с самого начала эксперимента видны отклонения от упругого деформирования. Поэтому можно предположить, что в древесине, одновременно с упругой, происходит образование пластической деформации.

2. Р.Д. Степанов говорит «Пластическая деформация наблюдается в том случае, когда предел ползучести твердого тела ниже предела его «хрупкой» прочности». Иными словами, пластичность определяет начало необратимых изменений в материале, до предела ползучести или «хрупкой» прочности, за которым происходит разрушение материала.

Древесина состоит из многочисленных клеток разной прочности. Так как величина нагрузки в наших опытах близка к пределу разрушения материала, то древесина может содержать частичное разрушение отдельных более слабых клеток, преимущественно ранней зоны, что обусловлено превышением их предела ползучести. И, следовательно, по определению, это разрушение не может входить в состав пластических деформаций.

Здесь уместно воспользоваться гипотезой, исходящей из представления о некотором идеальном строении древесины и присвоения ей свойства анизотропии. Хотя клетки древесины имеют различную прочность, в пределах одной плоскости, включающей большое количество клеток, древесина обладает одинаковыми свойствами в смысле среднестатистического эффекта, создаваемого деформацией отдельных клеток. Так, например, испытания на предел прочности древесины

проводят до видимого разрушения материала, хотя известно, что частичное разрушение происходит уже в начальной стадии нагружения. На наш взгляд, процессы, происходящие в древесине в области остаточных деформаций до появления видимого невооруженным глазом разрушения, могут считаться пластическим деформированием.

3. Известно, что процесс пластического течения не останавливается мгновенно. В.Д. Кузнецов утверждает, что для некоторых однородных тел, при подаче импульса напряжений, пластическая деформация возрастает с постепенно уменьшающейся до нуля скоростью. Рассматривая древесину как анизотропное тело, можно предположить, что пластическая деформация возникает одновременно с упругой, но в отличие от нее должна развиваться в древесине еще некоторое время.

Однако полученные нами экспериментальные данные не подтвердили развитие мгновенных необратимых деформаций даже по результатам первых суток нахождения образца под нагрузкой. Известно, что равновесное состояние, т.е. периоды релаксации различных полимеров, может измениться в необычайно больших пределах – от десятитысячных долей секунды до нескольких месяцев. В нашем случае напряжение не возрастает со временем, а приложено мгновенно. Поэтому процесс перехода устойчивости от клеток ранней зоны к клеткам поздней происходит за очень маленький промежуток, зафиксировать который с помощью приборов невозможно. Поэтому условно принимаем время обретения устойчивости клетками, способными выдержать заданную нагрузку, за мгновение. А деформацию, возникшую за этот промежуток времени, за мгновенную остаточную деформацию. Хотя необходимо отметить, что в редких случаях разрушение древесины происходило даже на третьи сутки нахождения образцов под нагрузкой, что, скорее всего, происходит за счет роста эластических деформаций.

Рассмотрим элемент сухого трения, с помощью которого описывается пластичность, применительно к древесине. Элемент сухого трения должен находиться в каком-то одном состоянии и при нагрузке должно на-

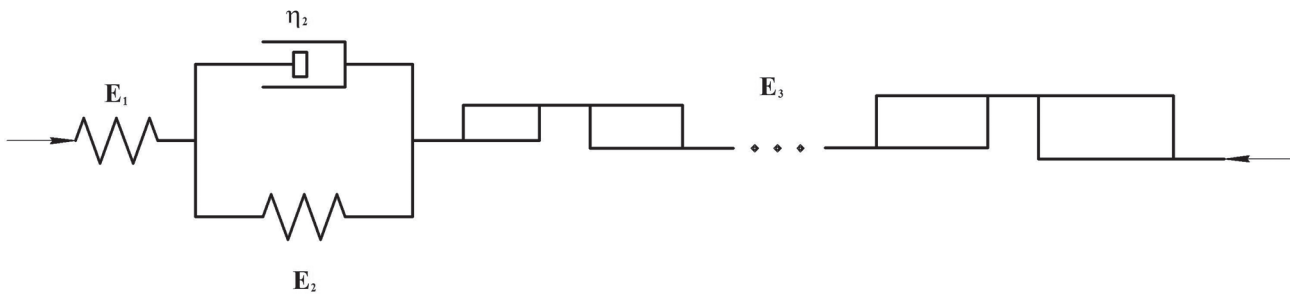


Рис. 2. Модель упруго-пластично-эластического тела

блюдаться либо его упругое деформирование, либо смещение (пластическое течение), или разрушение. Рассмотрим пластичность двух расположенных рядом клеток древесины. При воздействии внешнего усилия ниже предела их прочности они деформируются за счет упругой и эластической деформации (пластическая деформация здесь проявляться не будет). После снятия нагрузки эти клетки полностью восстановятся по форме в течение какого-то промежутка времени. Если же внешнее усилие, воздействующее на эти клетки, будет равно пределу пластичности, но не будет превышать предела их хрупкой прочности, то, кроме упругости и эластичности, деформирующих отдельно каждую клетку, начнется смещение этих клеток друг относительно друга. После снятия нагрузки исчезнет упругая деформация, частично восстановив форму клетки, полностью форму клеткам возвратит эластическая деформация, но в течение довольно длительного промежутка времени, однако смещение этих клеток сохранится навсегда. Если же внешнее усилие превысит предел их «хрупкой» прочности, произойдет разрушение клеток.

В нашем случае одновременно наблюдаются все три состояния из-за наличия в древесине клеток разной прочности. Можно предположить, что в области мгновенных остаточных деформаций реологическая модель древесины должна содержать не один, а несколько элементов сухого трения разной прочности.

В момент приложения нагрузки более слабые ранние слои древесины разрушатся мгновенно, так как величина нагрузки превысит их предел прочности. Часть клеточных стенок смещается, преодолевая силы

внутреннего трения, то есть начинают ползти до предела их разрушения с постепенно замедляющейся скоростью (для древесины это время может составлять от десятичных долей секунды до нескольких месяцев). Величина нагрузки для этих клеток будет равна пределу текучести, но ниже их хрупкой прочности. Более плотные слои поздней зоны годичных слоев при заданной нагрузке будут вести себя упруго, так как величина нагрузки будет ниже их предела текучести и, после снятия нагрузки, полностью восстановятся.

Таким образом, реологическая модель древесины может быть представлена упруго-пластично-эластическим телом [3].

При «мгновенном» нагружении постоянной силой одновременно возникают упругая ϵ_y и пластическая $\epsilon_{\text{п}}$ деформации. С течением времени развивается эластическая ϵ_3 деформация. После снятия нагрузки мгновенно восстановится упругая деформация. На восстановление эластической деформации требуется гораздо больше времени, чем на ее образование и развитие. Пластическая деформация в условиях заданной влажности и температуры останется неизменной [4].

С учетом принятой реологической модели древесины суммарная деформация древесины от нагрузки составит

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_3} + \frac{\sigma}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2 \tau}{\eta_2}} \right), \quad (1)$$

где E_1 – мгновенный модуль упругости;

E_3 – коэффициент пропорциональности.

Назовем E_3 модулем пластической деформации. Так как по результатам экспериментов его величина не зависит от величины действующего на образец напряжения;

E_2 –модуль упругости второго рода;
 e – основание натурального логарифма;
 η_2 –коэффициент эластичности;
 τ –время нахождения образца древесины под нагрузкой

Предложенная нами реологическая модель не исключает наличие в древесине необратимых деформаций и отображает их в конкретных, реальных условиях деформирования. А предложенное реологическое уравнение позволяет легко определить необходимые реологические показатели.

Однако полученное реологическое уравнение, хорошо описывающее процессы, происходящие при сжатии древесины, может не оправдаться при других условиях. В зависимости от способа нагрузки, направления сжатия древесины, различной влажности и других параметров, деформации могут иметь другие численные показатели.

В настоящее время спроектирована новая экспериментальная установка, которая позволит провести эксперименты на образцах древесины других размеров. Изучение реологических свойств древесины в зависимости от размеров образцов, влажности и темпера-

туры является предметом наших дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Александров, А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин // 2-е изд. испр. – М.: Высшая школа. – 2001. – 560 с.
2. Курицын, В.Н. О реологической модели древесины. / В.Н. Курицын, Е.М. Тюленева // Вестник СибГТУ – Красноярск, 2004. – Вып. 1 – С. 3–6.
3. Курицын, В.Н. Экспериментальное уточнение реологической модели древесины // В.Н. Курицын, Е.М. Тюленева // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. –2009. – № 5 – С. 104–110.
4. Курицын, В.Н. Модели древесины с точки зрения феноменологической и молекулярной реологии / В.Н. Курицын, Е.М. Тюленева // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Всероссийская научно-практическая конференция. Сб. статей студентов и молодых ученых. – Красноярск: СибГТУ. – 2007. – Т. 1. – С. 191–196.
5. Тюленева, Е.М. Феноменологический и молекулярный подход в изучении реологических свойств древесины / Е.М. Тюленева // Сб. науч. тр. по материалам международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2011». – Т. 3. Технические науки. – Одесса: Черноморье, 2011. –С. 47–51.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ БЕРЕЗОВЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

А.А КОСАРИН, доц. каф. процессов и аппаратов д/о предприятий МГУЛ, канд. тех. наук,
 Г.Н. КУРЫШОВ, доц. каф. процессов и аппаратов д/о предприятий МГУЛ, канд. тех. наук

kosarin@mgul.ac.ru, kurishov@mgul.ac.ru

Импульсная сушка состоит из чередующихся циклов условно названных «импульс–пауза». В период «импульса» в камере поддерживается заданная температура сушильного агента, осуществляется его циркуляция и выброс части испаренной влаги через приточно-вытяжные каналы; сушка ведется при повышенной температуре и низкой степени насыщенности воздуха в камере. Этот период характеризуется высокой интенсивностью процесса за счет большего градиента влажности по толщине материала [1–3].

В период «паузы» подача тепловой энергии материалу прекращается. Степень насыщенности воздуха в камере возрастает вследствие продолжающегося испарения воды из материала; происходит увлажнение поверхности древесины за счет влаги, поступающей из внутренних слоев древесного сортамента, что приводит к снижению сушильных напряжений.

Для проверки и определения эффективности импульсной сушки пиломатериалов на универсальной опытно-экспериментальной сушильной камере вместимостью 1,5 м³

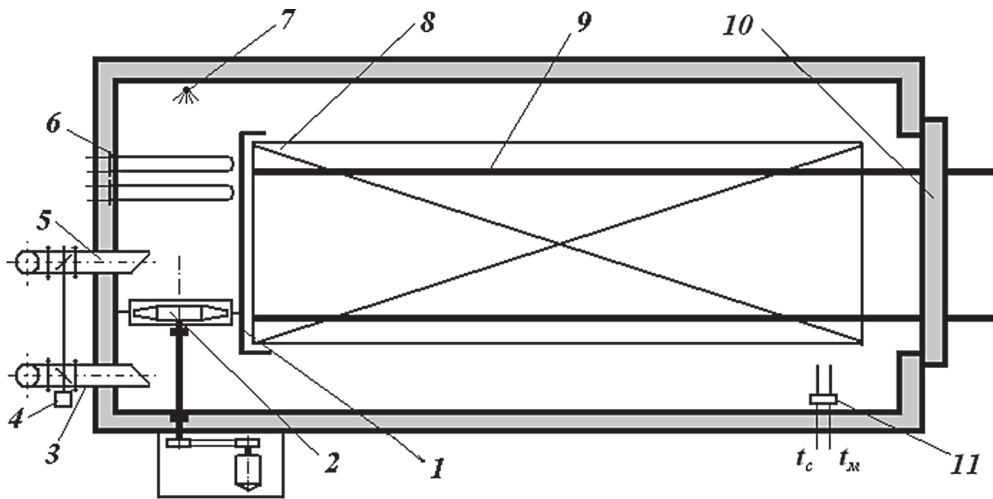


Рис. 1. Конструктивная схема универсальной опытно-промышленной камеры с горизонтально-поперечной циркуляцией и продольной загрузкой: 1 – поперечный экран, 2 – вентилятор, 3, 5 – приточно-вытяжные каналы, 4 – исполнительный механизм управления заслонками, 6 – ТЭНы, 7 – труба с форсункой, 8 – штабель, 9 – рельсы, 10 – дверь, 11 – психрометр (t_c , t_m – температура среды и смоченного термометра)

условного пиломатериала было решено провести две опытные сушки. Конструктивная схема камеры показана на рис. 1.

Штабель 8, загружаемый в камеру, имеет длину – 2,5–3,0 м, ширину – 1 м и высоту – 1,2 м. Камера имеет поперечно горизонтальную циркуляцию, осуществляемую осевым вентилятором № 6. Привод вентилятора осуществляется через клиноременную передачу от электродвигателя, находящегося за пределами сушильного пространства. Теплоносителем является электроэнергия, получаемая от группы ТЭН'ов, общей мощностью 6 кВт. Заслонки приточно-вытяжных каналов 3, 5 управляются исполнительным механизмом 4. Контроль и регулирование процесса сушки производится системой автоматического регулирования процесса сушки на основе двухканального измерителя-регулятора температуры ТРМ 202 (фирма «ОВЕН»), имеющего интерфейс для связи с ПК. Используемая программа, разработанная фирмой «ОВЕН», позволяет вести контроль параметров сушки в режиме on-line и архивировать полученные данные.

В процессе сушки влажность пиломатериалов определялась по двум контрольным образцам. По окончании сушки с целью уточнения конечной влажности брались пробы в 5–6 досках штабеля, расположенных в различных его зонах.

Для снижения коробления пиломатериала в верхних рядах штабеля в экспериментальной камере (штабель имеет высоту равную 1,2 м) верхний ряд выкладывался из швеллеров, обеспечивающих давление на ниже лежащие ряды в пределах 100 кг/м². Это обеспечивало снижение изменения формы пиломатериалов штабеля.

Процедура проведения сушки пиломатериалов в опытно-экспериментальной камере осуществлялась по известной методике [3, 4], описание которой поэтому можно опустить.

Эффективность импульсной сушки устанавливается путем сравнения со стандартной сушкой по следующим показателям:

- относительному изменению продолжительности процесса сушки;
- качеству сушки (перепад влажности по толщине, равномерность конечной влажности, конечные остаточные деформации);
- расходу электроэнергии.

Определение относительного изменения продолжительности процесса сушки представляется практически неразрешимой задачей по следующим причинам.

Наиболее часто для определения этого показателя используется расчетный метод. В данном случае он заключается в том, что фактическая продолжительность импульсной сушки сравнивается с расчетной продолжительностью стандартной сушки идентичных

пиломатериалов. Однако точность таких расчетов, как показывает практика, низкая и такой метод не будет корректным [5–11].

Определенные трудности при расчете этого показателя состоят в том, что относительное изменение продолжительности процесса импульсной сушки пиломатериалов по сравнению с продолжительностью стандартной связано с законом сохранения энергии.

Там, где к материалу подводится большее количество тепла, следует ожидать сокращение продолжительности сушки. При одних и тех же параметрах высушиваемого пиломатериала величиной, по которой можно ориентироваться на количество подведенной энергии, является температура сушильного агента. Очевидно, что при проведении опытных сравнительных сушек однотипных пиломатериалов та сушка будет иметь меньшую продолжительность, которая проходит при более высокой средней температуре процесса. Таким образом, если при импульсной сушке в период «импульса» поддерживать температуру, соответствующую режимным параметрам стандартной сушки, то продолжительность стандартной сушки будет меньше, чем импульсной, поскольку количество подведенной тепловой энергии в этом случае будет больше. Что и было подтверждено сравнительными сушками сосновых пиломатериалов толщиной 32 мм, проведенными в камерах учебно-производственных мастерских МГУЛ при режимной температуре стандартной сушки. Продолжительность импульсной сушки оказалась больше примерно на 10 %, так как средняя температура этого процесса была

ниже (за счет снижения температуры в период «паузы»). Однако пиломатериалы, прошедшие импульсную сушку, имели более высокие показатели качества.

По изложенным выше причинам было решено отказаться от анализа сушек по относительному изменению продолжительности процесса и оценивать эффективность импульсной сушки только по расходу электроэнергии и качеству сушки.

Для подтверждения более высокого качества импульсной сушки было решено провести сравнительные сушки пиломатериалов при равном количестве подведенной энергии. Для этого необходимо было определить среднюю температуру процесса, что и было сделано следующим образом. Первоначально проводилась импульсная сушка с архивированием кривых изменения температуры с помощью программы «Oven process manager». Затем эти данные обрабатывались в программе Excel с целью вычисления средней температуры сушильного агента в процессе. Полученное значение температуры принималось за режимный параметр стандартной сушки. Тогда по результатам анализа проведенных сушек можно судить об эффективности того или другого способа.

Импульсной и стандартной сушке были подвергнуты обрезные березовые пиломатериалы с поперечными размерами 50×160 мм и с примерно одинаковой начальной влажностью 77 и 88 % в опытно-экспериментальной сушильной камере. Температура сушильного агента в ходе импульсной сушки изменялась в соответствии с режимом, приведенном в табл. 1.

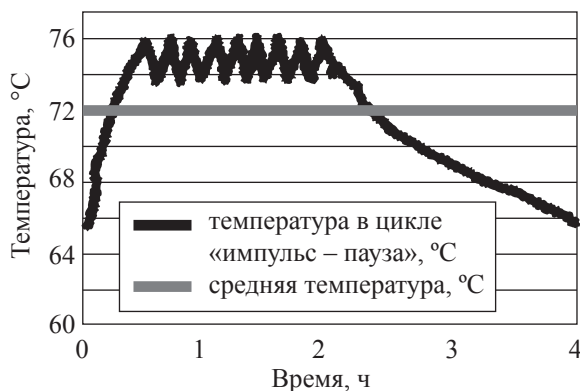


Рис. 2. Характер изменения температуры сушильного агента в одном из циклов «импульс – пауза» и средняя температура для этого цикла

Для проведения стандартной сушки средняя температура рассчитывалась по каждому циклу. В качестве примера на рис. 2. показан характер изменения температуры в одном из циклов «импульс – пауза» и рассчитанная средняя температура для этого цикла.

Продолжительность стандартной и импульсной сушки, как и ожидалось, оказалась примерно одинаковой. При этом по всем нормируемым показателям качество пиломатериалов при импульсной сушке было выше, чем при стандартной (табл. 2).

На циркуляцию сушильного агента при стандартной сушке было затрачено

Режимы сушки пиломатериалов из древесины березы

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм			
		16–19	22–25	32–40	50
> 35	$\tau_{им}$, час	3,0	3,0	2,0	2,0
	t °С	75	75	69	67
	$\tau_{па}$, час	2,0	2,0	2,0	3,0
35–20	$\tau_{им}$, час	3,0	3,0	2,0	2,0
	t °С	75	75	73	71
	$\tau_{па}$, час	2,0	2,0	2,0	3,0
<20	$\tau_{им}$, час	4,0	4,0	2,0	2,0
	t °С	75	75	75	75
	$\tau_{па}$, час	2,0	2,0	2,0	2,0

Т а б л и ц а 2

Основные результаты и показатели качества сушки сравнительных опытных сушек

Показатели качества сушки	Импульсная сушка	Стандартная сушка
Начальная влажность штабеля, %	77	88
Продолжительность сушки, сутки	14,5	15,5
Средняя конечная влажность штабеля, %	7,6	7,2
Отклонение конечной влажности отдельных досок от средней влажности штабеля*, %	2,96	4,38
Перепад влажности по толщине пиломатериалов, %	2,17	2,78
Остаточные деформации, %	0,32	0,55
Категория качества сушки	I	II

* Показатель качества, характеризующий особенности работы сушильной камеры и косвенно связанный с режимами или способом сушки

279 кВт·ч электроэнергии, при импульсной сушке – 120 кВт·ч. Экономия электроэнергии при импульсной сушке составила 53 %.

Анализ нормируемых показателей качества сушки позволяет отнести качество стандартной сушки ко II категории, а импульсной сушки – к I категории. Что касается показателя, показывающего отклонение конечной влажности отдельных досок от средней влажности штабеля, который выше рекомендованного, то он в основном характеризует работу сушильной камеры и лишь косвенно – способ сушки.

Библиографический список

1. Косарин, А.А. Технология импульсной сушки пиломатериалов: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Косарин. – М.: МГУЛ, 2012. – 153 с.
2. Рассев, А.И. Тепловая обработка и сушка древесины: учебник для вузов / А.И. Рассев. – М.: МГУЛ, 2009. – 360 с.
3. Косарин, А.А. О способе определения конечной влажности древесины при импульсной сушке / А.А. Косарин, А.И. Рассев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 3. – 2012. – С. 100–104.
4. Руководящие технические материалы по камерной сушке древесины. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. – 143 с.
5. Серговский, П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: учебник для вузов / П.С. Серговский, А.И. Рассев – М.: Лесная промышленность, 1987. – 360 с.
6. Скуратов, Н.В. Разработка рациональных режимов сушки пиломатериалов в камерах периодического действия: дисс. ... канд. тех. наук / Н.В. Скуратов. – М.: МЛТИ, 1983. – 257 с.
7. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для вузов, 5-е изд / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2007. – 340 с.
8. Уголев, Б.Н. Вопросы анализа, контроля и устранения внутренних напряжений в древесине при ее сушке / Б.Н. Уголев // Тр. Всесоюзной научно-технической конференции. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1968. – С. 36–56.
9. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины (вопросы теории, методы расчета и совершенствование технологии): дисс. д-ра техн. наук / Г.С. Шубин. – М., 1985.
10. Шубин, Г.С. О влагопереносе в древесине / Г.С. Шубин // Сб. науч. тр. – М.: МЛТИ. – 1983. – Вып. 149. – С. 36–39.
11. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины / Г.С. Шубин. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 336 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕГМЕНТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГОРБЫЛЯ

А.А. ФОМИН, доц. каф. технологии машиностроения Владимирского ГУ, канд. техн. наук,
В.Г. ГУСЕВ, проф. каф. технологии машиностроения Владимирского ГУ, д-р техн. наук

fomin1@mail.ru, prof_gusev@mail.ru

Качество проектирования металлорежущего и деревообрабатывающего оборудования в значительной степени зависит от полноты и достоверности используемой исходной информации, в которую входит не только устоявшаяся методология проектирования, но и математические модели, описывающие специфику новых объектов и являющиеся уточняющей исходной информацией. Так, разработка оборудования для механической обработки горбыля как объекта с анизотропными свойствами и лишённого устойчивых и развитых технологических баз невозможна без такой исходной информации.

Математическая модель горбыля – это совокупность формул, описывающих его криволинейные контуры в трех взаимно перпендикулярных плоскостях XY , YZ и XZ (рисунок, а).

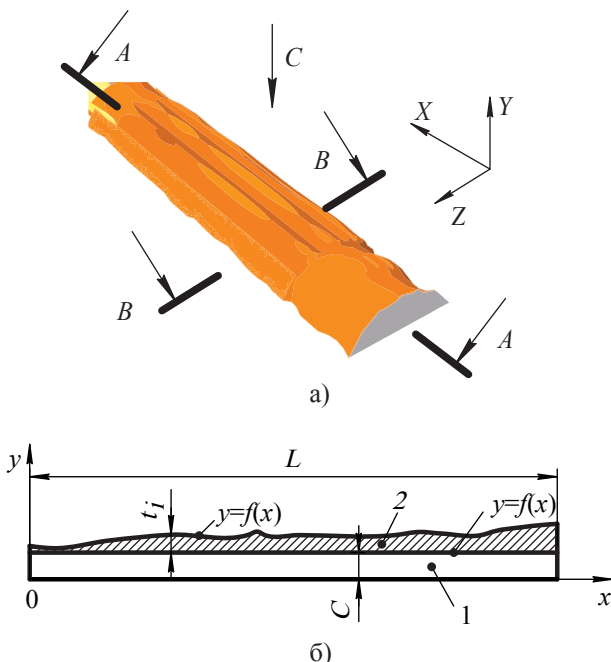


Рисунок. Сечение горбыля плоскостями XY , XZ , YZ (а) и изменение припуска по длине горбыля (б): 1 – готовое изделие; 2 – слой материала, снимаемый при фрезеровании неокоренной части горбыля

На основании модели в плоскости XY можно описать изменение припуска на механическую обработку в продольном $A-A$ сечении, а в плоскости YZ – в поперечном $B-B$ сечении горбыля. Математическая модель в продольном сечении является также исходной информацией для выбора закона управления рабочей подачей заготовки, с целью поддержания постоянной мощности фрезерования неокоренной криволинейной поверхности, а модель в поперечном сечении характеризует также распределение рабочей нагрузки вдоль режущей кромки фасонной фрезы [1].

После фрезерования горбыля получаем готовое изделие 1 (рисунок, б), для этого необходимо снять переменный припуск 2. При этом нагрузка на режущий инструмент не является равномерно-распределенной, что обусловлено не только изменением припуска 2, но и появлением сучков в зоне резания и локальными посторонними включениями в коре, появляющимися при волочении срубленных деревьев по земной поверхности. Твердость у основания сучков выше в 2,2–3,5 раза, чем у стволовой древесины (сосны) [2], что вызывает при обработке появление больших значений силы резания по сравнению с обработкой стволовой древесины.

Структурная неоднородность обрабатываемого материала также является причиной значительного изменения силы резания вдоль режущего лезвия инструмента.

При фрезеровании возникает перерезывающая составляющая силы резания, направленная параллельно оси инструмента и действующая на технологическую систему. Эта сила смещает заготовку в поперечном направлении, приводит к погрешности формы изделия и отклонению от цилиндричности фрезерованной поверхности [3].

Площадь S_z поперечного сечения горбыля можно определить интегрированием функции, описывающей криволинейный контур поперечного сечения горбыля, а величину снимаемого припуска – вычитанием из площади S_z заготовки площади поперечного сечения готового изделия, т.е.

$$\int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} (\sqrt{R^2 - z^2} - R + h) dz = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} \sqrt{R^2 - z^2} dz + \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} (h - R) dz, \quad (1)$$

где $f_1(z)$ – функция, описывающая контур заготовки в поперечном сечении;

$f_2(z)$ – функция, характеризующая форму лезвия фасонного режущего инструмента (фрезы) и ее расположение в плоскости YZ ;

B – ширина фрезерования.

Обработанное изделие из горбыля ограничено функцией $f_2(z)$ и двумя параллельными плоскостями $Z = +0,5B$ и $Z = -0,5B$, образованными при обрезке боковых криволинейных кромок заготовки.

Функция $f_2(z)$ имеет вид

$$f_2(z) = \sqrt{R^2 - z^2} - R + h, \quad (2)$$

где R – радиус режущей кромки инструмента;

h – максимальная толщина получаемого изделия;

z – текущее значение аппликаты.

Подставив в (1) выражение (2), получим

$$S_z = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} f_1(z) dz - \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} (\sqrt{R^2 - z^2} - R + h) dz. \quad (3)$$

Интегрирование второго члена правой части уравнения (3) позволяет получить формулу для расчета площади поперечного сечения изделия с требуемыми параметрами

$$\int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} (\sqrt{R^2 - z^2} - R + h) dz = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} \sqrt{R^2 - z^2} dz + \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} (h - R) dz. \quad (4)$$

Проинтегрируем первое слагаемое правой части выражения (4), в результате получим

$$\int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} \sqrt{R^2 - z^2} dz = \frac{R^2}{2} \left(\arcsin \frac{B}{2R} - \arcsin \left(-\frac{B}{2R} \right) \right) + \frac{B}{4} \sqrt{4R^2 - B^2}, \quad (5)$$

$$\int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} (h - R) dz = \frac{3B(h - R)}{2}. \quad (6)$$

С учетом (5) и (6) уравнение (3) примет вид

$$S_z = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} f_1(z) dz - \frac{R^2}{2} \left(\arcsin \frac{B}{2R} - \arcsin \left(-\frac{B}{2R} \right) \right) - \frac{B}{4} \sqrt{4R^2 - B^2} - \frac{3B(h - R)}{2}. \quad (7)$$

В формуле (7) неизвестной является функция $f_1(z)$, которая ограничивает поперечное сечение горбыля со стороны наружной поверхности коры. Аналитическое нахождение функции $f_1(z)$ в условиях стохастического изменения припуска затруднительно, поэтому площадь поперечного сечения определяем по формуле прямоугольников

$$S = \int_a^b f_1(z) dz = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^{n-1} S_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b-a}{n} \sum_{i=0}^{n-1} f \left(a + i \frac{b-a}{n} \right), \quad (8)$$

где a, b – пределы интегрирования;

n – число измерений;

S_i – площадь текущего прямоугольника;

i – номер текущего прямоугольника.

Вычисленная площадь S позволяет рассчитать работу, потребную на снятие припуска, а также силу резания. Для расчета припуска на обработку авторами разработана компьютерная программа, применение которой значительно сокращает время на выполнение процедуры вычисления.

С использованием приведенных результатов анализа и экспериментальных данных установлено, что фасонное фрезерование сопровождается появлением перерезывающих сил, вызывающих радиальные и осевые нагрузки на шпиндельный узел.

Математическую модель в продольном сечении горбыля рассматриваем в плоскости XU . Проекция неокоренной поверхности на эту плоскость ограничена кривой $y = f(x)$ (рисунок, б), которая характеризует нестабильность силы резания по длине заготовки без учета влияния структурных особенностей обрабатываемого материала (наличие дефектов, сучков, коры).

Вследствие изменения силы резания по длине заготовки шпиндель фрезы и сама заготовка претерпевают упругие деформации, которые увеличивают погрешность формы готового изделия.

При упрощенном рассмотрении продольного сечения горбыля (если кривую 1 на рисунок, б линеаризовать) проекция заготовки на плоскость XU имеет вид трапеции с постоянным приращением припуска на обработку от вершинного конца бревна к комлевому.

Трапециевидная форма объясняется сбежистостью бревна (изменением диаметра от комлевого торца к вершинному). Однако упрощенное описание не отражает в полной мере изменение припуска на обработку и является приближенным.

Установим уточненную математическую модель, учитывающую искажение формы горбыля в плоскости XU , обусловленное кривизной исходного бревна. Модель бревна представляет собой усеченный параболоид вращения, искаженный таким образом, что геометрическим местом центров его поперечных сечений служит синусоида с n -м количеством полуолн

$$\left\{ y - f \cos \theta \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \right] \right\}^2 + \left\{ z - f \sin \theta \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \right] \right\}^2 = \frac{(D^2 - d^2)x}{4L} + \frac{d^2}{4}, \quad (9)$$

где D – диаметр бревна в комле;

d – диаметр бревна в вершине;

L – длина бревна;

f – прогиб оси бревна;

θ – угол между плоскостью синусоиды и координатной плоскостью ZX ;

p – параметр, характеризующий сдвиг синусоиды ($p = 0$ или 1), x – абсцисса рассматриваемой точки.

В осевом направлении плоскость пропила описывается уравнением $Z = 0$, поэтому при совместном решении уравнений (9) и $Z = 0$ получаем уравнение кривой, являющейся образующей проекции продольного сечения бревна на плоскость XU

$$y = \sqrt{\frac{(D^2 - d^2)x}{4L} + \frac{d^2}{4} + \left\{ f \sin \theta \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \right] \right\}^2} + f \cos \theta \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \right]. \quad (10)$$

При переходе от уравнения (10) образующей проекции сечения бревна к уравнению образующей проекции сечения горбыля необходимо заменить параметры, характеризующие бревно (диаметры бревна в комле и вершине), параметрами, присущими горбылю.

Тогда

$$y = f(x) = \sqrt{\frac{(K^2 - k^2 + 2M(K - k)) \cdot x}{4L} + \frac{k^2}{4} + \left\{ f \sin \theta \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \right] \right\}^2} + f \cos \theta \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \right], \quad (11)$$

где K – толщина горбыля в комлевой части;

k – толщина горбыля в вершинной части;

M – охват диаметра бревна;

L – длина горбыля.

Формула (11), характеризует проекцию сечения горбыля на плоскость XU , определяет изменение текущей глубины резания t_p , что необходимо для анализа сил, возникающих в процессе фрезерования заготовки и выбора системы автоматического управления технологическими параметрами.

Площадь 2 горбыля (рисунок,б)

$$F = \int_0^L f(x) dx - hL = \int_0^L \sqrt{\frac{(K^2 - k^2 + 2M(K - k)) \cdot x}{4L} + \frac{k^2}{4} + \left\{ f \sin \theta \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \right] \right\}^2} dx - hL$$

$$+ f \cos \theta \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \right] \} dx - hL, \quad (12)$$

где h, L – высота и длина готового изделия.

Текущее значение глубины резания

$$t_i = f(x) - h. \quad (13)$$

Поскольку величина t_i при конкретном режиме обработки определена выражением (13) и непосредственно влияет на численные значения составляющих силы резания, то появляется возможность перехода от глубины резания к силовой нагрузке, действующей на элементы системы станок–приспособление–инструмент–заготовка.

Мощность фрезерования и ее изменение по длине обработки можно определить на основе выражения

$$P_p = K_T a_{nonp} B t S / 60 \cdot 1000, \quad (14)$$

где K_T – удельная работа, Дж/см³;

a_{nonp} – поправочный коэффициент, учитывающий специфику обработки;

B – ширина фрезерования, мм;

t – припуск при однократной обработке, мм;

S – скорость подачи заготовки, м/мин.

Удельная работа K_T связана с припуском на обработку, а зависимость $K_T = f(t)$ содержится в справочниках по процессам резания.

Подставив (13) в (14), получим

$$P_p = K_T a_{nonp} B t S (f(x) - h) / 60 \cdot 1000. \quad (15)$$

Из выражения (15) определим скорость рабочей подачи горбыля из условия поддержания постоянной мощности фрезерования при изменяющемся припуске на обработку:

$$S = 6 \cdot 10^4 P_p / K_T a_{nonp} B (f(x) - h). \quad (16)$$

По известной мощности фрезерования можно определить силу резания, а также пределы ее изменения, что необходимо при проектировании станка для обработки горбыля.

Таким образом, математическая модель горбыля в плоскости XU позволяет выполнить расчеты не только рабочей нагрузки на технологическую систему, но и установить закономерность изменения скорости подачи заготовки, обеспечивающую постоянную мощность фрезерования неокоренной поверхности горбыля.

Математическая модель горбыля в плоскости XZ (плоскости пласти) необходима для оптимального раскроя заготовки. Пространственная ориентация заготовок с чистовыми направляющими технологическими базами не вызывает трудностей, в то время как горбыль имеет искривленные образующие в плоскости XZ , которые исключают возможность направления и ориентации горбыля.

Математическая модель горбыля в плоскости XZ определяет схему раскроя для заданной ширины фрезерования. Оптимальный раскрой горбыля характеризуется максимальной площадью готового изделия и максимальным коэффициентом использования материала при установленных параметрах технологической системы. Анализ возможности повышения коэффициента использования материала показал, что поворот на 2–4 заготовки с искривленными в плоскости XZ боковыми кромками позволяет увеличить площадь получаемого изделия на 15–30 %.

Таким образом, на основании разработанной математической модели горбыля в плоскостях XU, YZ и XZ возможен расчет припусков на механическую обработку; сил, действующих в процессе фрезерования неокоренной криволинейной поверхности горбыля, а также мощности резания, что необходимо для качественного проектирования оборудования и технологии механической обработки горбыля.

Библиографический список

1. Фомин, А.А. Оборудование и технология механической обработки отходов лесопиления: монография / А.А. Фомин. – М.: Машиностроение, 2013. – 206 с.
2. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для лесотехнических вузов, 4-е изд. / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2005. – 340 с.
3. Фомин, А.А. Механическая обработка отходов древесины / А.А. Фомин, В.Г. Гусев // Избранные тр. Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. – М.: РАН. – 2011. – 128 с.
4. Копейкин, А.М. Математическое моделирование и автоматизация управления операцией обрезки пиломатериалов: дисс. ... канд. техн. наук. / А.М. Копейкин. – Архангельск, 1970. – 230 с.
5. Ашкенази, Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази // Лесная промышленность, 1978. – 224 с.

6. Берзиньш, Г.В. Комплексное использование древесных отходов / Г.В. Берзиньш, А.П. Озолиньш, В.М. Хрулев и др. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1987. – 28 с.
7. Ветшев, В.Ф. Математическое моделирование раскряга бревен с целью повышения выхода пиломатериалов / В.Ф. Ветшев, С.А. Черепанов // Вестник СибГТУ. – 2001. – № 2. – С. 44–47.
8. Захаров, М.В. Обоснование и разработка автоматизированного метода определения размеров поперечных сечений круглых лесоматериалов: дисс. ... канд. техн. наук / М.В. Захаров. – Архангельск, 2004. – 141 с.
9. Иванов, Д.В. Интенсификация формирования поперечного сечения пиломатериалов / Д.В. Иванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2005. – № 6. – С. 47–53.
10. Ерхова, О.И. Исследование обзола досок при раскрое бревен овального сечения / О.И. Ерхова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 4. – 2012. – С. 87–91.
11. Пат. № 80389 Российская Федерация, МПК В27В, 5/12. Станок для получения обрезного пиломатериала из горбыля / Корякин В. А, Корякин И. В., Шпигарь В. А. [и др.] : заявл. 25. 06. 2007; опубл. 10. 02. 2009.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ПРОФИЛЬНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ КРУПНЫХ ОТХОДОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ

А.А. ФОМИН, доц. каф. технологии машиностроения Владимирского ГУ, канд. техн. наук,
В.Г. ГУСЕВ, проф. каф. технологии машиностроения Владимирского ГУ, д-р техн. наук

fomin1@mail.ru, prof_gusev@mail.ru

Профильное фрезерование древесины находит широкое применение в процессах производства мебели, строительстве домов и т. п. и может быть реализовано применением фасонного режущего инструмента, профиль которого совпадает с профилем обработанного изделия, либо применением концевых фрез и современных многофункциональных станков с числовым программным управлением. Для производства обшивочной профильной доски первый путь является более дешевым и предпочтительным по сравнению со вторым, вследствие чего моделирование мощности резания излагается применительно к первому варианту. Моделирование мощности резания при цилиндрическом фрезеровании достаточно подробно изучено и излагается в ряде учебников и монографиях по деревообработке [1–5], в то время как исследованию мощности резания при профильном фрезеровании древесины в т. ч. крупных отходов лесопиления не уделялось достаточного внимания.

Мощность резания при цилиндрическом фрезеровании древесины определяется по объемной формуле [1]

$$P_p = K_T a_{nonp} (btv_s/60), \quad (1)$$

где K_T – табличное значение удельной работы резания;

$a_{nonp} = a_n a_w a_p a_\delta a_v$ – общий поправочный коэффициент;

$a_n a_w a_p a_\delta a_v$ – поправочный коэффициент соответственно на породу, влажность древесины, затупление лезвий фрезы, угол резания и скорость резания;

b – ширина фрезерования;

t – глубина резания;

v_s – скорость подачи обрабатываемой заготовки.

Математическая модель мощности резания (1) не учитывает специфики профильного фрезерования древесины и, в частности, отходов лесопиления. Специфика фрезерования древесины фасонной фрезой заключается в переменном значении текущего радиуса инструмента по высоте, а специфика отходов лесопиления – в сбежистости древесной заготовки и случайном появлении сучков в зоне резания, которые имеют более высокую твердость обрабатываемого материала по сравнению с чистой стволовой древесиной. Ширина фрезерования фасонной фрезой больше, чем цилиндрической, поскольку контакт с обрабатываемым материалом происходит по кривой второго порядка (в простейшем случае по дуге окружности). Протяженность контакта при профильном фрезеровании зависит от геометрических параметров фасонной фрезы и может быть найдена на основании известного радиуса профиля фрезы и центрального угла, соответствующего длине этого профиля.

Мощность профильного фрезерования с учетом протяженности контакта фасонных режущих пластин инструмента с обрабатываемой заготовкой

$$P_p = K_f a_{\text{нопр}} (tv_s/30) R_{pk} \arcsin(B/2 R_{pk}), \quad (2)$$

где B – высота фасонной фрезы;

R_{pk} – радиус профиля фасонной фрезы.

Установим влияние глубины резания на мощность фасонного фрезерования заготовки, не имеющей сбежистости. Для конкретных условий профильного фрезерования (конкретной геометрии фрезы, режима резания, состояния древесины, ее породы и т.п.) функцию (2) можно представить

$$P_p = C_t t, \quad (3)$$

где $C_t = (K_f a_{\text{нопр}} v_s/30) R_{pk} \arcsin(B/2 R_{pk}) = \text{const.}$

Выражение (3) представляет собой уравнение прямой линии, проходящей через начало координат. Для различных условий профильного фрезерования значения коэффициентов C_t отличаются друг от друга, поэтому изменение мощности в функции глубины резания характеризуется отрезками прямых линий, выходящих из начала координат в виде веера лучей, наклоненных под различным углом к положительному направлению оси абсцисс. Для цилиндрического фрезерования древесины из сосны (высота фрезы $B = 100$ мм, скорость рабочей подачи заготовки $v_s = 15$ м/мин, скорость резания $v = 45$ м/с, число зубьев $Z = 4$, частота вращения $n = 4880$ мин⁻¹, радиус профиля фасонной фрезы $R_{pk} = 106,3$ мм, угол резания $\delta = 60^\circ$, средняя толщина срезаемого слоя $a_{cp} = 0,13$ мм, угол выхода $\varphi_{\text{вых}} = 15^\circ$, фреза проработала 120 мин, общий поправочный коэффициент на условия фрезерования $a_{\text{нопр}} = 1,44$) коэффициент $C_{tc}^u = 1296$, из березы $C_{tb}^u = 1586$, из дуба $C_{td}^u = 1612$, а для фасонного фрезерования $C_{tc}^\phi = 1347,8$; $C_{tb}^\phi = 1684,8$; $C_{td}^\phi = 1692,0$ соответственно.

Мощность фасонного фрезерования связана со скоростью рабочей подачи древесины также линейной зависимостью

$$P_p = C_v v_s^2, \quad (4)$$

где $C_v = (K_f a_{\text{нопр}} t/30) R_{pk} \arcsin(B/2 R_{pk}) = \text{const.}$

Для цилиндрического фрезерования древесины из сосны ($t = 10$ мм, $B = 100$ мм, $v = 41$ м/с, $Z = 4$, $n = 4880$ мин⁻¹, $R_{pk} = 106,3$ мм, $\delta = 60^\circ$, $a_{cp} = 0,13$ мм, $\varphi_{\text{вых}} = 15^\circ$, $T = 120$ мин,

$a_{\text{нопр}} = 1,44$) коэффициент $C_{vc}^u = 864$, из березы $C_{vb}^u = 1058$ и из дуба $C_{vd}^u = 1075$. Для фасонного фрезерования древесины из сосны $C_{vc}^\phi = 899$, березы $C_{vb}^\phi = 1123$, дуба $C_{vd}^\phi = 1128$. Сравнение коэффициентов C_{tc}^u , C_{tb}^u , C_{td}^u , характерных для цилиндрического фрезерования древесины различных пород, свидетельствует об увеличении мощности фрезерования в последовательности: сосна, береза и дуб, что объясняется более высокой плотностью обрабатываемой древесины, а, следовательно, и удельной работы резания.

Аналогичная закономерность изменения мощности сохраняется и для фасонного фрезерования древесины, но коэффициенты C_{tc}^ϕ , C_{tb}^ϕ , C_{td}^ϕ , больше коэффициентов C_{tc}^u , C_{tb}^u , C_{td}^u , что свидетельствует о более высоких значениях мощности фасонного фрезерования по сравнению с цилиндрическим. Этот факт можно объяснить не только большей протяженностью контакта инструмента и заготовки, но и тем, что при фасонном фрезеровании припуск снимается режущими пластинами, имеющими кривизну режущего профиля, которая вызывает сравнительно большие деформации материала, требующие большей затраты энергии в единицу времени. Для цилиндрического фрезерования ширина фрезерования b равна высоте B фрезы, поэтому согласно (1) мощность резания в функции высоты B описывается прямыми линиями 1–3 (рис. 1, а). При профильном фрезеровании, увеличение высоты B вызывает возрастание мощности резания в соответствии с пунктирными линиями. Точки, нанесенные на графиках, соответствуют экспериментальным данным. В математическую модель (2) входит выражение $\arcsin(B/2 R_{pk})$, которое содержит обратную тригонометрическую функцию синуса. Определим влияние этого выражения на значение мощности профильного фрезерования. В аргументе рассматриваемой функции высота B – положительное число не равное нулю, в противном случае режущий инструмент не существует. Поэтому изменение функции синуса следует рассматривать в пределах от 0 до 1.

Аргумент функции $\arcsin(B/2 R_{pk})$ принимает нулевое значение при радиусе $R_{pk} = \infty$, а

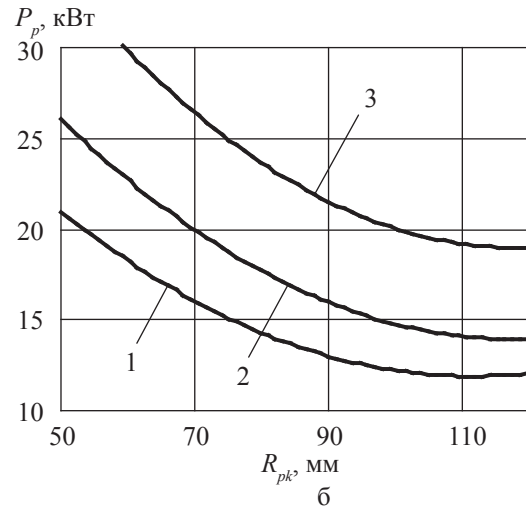
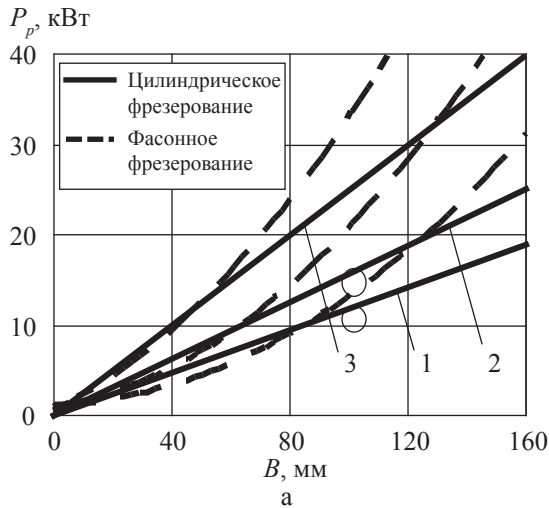


Рис. 1. Влияние высоты (а) и радиуса профиля фасонной фрезы на мощность резания (б): 1 – сосна, 2 – береза, 3 – дуб

значение, равное единице, при $R_{pk} = 0,5B$. При $R_{pk} = \infty$ фасонное фрезерование превращается в цилиндрическое, при котором профиль фрезы очерчен по прямой линии. При $R_{pk} = 0,5B$ профиль фасонной фрезы представляет собой полуокружность длиной πR_{pk} с центром в точке, лежащей в поперечной плоскости симметрии фрезы на максимальном радиусе. Иными словами, профиль фрезы представляет собой полуокружность с центральным углом, равным π радиан. Промежуточные положения профиля фрезы (от прямой линии до полуокружности) характеризуются тем, что при увеличении R_{pk} начиная от $0,5B$, происходит перманентное удаление центра профиля фрезы на бесконечно большое расстояние $R_{pk} = \infty$.

Физический смысл такого изменения радиуса R_{pk} с позиции процесса фрезерования древесины заключается в том, что при $R_{pk} = 0,5B$ происходит деформация обрабатываемого материала в наибольшей степени, в то время как при $R_{pk} = \infty$ древесина испытывает минимальную деформацию. Большая деформация древесины в процессе профильного фрезерования, естественно, вызывает увеличение мощности резания. Описанный характер влияния функции $\arcsin(B/2R_{pk})$ на процесс профильного фрезерования подтверждается графиком, представленным на рис. 1б, на котором отражено уменьшение мощности резания при увеличении радиуса R_{pk} . Кривые 1–3 описываются уравнениями, характерными

для профильного фрезерования древесины из сосны, березы и дуба соответственно

$$P_{pc} = 259,2 \cdot R_{pk} \arcsin(50/R_{pk}) \quad (5)$$

$$P_{pb} = 324,0 \cdot R_{pk} \arcsin(50/R_{pk}) \quad (6)$$

$$P_{pd} = 401,8 \cdot R_{pk} \arcsin(50/R_{pk}) \quad (7)$$

Расчеты по формулам (1, 5–7) подтвердили сформулированное выше научное положение о том, что при профильном фрезеровании заготовок требуется больше энергии, чем при цилиндрическом. Для профильного фрезерования отходов лесопиления, характеризующихся сбежистостью с положительным приращением припуска, формула мощности резания имеет вид

$$P_p = \frac{K_T a_{nonp} v_s (t + v_s \tau \operatorname{tg} \beta_{c\phi})}{30} R_{PK} \arcsin\left(\frac{B}{2R_{PK}}\right), \quad (8)$$

где τ – текущее время фрезерования;

$\beta_{c\phi}$ – средний статистический угол, характеризующий сбежистость заготовки.

Для сбежистой заготовки с отрицательным приращением припуска мощность резания

$$P_p = \frac{K_T a_{nonp} v_s (t + v_s \tau \operatorname{tg}(\pi - \beta_{c\phi}))}{30} \times R_{PK} \arcsin\left(\frac{B}{2R_{PK}}\right). \quad (9)$$

Радиус профиля R_{pk} связан с максимальным R_{max} и минимальным R_{min} радиусами фасонной фрезы формулой

$$R_{PK} = \left(\frac{R_{max} - R_{min}}{1 - \cos(0,5\phi)} \right), \quad (10)$$

где φ – центральный угол, соответствующий длине профиля фасонной фрезы, т.е. угол раскрытия профиля.

С учетом (10) формула мощности резания при профильном фрезеровании отходов лесопиления представится

– с положительным приращением припуска сбежистой заготовки

$$P_p = \frac{K_T a_{nonp} v_s (t + v_s \tau \operatorname{tg} \beta_{c\delta})}{30} \times \left(\frac{R_{\max} - R_{\min}}{1 - \cos(0,5\varphi)} \right) \arcsin \left(\frac{B}{2R_{PK}} \right) \quad (11)$$

– с отрицательным приращением припуска сбежистой заготовки

$$P_p = \frac{K_T a_{nonp} v_s (t + v_s \tau \operatorname{tg}(\pi - \beta_{c\delta}))}{30} \times \left(\frac{R_{\max} - R_{\min}}{1 - \cos(0,5\varphi)} \right) \arcsin \left(\frac{B}{2R_{PK}} \right) \quad (12)$$

Заменим в (11) и (12) минную скорость подачи v_s , в результате получим выражение мощности профильного фрезерования для сбежистой древесной заготовки:

– с положительным приращением припуска

$$P_p = \frac{K_T a_{nonp} (t + \frac{S_z Z n}{1000} \tau \operatorname{tg} \beta_{c\delta})}{30} \times \frac{S_z Z n}{1000} \left(\frac{R_{\max} - R_{\min}}{1 - \cos(0,5\varphi)} \right) \arcsin \left(\frac{B}{2R_{PK}} \right) \quad (13)$$

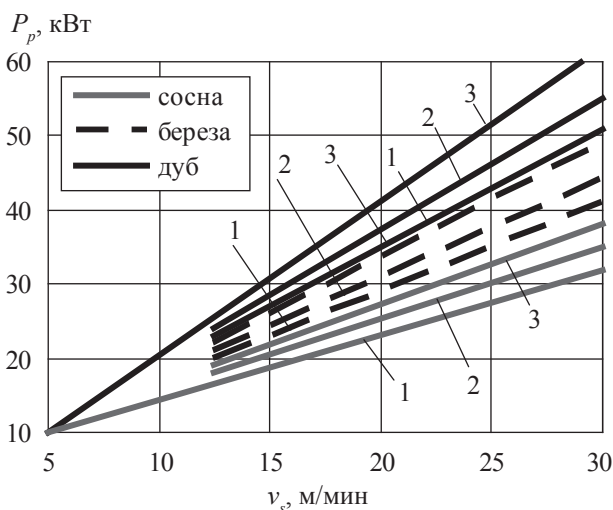


Рис. 2. Влияние скорости подачи сбежистой заготовки из различных пород древесины на мощность профильного фрезерования

– с отрицательным приращением припуска

$$P_p = \frac{K_T a_{nonp} (t + \frac{S_z Z n}{1000} \tau \operatorname{tg}(\pi - \beta_{c\delta}))}{30} \times \frac{S_z Z n}{1000} \left(\frac{R_{\max} - R_{\min}}{1 - \cos(0,5\varphi)} \right) \arcsin \left(\frac{B}{2R_{PK}} \right) \quad (14)$$

где S_z – подача на зуб фрезы;

Z, n – соответственно число зубьев и частота вращения фрезы.

Формулы (2), (13) и (14) связывают мощность резания с независимыми факторами процесса профильного фрезерования, характеризующими фасонный режущий инструмент (факторы Z, R_{\max}, R_{\min}, B и R_{PK}), режим резания (S_z, n, t), текущее время обработки τ , сбежистость отходов лесопиления ($\beta_{c\delta}, \pi - \beta_{c\delta}$), а также породу, влажность древесины, затупление лезвий фрезы, угол резания и др. (K_T и a_{nonp}).

Выполним моделирование мощности резания на основании полученных выражений в программной среде Advanced Grapher. Приведем расчетные формулы, адаптированные к этой программной среде, что позволит по моделям (3), (13) и (14), выполнять расчеты мощности фрезерования практически для любых режимов фрезерования, допускаемых технической характеристикой применяемого деревообрабатывающего оборудования.

Мощность профильного фрезерования древесины различных пород в функции сбежистости заготовки с положительным приращением припуска возрастает (рис. 2), что объясняется прогрессирующим увеличением фактической глубины резания с течением времени обработки. Прямые линии 1–3, изображенные внизу графика сплошным жирным шрифтом, характеризуют изменение мощности резания в функции рабочей подачи древесины из сосны (время обработки 2; 5 и 10 с.), пунктирные линии графика – для березы, а верхние сплошные линии 1–3 – для дуба.

Уравнение нижней прямой 1 графика, адаптированное к программной среде Advanced Grapher, имеет вид

$$P_p = 36 \times 1,44 v_s (10 + 2 \times 0,01 v_s) / (30 \times 62,5 \sin(100 / (2 \times 62,5))) \quad (15)$$

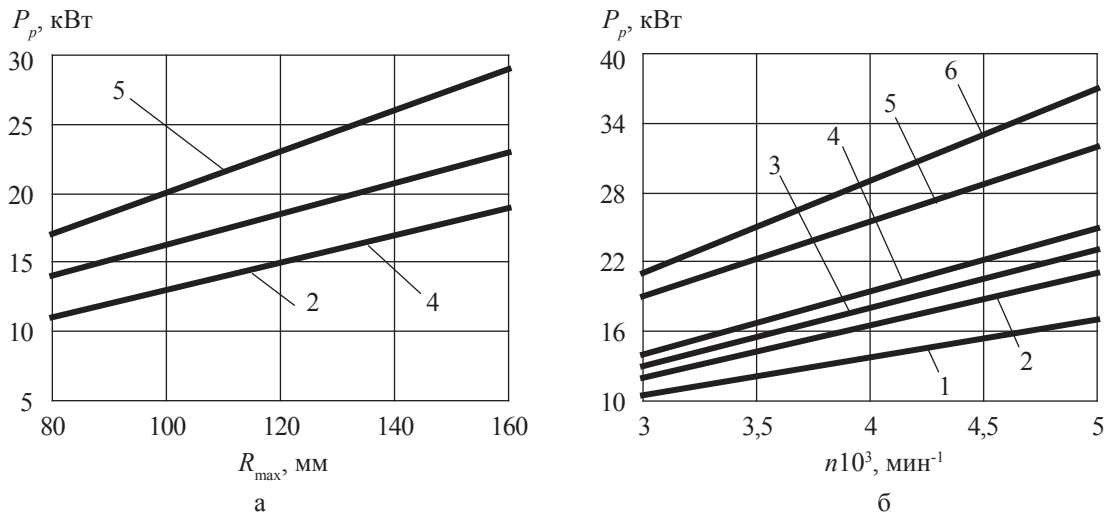


Рис. 3. Влияние максимального радиуса (а) и частоты вращения фасонной фрезы (б) на мощность резания при обработке: 1 – сосны, 2 – сосны, 3 – лиственницы, 4 – березы 5 – дуба, 6 – ясеня

На основании (15) можно составить уравнения для расчета мощности резания при других условиях профильного фрезерования. Из рассмотренных пород древесины самое большое значение мощности резания характерно для дуба, затем – для березы и наименьшее значение – для сосны. При скорости рабочей подачи 15 м/мин мощность фрезерования заготовок, не имеющих сбежистости, составила: для сосны – 13,5 кВт, березы – 16,7 кВт, дуба – 16,9 кВт. При этих же условиях профильного фрезерования сбежистых заготовок в течение 10 с. мощность резания составила: для сосны – 17,3 кВт, березы – 21,6 кВт, дуба – 26,8 кВт. Приращение мощности резания возрастает при переходе к профильному фрезерованию древесины с более высокой плотностью, а также при увеличении времени обработки. Для положительного приращения припуска мощность профильного фрезерования в функции времени обработки описывается уравнениями

$$1. P_p = (33 \times 1,43 \times 20(5 + 0,01 \times 20\tau)) / 30 \times 80 \operatorname{asin}(100 / (2 \times 80)), \text{ при } K_T = 33 \text{ Дж/см}^3, \\ a_{\text{nonp}} = 1,43; a_{\text{cp}} = 0,1 \text{ мм}, \operatorname{tg} \beta_{\text{сб}} = 0,01; \\ R_{\text{PK}} = 80 \text{ мм}, t = 5 \text{ мм}, B = 100 \text{ мм}. \quad (16)$$

$$2. P_p = (33 \times 1,43 \times 15(15 + 0,01 \times 15\tau)) / 30 \times 90 \operatorname{asin}(120 / (2 \times 90)) \text{ при } K_T = 33 \text{ Дж/см}^3, \\ a_{\text{nonp}} = 1,43; a_{\text{cp}} = 0,1 \text{ мм}, \operatorname{tg} \beta_{\text{сб}} = 0,01; \\ R_{\text{PK}} = 90 \text{ мм}, t = 15 \text{ мм}, B = 120 \text{ мм}. \quad (17)$$

$$3. P_p = ((36 \times 1,44 \times 25(10 + 0,01 \times 25\tau)) / 30 \times 70 \operatorname{asin}(140 / (2 \times 70))) \text{ при } K_T = 36 \text{ Дж/см}^3,$$

$$a_{\text{nonp}} = 1,44; a_{\text{cp}} = 0,1 \text{ мм}, \operatorname{tg} \beta_{\text{сб}} = 0,01; \\ R_{\text{PK}} = 70 \text{ мм}, t = 10 \text{ мм}, B = 140 \text{ мм}. \quad (18)$$

Для сбежистой заготовки с отрицательным приращением припуска изменение мощности резания описывается уравнениями

$$1. P_p = (33 \times 1,43 \times 20(5 - 0,01 \times 20\tau)) / 30 \times 80 \operatorname{asin}(100 / (2 \times 80)) \text{ при } K_T = 33 \text{ Дж/см}^3, \\ a_{\text{nonp}} = 1,43; a_{\text{cp}} = 0,1 \text{ мм}, \operatorname{tg} \beta_{\text{сб}} = -0,01; \\ R_{\text{PK}} = 80 \text{ мм}, t = 5 \text{ мм}, B = 100 \text{ мм}. \quad (19)$$

$$2. P_p = (33 \times 1,43 \times 15(15 - 0,01 \times 15\tau)) / 30 \times 90 \operatorname{asin}(120 / (2 \times 90)) \text{ при } K_T = 33 \text{ Дж/см}^3, \\ a_{\text{nonp}} = 1,43; a_{\text{cp}} = 0,1 \text{ мм}, \operatorname{tg} \beta_{\text{сб}} = -0,01; \\ R_{\text{PK}} = 90 \text{ мм}, t = 15 \text{ мм}, B = 120 \text{ мм}. \quad (20)$$

$$3. P_p = (36 \times 1,44 \times 25(10 - 0,01 \times 25\tau)) / 30 \times 70 \operatorname{asin}(140 / (2 \times 70)), \text{ при } K_T = 36 \text{ Дж/см}^3, \\ a_{\text{nonp}} = 1,44; a_{\text{cp}} = 0,1 \text{ мм}, \operatorname{tg} \beta_{\text{сб}} = -0,01; \\ R_{\text{PK}} = 70 \text{ мм}, t = 10 \text{ мм}, B = 140 \text{ мм}. \quad (21)$$

С увеличением максимального радиуса R_{max} фасонной фрезы мощность резания возрастает и описывается уравнением

$$P_p = ((33 \times 1,43 \times 20(5 + 0,01 \times 20 \times 10)) / 30 \times (R_{\text{max}} - 65) / (1 - \cos(3,14 - 0,02))) \operatorname{asin}(100 / (2 \times 70)). \quad (22)$$

Увеличение минимального радиуса R_{min} фасонной фрезы при неизменных других ее размерных характеристиках приводит к снижению мощности резания, что объясняется уменьшением кривизны профиля фрезы, а, следовательно, протяженности контактного взаимодействия инструмента с заготовкой и размельчения древесины. Влияние максимального радиуса R_{max} фасонной фрезы на

значение мощности резания P_p возрастает с повышением плотности древесины. Так, для дуба изменение максимального радиуса фрезы с 80 до 160 мм вызвало увеличение мощности резания на 11 кВт, для березы – на 8,7 кВт, а для сосны – 7 кВт (рис. 3, а). Мощность резания в функции частоты вращения фасонной фрезы изменяется по линейной зависимости (рис. 3, б), при этом ее значение располагается в порядке возрастания для рассмотренных пород древесины: осина, сосна, лиственница, береза, дуб и ясень.

Ниже приведены уравнения, адаптированные к программной среде Advanced Grapher, которые характеризуют изменение мощности резания в функции частоты вращения режущего инструмента для сосны при трех различных режимах профильного фрезерования

$$1. P_p = (33 \times 1,43 \times 20 \times 5/30)(0,1 \times 2n/1000)80 \times \times \sin(100/(2 \times 80)), \text{ при } K_T = 33 \text{ Дж/см}^3, \\ a_{\text{нонр}} = 1,43; a_{cp} = 0,1 \text{ мм}, R_{PK} = 80 \text{ мм}, t = 5 \text{ мм}, \\ B = 100 \text{ мм}, \phi_g = 15^\circ, v_s = 20 \text{ м/мин.} \quad (23)$$

$$2. P_p = (33 \times 1,43 \times 25 \times 10/30)(0,1 \times 2n/1000)80 \times \times \sin(100/(2 \times 80)), \text{ при } K_T = 33 \text{ Дж/см}^3, \\ a_{\text{нонр}} = 1,43; a_{cp} = 0,1 \text{ мм}, R_{PK} = 80 \text{ мм}, t = 10 \text{ мм}, \\ B = 100 \text{ мм}, \phi_g = 15^\circ, v_s = 25 \text{ м/мин.} \quad (24)$$

$$3. P_p = (33 \times 1,43 \times 25 \times 20/30)(0,1 \times 2n/1000)80 \times \times \sin(100/(2 \times 80)), \text{ при } K_T = 33 \text{ Дж/см}^3, \\ a_{\text{нонр}} = 1,43; a_{cp} = 0,1 \text{ мм}, R_{PK} = 80 \text{ мм}, t = 20 \text{ мм}, \\ B = 100 \text{ мм}, \phi_g = 15^\circ, v_s = 25 \text{ м/мин.} \quad (25)$$

Возрастание мощности резания при увеличении частоты вращения фрезы объясняется тем, что последняя прямо пропорциональна скорости резания, входящей в формулу мощности в виде множителя в первой степени. Кроме этого, частота вращения n связана со средней толщиной срезаемого слоя a_{cp} обратной пропорциональной зависимостью [2]:

$$a_{cp} = \frac{a_{\text{max}}}{2} = \frac{S_Z}{2} \sin \phi_{\text{вых}} = \frac{S_M}{2zn} \sin \phi_{\text{вых}} \quad (26)$$

где a_{max} , a_{cp} – соответственно максимальная и средняя толщина срезаемого слоя;

$\phi_{\text{вых}}$ – угол выхода режущего клина из древесины;

S_M – минутная подача древесины;

z – число зубьев фрезы.

Из (26) следует, что при увеличении n уменьшается a_{cp} , что в свою очередь, приво-

дит к возрастанию удельной работы резания K_T . Параметр K_T входит в формулу мощности (2) и связан с P_p прямой пропорциональной зависимостью, поэтому увеличение n приводит к возрастанию мощности резания P_p .

Увеличение числа зубьев z фрезы приводит к возрастанию числа единичных резов в единицу времени и одновременно с этим к уменьшению средней толщины срезаемого слоя, а следовательно, к увеличению удельной работы резания K_T и мощности P_p . На значение мощности резания влияет также влажность (W , %) древесины. Приведенные выше графики мощности резания соответствуют профильному фрезерованию древесных заготовок влажностью $W = 12\text{--}15\%$.

Значения мощности резания при изменении влажности древесины различных пород приведены в таблице, данные которой соответствуют режиму профильного фрезерования отходов лесопиления: $K_T = 33 \text{ Дж/см}^3$; $a_{cp} = 0,1 \text{ мм}$, $R_{PK} = 80 \text{ мм}$, $t = 10 \text{ мм}$, $B = 100 \text{ мм}$, $\phi_g = 15^\circ$, $v_s = 20 \text{ м/мин}$. По приведенным выше зависимостям можно определить мощность резания и для других режимов профильного фрезерования.

Периферийные сегменты имеют длину 2–3 м, стандартом допускается сбежистость 10 мм на 1 м длины, что приводит к увеличению снимаемого припуска примерно на 30 мм в конце обработки сегмента. Вследствие столь значительного увеличения припуска мощность резания в конце фрезерования периферийного сегмента возрастает в разы. Так, при фрезеровании дуба в течение 10 с. расчетная мощность резания достигает 60,6 кВт, что сопряжено с опасностью поломки режущего инструмента и снижением качества обработанных поверхностей и др. недопустимых явлений. В этой связи была выдвинута гипотеза о необходимости применения автоматического регулирования мощности резания.

Таким образом, теоретически доказано, что процесс профильного фрезерования характеризуется большей мощностью резания по сравнению с цилиндрическим. Выдвинуты гипотезы о необходимости автоматического регулирования мощности фрезерования и о существенном размельчении снимаемого

**Влияние влажности отходов лесопиления на мощность
профильного фрезерования P_p , кВт**

Порода древесины	Влажность отходов лесопиления W , %				
	5..8	12...15	25...30	50...70	Более 70
Осина	11,6	10,5	10,0	9,5	8,4
Сосна	13,5	12,3	11,7	11,1	9,8
Лиственница	14,9	13,5	12,8	12,2	10,8
Береза	16,9	15,4	14,6	13,9	12,3
Дуб	21,0	19,1	18,1	17,1	15,3
Ясень	23,7	21,5	20,4	19,4	17,2

припуска при фасонном фрезеровании. Указанные положения и гипотезы нуждаются в экспериментальной проверке. Для этого проводили цилиндрическое и профильное фрезерование периферийных сегментов хвойных пород естественной влажности на спроектированном и изготовленном станке ПФП-100 [6, 7] при следующих режимах: скорость резания – 45 м/с, скорость рабочей подачи – 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 и 12 м/мин; припуск на обработку – 10–20 мм.

Для обработки использовали типовую сборную фрезу с механическим креплением режущих пластин из быстрорежущей стали Р6М5 с углом наклона $\omega = 0$ к оси вращения инструмента. Размеры фрезы: максимальный диаметр – 180 мм, минимальный диаметр – 160 мм, высота – 100 мм, радиус профиля $R_{pk} = 106,3$ мм [8]. Для скоростей подачи $v_s \leq 10$ м/мин расхождение теоретических и экспериментальных данных составило 4,2–5,1 %.

Сравнение результатов расчетов и экспериментов для более высоких скоростей рабочей подачи не представилось возможным из-за нестабильного протекания процесса профильного фрезерования периферийных сегментов, что подтвердило выдвинутую гипотезу о необходимости оснащения станка системой автоматического регулирования мощности фрезерования.

Для профильного фрезерования отходов лесопиления на указанных выше режимах резания мощность, потребляемая приводом главного движения, превышала на 6–22 % по сравнению с цилиндрическим фрезерованием. Эксперименты подтвердили также возможность более простой ориентации дре-

весных заготовок при направлении их в зону резания вершинным концом, вследствие чего направление заготовки в зону резания комлевым концом использовать нецелесообразно.

Проведена скоростная фотосъемка профильного и цилиндрического фрезерования отходов лесопиления. Использовали скоростную фотокамеру мод. Canon EOS 7D, диафрагма $f/5.6$, выдержка $1/8000$ с, скорость ISO-3200, фокусное расстояние – 50 мм. При цилиндрическом фрезеровании деформируемый слой древесины, подлежащий снятию, а также сформированная при этом стружка расположены параллельно режущему зубу фрезы. В зоне фрезерования во взвешенном состоянии постоянно находится мелкая стружка, при этом ее масса сравнительно небольшая, что подтверждается достаточно хорошей видимостью быстро вращающейся цилиндрической фрезы. В процессе профильного фрезерования в зоне резания во взвешенном состоянии находится значительно больший объем взвешенной мелкой стружки, что подтверждается увеличением количества светлых точек и значительным ухудшением видимости контура вращающейся фасонной фрезы. Деформируемый слой древесины искривляется в направлении, обратном кривизне вогнутой режущей пластины. Чем большее расстояние режущий клин проходит по дуге контакта, тем больше кривизна снимаемого слоя, а после выхода зуба из контакта с заготовкой размельченная стружка приобретает приблизительно U-образный криволинейный контур, и в таком виде стружка выбрасывается из зоны резания. Скоростная фотосъемка подтвердила более тонкое размельчение

снимаемого припуска, на что требуется подвод большей энергии в единицу времени. Искривление снимаемого слоя древесины в процессе профильного фрезерования объясняется различными скоростями движения элементов стружки по передней поверхности режущего клина: в окрестности каждого из торцов диаметр фасонной фрезы максимальный, в поперечной плоскости симметрии – минимальный, что является причиной различий скоростей резания, а, следовательно, скоростей скольжения стружки по режущей пластине.

Проводили также профильное фрезерование сбежистых заготовок из сосны на скоростях подачи, превышающих 10 м/мин. Вследствие значительного увеличения припуска (на 25–30 мм в конце обработки периферийного сегмента) мощность и сила резания возрастали настолько, что происходил срез древесины в местах контакта зубьев приводных валцов с установочной технологической базой заготовки. При дополнительном прижатии валцов к заготовке срез древесины не происходил, но наблюдалась интенсивная вибрация технологической системы и резкое ухудшение качества обработанных поверхностей. Эти результаты подтвердили ранее выдвинутую гипотезу о том, что реализация высокопроизводительного профильного фрезерования отходов лесопиления требует решения вопроса, связанного с автоматическим регулированием мощности резания.

Таким образом, научные положения и гипотезы, сформулированные в теоретической части работы, получили полное экспериментальное подтверждение, а полученная научная информация может использоваться при проектировании оборудования и процесса профильного фрезерования крупных отходов лесопиления.

Библиографический список

1. Амалицкий, В.В. Деревообрабатывающие станки и инструменты: учебник / В.В. Амалицкий, В.В. Амалицкий. – М.: ИРПО, Издательский центр «Академия», 2002. – 400 с.
2. Любченко, В.И. Резание древесины и древесных материалов: учебник для вузов. 3-е изд. / В.И. Любченко. – М.: МГУЛ, 2004. – 310 с.
3. Глебов, И.Т. Резание древесины: учеб. пособие / И.Т. Глебов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. – 228 с.
4. Рыкунин, С.Н. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учеб. пос. / С.Н. Рыкунин, Ю.П. Тюкина, В.С. Шалаев – М.: МГУЛ, 2003. – 225 с.
5. Пижурич, А.А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки: учебник для вузов / А.А. Пижурич. – М.: МГУЛ, 2004. – 375 с.
6. Пат. № 95589 Российская Федерация, МПК В27С, 1/00. Станок для первичной обработки горбыля / Фомин А.А., Гусев В.Г.: заявл. 11. 03. 2010; опубл. 10. 07. 2010. Бюл. № 19.
7. Пат. № 2443547 Российская Федерация, МПК В27С, 1/00. Способ первичной обработки горбыля / Фомин А.А., Гусев В.Г.: заявл. 11. 03. 2010; опубл. 27. 02. 2012. Бюл. № 6.
8. Фомин, А.А. Оборудование и технология механической обработки отходов лесопиления : монография / А.А. Фомин – М.: Машиностроение, 2013. – 206 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕРЛЕНИЮ

Е.С. ШАРАПОВ, доц. каф. деревообрабатывающих производств Поволжского ГТУ,
канд. техн. наук,

В.Ю. ЧЕРНОВ, асп каф. деревообрабатывающих производств Поволжского ГТУ

sharapov_evgeniy@mail.ru

Древесина является одним из наиболее распространенных материалов, широко используемых в строительстве, мебельном и целлюлозно-бумажном производствах. Ос-

новные преимущества древесины как материала: высокие прочностные характеристики, экологичность использования, устойчивость к воздействию окружающей среды, восста-

навливаемость ресурсов. При этом применение древесины в качестве конструкционного материала обусловлено ее уникальными физико-механическими характеристиками.

Безусловно, плотность древесины является одним из основных физических показателей, характеризующих ее механические свойства и качество. Однако, как установлено многими исследователями, эта величина непостоянная и может изменяться в широких пределах, не только в рамках одной породы, но и в отдельно растущем дереве (лесоматериале), годичном кольце. Большое влияние на величину плотности древесины оказывают ширина годичного слоя, процентное содержание поздней древесины, влажность древесины, пороки (сучки, грибные поражения, трещины, биологические повреждения) и др. [1, 2].

Определение изменчивости плотности древесины, характеризующей ее качество, актуально для многих направлений науки и производства, таких как выявление внутренних пороков в растущих деревьях, дендрохронологические и климатологические исследования, установление случаев незаконных рубок леса, определение товарности лесосырьевой базы, прочностных и качественных характеристик пилопродукции и изделий из древесины, а также экспертиза деревянных строительных конструкций различного назначения (сваи, столбы, стены, перекрытия, балки, дамбы, мосты и т.д.).

Сегодня существует множество способов определения плотности древесины [1]. Безусловно, наиболее перспективными являются неразрушающие способы определения плотности без нарушения целостности и функционирования исследуемого объекта, что наиболее актуально для растущих деревьев и деревянных строительных конструкций. Такие современные направления денситометрии древесины, как определение проникающей способности β -, γ - и рентгеновского излучений, хотя и позволяют определить внутрикольцевую изменчивость плотности, но в сочетании с томографией характеризуются стационарностью, высокой стоимостью оборудования и исследований, длительностью измерений. Ультразвуковые устройства и методики позво-

ляют повысить мобильность, однако в группе со многими другими методами они не представляют значений изменения внутрикольцевой плотности с высокой разрешающей способностью. Данные методы дают лишь общую картину изменения свойств либо единичное (среднее) значение величины плотности по направлению прохождения ультразвука (другого проникающего излучения) без точной оценки того, что находится «внутри».

Одним из современных методов определения свойств древесины, получившим развитие за рубежом в последние 20 лет, является метод измерения усилия сопротивления просверливанию древесины тонким буровым сверлом (Rinn 1996, 2008; Lear, Kasal and Anthony, 2010; Mattheck, C. and K. Betghe, 2010). На сегодняшний день исследователями и разработчиками устройств («Rinntech», «Instrument Mechanic Lab», Германия) представлены результаты, характеризующие метод измерения сопротивления сверлению как пригодный и достаточно точный для определения свойств древесины и прочностных характеристик деревянных конструкций (Gretchen, Bohumil and Ron, 2010; Rinn, 2008), определения внутренних гнилей в круглых лесоматериалах [15], определения изменения плотности древесины и плитных древесных материалов (Winnistorfer, Xu and Wimmer 1995). Часть работ посвящена анализу зависимости величины сопротивления сверлению (мощности на сверление) и плотности древесины, найденной с помощью радиационных методов [12]. Однако в данных работах усредненная величина усилия сопротивления просверливанию (мощности сверления) коррелировалась со средним значением плотности просверливаемых образцов, что, безусловно, снижает точность и, соответственно, ценность полученных результатов. При этом эксперименты проводились на образцах влажной древесины, без фиксирования фактической величины влажности, оказывающей непосредственное влияние как на сам процесс сверления, так и на величину плотности.

Целью исследований, результаты которых представлены в данной работе, являлось определение взаимодействия величины мощности микросверления и величины внут-

рикольцевой плотности древесины, определенной при использовании рентгеновского излучения на лабораторной установке DA-X фирмы «GreCon».

Общий план экспериментальных исследований включал несколько этапов:

- изготовление исследуемых образцов с учетом направления волокон древесины, их последующее кондиционирование;

- измерение профиля плотности (профиля внутрикольцевой плотности) образцов на лабораторной рентгеновской установке DA-X (рис. 1);

- измерение величины мощности на микросверление образцов при использовании тонкого бурового сверла (рис. 2);

- обработка экспериментальных данных: определение величины мощности холостого хода и мощности, расходуемой на трение сверла о стенки отверстия; определение коэффициентов кросс-корреляции и лагов наиболее существенной взаимосвязи между рядами данных изменения внутрикольцевых мощности на микросверление и плотности; регрессионный анализ данных;

- модернизация программного обеспечения измерительного шлейфа устройства для измерения сопротивления сверлению.

Методология исследований. Для проведения исследований из общего числа образцов были отобраны по 10 шт. трех пород заболонной древесины малой и средней плотности (рис. 2): сосна (*Pinus sylvestris*), бук (*Fagus sylvatica*), ясень (*Fraxinus excelsior*) с размерами 50×20×50 мм (рис. 2). Осуществлялось кондиционирование образцов до нормализованной влажности в климатической камере Binder KBF-240. С целью максимально точного определения внутрикольцевой плотности изготавливались радиальные образцы с параллельным расположением годичных слоев.

Профиль плотности образцов (годовых колец) определялся на лабораторной установке DA-X фирмы «GreCon» на кафедре технологии деревообработки и древесных композиционных материалов, университет Георга-Августа, Германия (2011). С учетом точных геометрических характеристик профиль плотности определялся сразу на нескольких образцах с разрешением

в 50 значений на миллиметр. Проникновение рентгеновского излучения происходило по центральному сечению образца (поз. 2 на рис. 2) по годичным слоям. Использование радиальных образцов и их просвечивание поперек либо в торец волокон (в зависимости от варианта изготовления образцов) позволило наиболее точно определить вариацию плотности в ранних и поздних зонах годичных слоев. Результаты измерений отображались и сохранялись на ЭВМ. С целью исключения потерь влажности после кондиционирования образцы транспортировались в вакуумных упаковках.

Исследование процесса микросверления образцов осуществлялось на запатентованной авторами экспериментальной лабораторной установке [3, 4]. Установка состоит из устройства, основными элементами которого являются электродвигатель вращения тонкого сверла и мотор-редуктор механизма его подачи, а также измерительный шлейф [5–7]. Номинальная скорость вращения бурового сверла 4100 ± 200 об./мин, номинальная скорость подачи – 420 мм/мин. Во время работы устройства данные о мощности на сверление поступают на ЭВМ. Для работы с данными разработана специальная программа в среде «LabVIEW», позволяющая принимать во внимание результаты экспериментальных исследований по тарировке и управлять данными. Одновременно с процессом сверления на ЭВМ происходит отображение графика изменения мощности, затрачиваемой на сверление в виде ряда данных, а также запись и сохранение данных в отдельный файл. Частота дискретизации сигналов – 1 кГц, что соответствует разрешению в 140 значений исследуемой величины на миллиметр (в соответствии с указанной выше скоростью подачи). В связи с этим, по нашему мнению (а также зарубежных исследователей [8–16]), процесс можно определить как «микросверление», ввиду частоты записи значений исследуемого параметра и размера получаемой при этом стружки. В схему управления сигналами для снижения неточности измерений, вызванной случайными выпадающими точками рядов данных, встроены фильтры скользящего среднего, рациональные параметры фильтров подобраны на основании отдельных серий опытов.

Проведенные предварительные исследования с использованием лабораторной экспериментальной установки показали значительную связь между мощностью на сверление (сопротивлением сверлению) и изменением физических (механических) свойств древесины в зависимости от размеров годовичных слоев, грибных поражений [7]. Хотя результаты измерений изменения мощности на сверление отображают реальное варьирование физико-механических свойств древесины с высокой разрешающей способностью, однако представление данных по величине плотности имеет большую ценность с научной и производственной точки зрения.

С целью повышения точности измерений при проведении исследований процесса микросверления лабораторная экспериментальная установка (рис. 1) и образцы (рис. 2) закреплялись неподвижно. Образцы просверливались точно по центру (поз. 3 на рис. 2) в плоскости прохождения рентгеновского излучения в радиальном направлении по ширине заготовки. Полученные данные в виде динамических рядов записывались в отдельные файлы.

Предварительные исследования процесса микросверления показали, что вначале на глубине сверления порядка 5–8 мм происходит закономерное плавное повышение мощности на сверление (если рассматривать общий тренд изменения мощности), связанное с «облегченным» выходом стружки из отверстия и увеличением сил трения концевика сверла о стенки отверстия. С учетом этого для получения более точных результатов перед исследуемым образцом вплотную устанавливался дополнительный образец – «прокладка» той же породы древесины толщиной около 20 мм. Тогда повышение общего тренда изменения мощности происходило во время сверления дополнительного образца, а при достижении сверлом исследуемого образца величина мощности достигала своего реального (действительного) значения. С целью определения мощности, затрачиваемой непосредственно на процесс микросверления, из данных вычитались значения мощности, расходуемой на холостой ход (вращение) сверла и мощности, затрачиваемой на трение хвостовика о стенки отверстия и стружку, при этом пред-

полагалось, что увеличение величины мощности на трение сверла происходит по линейному закону (рис. 3). Преобразования рядов данных осуществлялись в программных пакетах «MS Excel» и «Statistica 8.0».

Сопоставление данных, полученных на рентгеновской установке и устройстве для измерения сопротивления сверлению, реализовывалось при помощи программного пакета «Statistica 8.0». При первоначальном сравнении рядов данных обнаружилось незначительное смещение их относительно друг друга. В связи с этим определялись коэффициенты кросс-корреляции как самих рядов данных по образцам, так и данных по годовичным кольцам, отобранных для дальнейшего регрессионного анализа. На основании коэффициентов кросс-корреляций определялись лаги наиболее существенной взаимосвязи между рядами данных изменения внутрикольцевых мощности и плотности. После этого осуществлялись их смещение и построение совмещенных графиков рядов данных для всего образца и отдельно в пределах одного годовичного слоя (рис. 4).

Профили изменения величин мощности на микросверление и плотности древесины, полученные на рентгеновской установке, в целом совпадали, однако существовали участки, где их значения расходились без потерь общих трендов (минимумов, максимумов) изменений величин. На наш взгляд, это связано с тем, что при исследовании плотности древесины рентгеновское излучение проникало по всей толщине образца и, следовательно, определялась усредненная мощность по толщине, в то время как буровое сверло проходило по центру исследуемых образцов. Поэтому было принято решение при проведении регрессионного анализа использовать данные лишь по годовичным слоям образцов. Регрессионный анализ производился в программной среде «TableCurve». С целью упрощения использования результатов и общего характера зависимостей данных для описания изменения величин плотности и мощности, затрачиваемой на микросверление, применялась линейная функция с одной переменной вида $y = a + bx$, где x – мощность на сверление



Рис. 1. Лабораторная установка DA-X для контроля объемной плотности древесины и древесных материалов, каф. технологии деревообработки и древесных композиционных материалов, университет Георга-Августа, Германия (Abteilung Holztechnologie und Holzwerkstoffe, Georg-August-Universität Göttingen) (слева); устройство для измерения сопротивления просверливанию (мобильное устройство для диагностики состояния древесины), каф. деревообрабатывающих производств ПГТУ (справа)

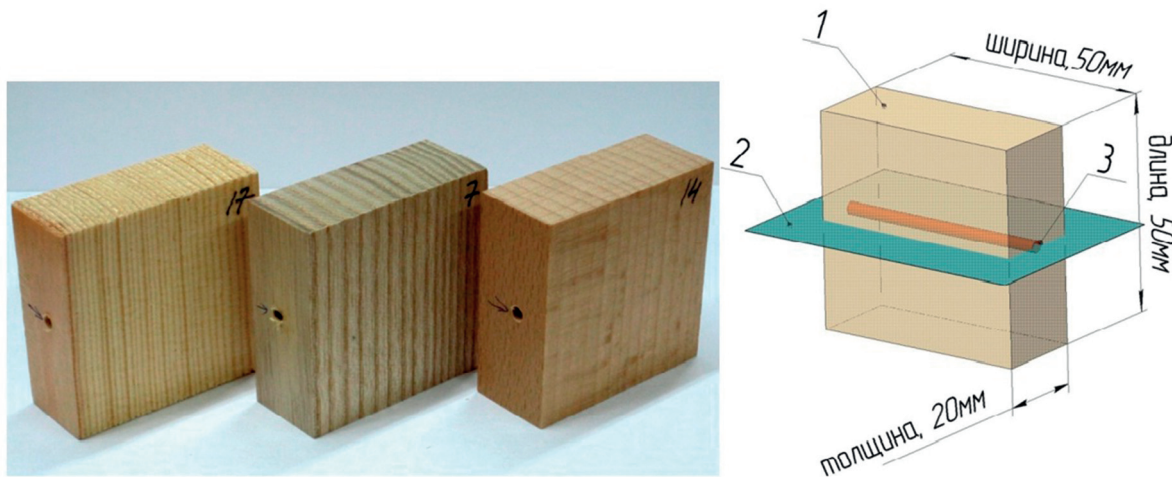


Рис. 2. Исследуемые радиальные образцы с «максимально параллельным» расположением годичных слоев, слева направо: сосна (*Pinus sylvestris*), бук (*Fagus sylvatica*), ясень (*Fraxinus excelsior*) (слева); геометрические размеры образцов 1 с плоскостью прохождения рентгеновского излучения 2 и траекторией просверливания 3 (справа)

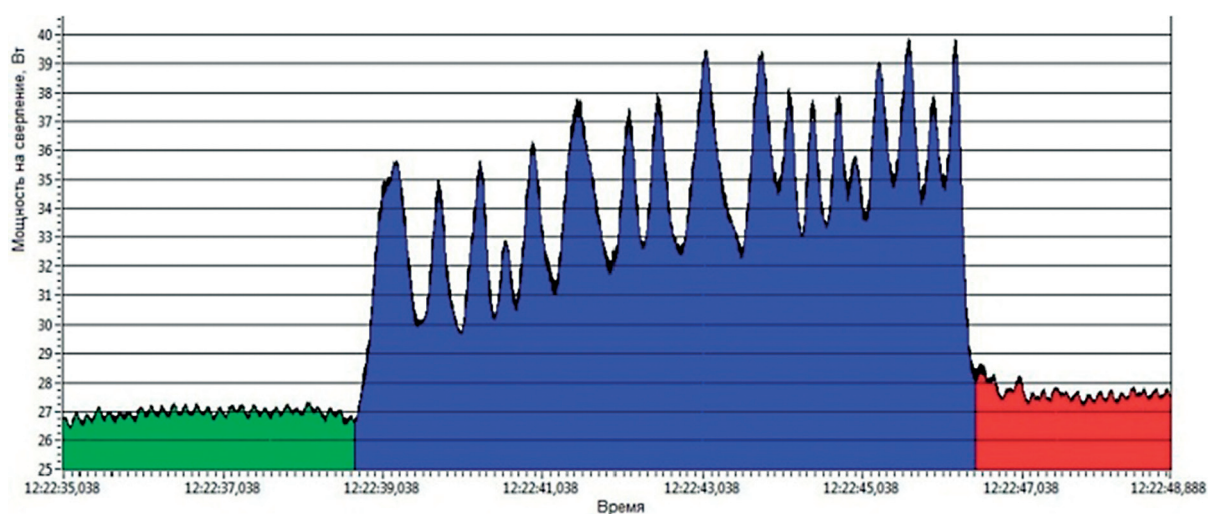


Рис. 3. График изменения величины мощности при сверлении образца сосны (*Pinus sylvestris*) (слева направо). Диапазон отличий величин мощности холостого хода до (зеленая область) и после просверливания (красная область) составляет около – 1–1,5 Вт; для образцов ясеня и бука порядка – 2,5–3,5 Вт

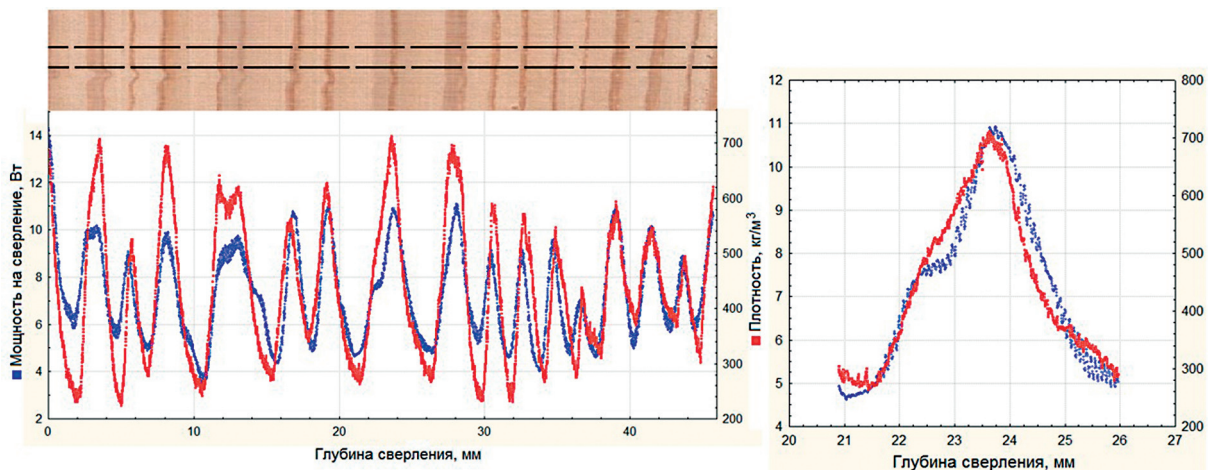


Рис. 4. Торцовый срез одного из образцов сосны (*Pinus sylvestris*) (пунктирными линиями показана траектория прохождения сверла) и графики изменения его плотности (ρ_{12}), полученной на рентгеновской установке (красный цвет), а также мощности, затрачиваемой на сверление, $W = 12\%$ (синий цвет) (слева); то же самое по одному годичному слою (справа)

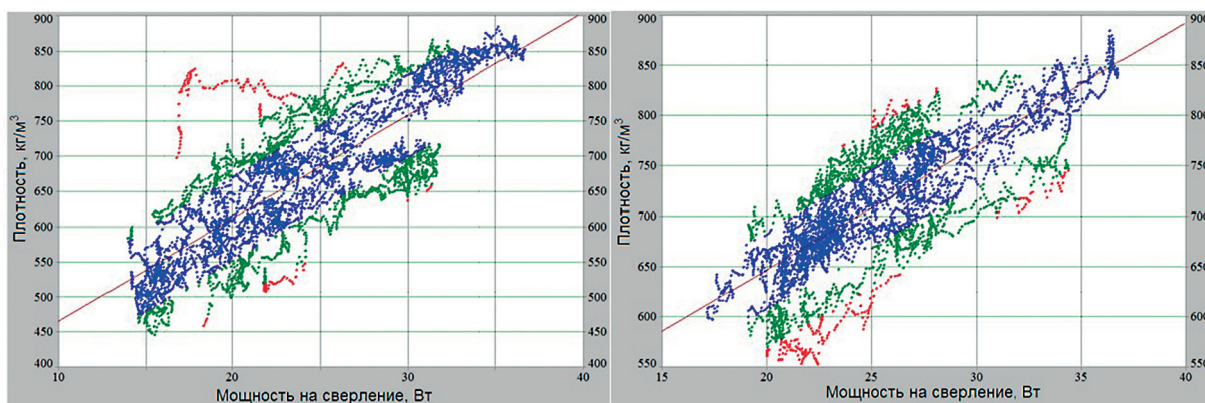


Рис. 5. Взаимодействие данных по плотности древесины и мощности на микросверление по одному годичному кольцу всех образцов ясеня (*Fraxinus excelsior*) (слева) и бука (*Fagus sylvatica*) (справа); синим цветом обозначены данные в пределах 1 стандартного отклонения (SD), зеленым – 2 SD, красным – 3 и более SD

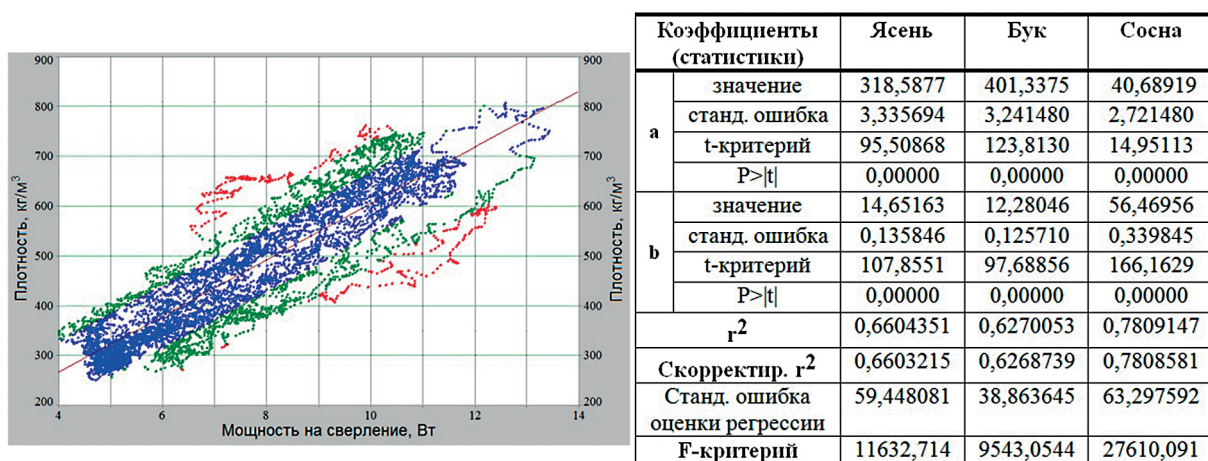


Рис. 6. Взаимодействие данных по плотности древесины и мощности на микросверление по одному годичному кольцу всех образцов сосны (*Pinus sylvestris*) (слева) и таблица коэффициентов и основных статистик регрессионных моделей (справа)

($W = 12\%$), Вт; y – плотность древесины, ρ_{12} кг/м³. Результаты исследований представлены на рис.5, 6. Коэффициенты функций a и b для всех пород, а также основные статистики приведены в таблице на рис. 6.

С использованием полученных результатов было модернизировано программное обеспечение управления данными измерительного шлейфа устройства для измерения сопротивления сверлению с целью вывода данных по величине плотности (ρ_{12}).

Проведены сравнительные исследования методик определения плотности древесины с применением рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению; выявлены взаимосвязи величин мощности при микросверлении древесины ($W = 12\%$) и плотности древесины (ρ_{12}) при использовании рентгеновского излучения по трем породам: сосна (*Pinus sylvestris*), бук (*Fagus sylvatica*), ясень (*Fraxinus excelsior*). Определение свойств (плотности) древесины с помощью устройства для измерения сопротивления сверлению дает не меньшую точность по сравнению с высокоточным устройством, использующим рентгеновское излучение.

Снижение квадрата коэффициента корреляции при описании взаимодействия исследуемых величин по образцам древесины ясени и бука, на наш взгляд, связано с различием в процессах стружкообразования. При микросверлении сосны стружка имеет более крупные фракции и, возможно, это способствует ее лучшему перемещению и прессованию в отверстие. Напротив, у ясени и бука стружка имеет мелкую, порошкообразную фракцию, которая уплотняется в отверстии, тем самым увеличивая силы трения. Дальнейшие исследования в обозначенном направлении будут осуществляться путем использования других пород древесины, а также путем выявления влияния величины влажности древесины на процесс микросверления.

Библиографический список

1. Полубояринов, О.И. Плотность древесины / О.И. Полубояринов. – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 160 с.
2. Уголев, Б.И. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.И. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 2001. – 368 с.
3. Устройство для измерения сопротивления сверлению : пат. 95128 Рос. Федерация: МПК 6 G01 N3/40 / Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Бычкова Т.В. № 2010106686/22 ; заявл. 24.02.2010 ; опубл. 10.06.2010.
4. Устройство для измерения сопротивления сверлению : пат. 2448811 Рос. Федерация: МПК 6 B23B 25/06 / Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Чернов Ю.В. № 2010145313/28 ; заявл. 08.11.2010 ; опубл. 27.04.2012.
5. Шарапов, Е.С. Исследование процесса сверления древесины с использованием устройства сбора данных NI USB 6008 / Е.С. Шарапов, В.Ю. Чернов // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2012. – №6. – С. 96–100.
6. Шарапов, Е.С. Обоснование конструкции устройства для исследования свойств древесины сверлением / Е.С. Шарапов, В.Ю. Чернов // Известия СПбГЛТА. – 2011. – № 195. – С. 134–142.
7. Шарапов, Е.С. Результаты экспериментальных исследований свойств древесины круглых лесоматериалов по радиусу ствола / Е.С. Шарапов, А.С.Торопов, В.Ю. Чернов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 2. – 2012. – С. 162–167.
8. Gretchen, L. In situ assessment of structural timber / L. Gretchen, K. Bohumil, A. Ron // State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 215-AST. 2010. P. 51–57.
9. Kasal, B. In situ assessment of structural timber / B. Kasal, T. Tannert // RILEM Technical Committee 215-AST. 2010. P. 1-114.
10. Mattheck, C. VTA – Visual tree defect assessment / C. Mattheck, K. Betghe // Proc. 9th Int. Mett. Non-destructive testing, Madison, September 1993.
11. Rinn, F. Resistographic visualization of tree-ring density variations / F. Rinn // Tree Rings, Environment and Humanity, Radiocarbon. 1996. P. 871–878.
12. Rinn, F. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species / F. Rinn, F.-H. Schweingruber, E. Schdr // Walter de Gruyter Berlin-New York. 1996. P. 303–311.
13. Rinn, F. Ein neues verfahren zur direkten messung der holzdichte bei Laub- und Nadelholzern / F. Rinn, B. Becker, B. Kromer // Dendrochronologia №7, 1990. P. 159–168.
14. Rinn, F. Erfassung und documentation des zustands holzerner konstruktionen / F. Rinn // Erfahrungsbericht aus 20 Jahren Anwendungspraxis. Heidelberg. 2008, 17 p.
15. Wang, X. Nondestructive evaluation of incipient decay in hardwood logs / X. Wang, J. Wiedenbeck, R.J. Ross et al. // Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-162. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2005, 11p.
16. Winistorfer, P.M. Application of a drill resistance technique for density profile measurement in wood composite panels / P.M. Winistorfer, W. Xu, R. Wimmer // Forest Products Journal №45(6). 1995. P. 90–93.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОДОЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ И ПИЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА

Е.С. ШАРАПОВ, доц. каф. деревообрабатывающих производств Поволжского ГТУ,
канд. техн. наук,

А.С. КОРОЛЕВ, асп. каф. деревообрабатывающих производств Поволжского ГТУ

sharapov_evgeniy@mail.ru

Древесина сегодня является одним из наиболее распространенных материалов, широко используемых в строительстве и других отраслях народного хозяйства. Основными преимуществами древесины как материала являются восстанавливаемость ресурсов, экологичность использования и высокие прочностные характеристики при относительно небольшой плотности. Однако древесина и материалы на ее основе подвержены воздействию дереворазрушающих грибов, снижающих ее механические и эксплуатационные характеристики. В этой связи разработаны и исследуются различные способы защиты древесины и древесных материалов. Одной из актуальных на сегодняшний день технологий повышения биологической стойкости древесины является ее термическая модификация. Древесина проходит процесс выдержки при высоких температурах от 180 °С [1, 2, 9–12]. Главной особенностью термически модифицированной древесины (ТМД) является сочетание высокой биологической стойкости, физико-механических характеристик и экологичности натуральной древесины. Эксплуатационные характеристики и биологическая стойкость материала существенно повышаются [10–12], также увеличиваются срок службы и теплоизоляционные свойства древесины [9–12], что способствует повышению спроса на данный продукт на рынке строительных материалов. Однако, как отмечают многие отечественные и зарубежные исследователи, одним из основных недостатков термически модифицированной древесины является незначительное снижение некоторых механических характеристик, зависящее от максимальной температуры и длительности процесса обработки [1, 9–12].

Исследованию процессов механической обработки древесины и древесных материалов посвящено множество работ, здесь необходимо

отметить заслуги отечественных научных школ по изучению процессов резания [3, 4]. Термически модифицированная древесина – материал относительно новый и малоизученный. Исследования процессов обработки термически модифицированной древесины резанием представлены крайне незначительно. В частности, существуют работы по изучению процессов элементарного резания и качества поверхности обработки термически модифицированной древесины березы (*Bëtula pendula*) [5, 6].

Целью исследований, результаты которых представлены в данной работе, являлось определение взаимосвязи мощности, затрачиваемой на процессы продольного цилиндрического фрезерования и пиления термически модифицированной древесины дуба (*Quÿrcus rybur*), с максимальной температурой ее обработки (классом модификации).

Оборудование и инструмент, использованные в эксперименте: комбинированный деревообрабатывающий станок JET Performax РКМ–300, устройство автоподдачи с бесступенчатым изменением скорости, измерительный шлейф на основе устройства сбора данных (УСД) «National Instruments» USB–6008, электронный штангенциркуль «Matrix», металлическая линейка, индикатор часового типа ИЧ–10–2М, ЭВМ с установленным лицензионным программным комплексом «LabVIEW 8.6».

Для осуществления экспериментальных исследований процессов продольного цилиндрического фрезерования и пиления ТМД круглой пилой был разработан измерительный шлейф (рис.1), основу которого составляют устройство сбора данных «National Instruments» USB–6008, датчик измерения переменного напряжения ДНТ–03 и разработанный модуль измерения переменного тока, основанный на мос-

товой схеме выпрямления сигнала. УСД служит для преобразования сигналов, поступающих с датчика измерения переменного напряжения и модуля измерения переменного тока, передачи данных на ЭВМ, где с помощью разработанной блок-диаграммы (рис. 2) в среде графического программирования «LabVIEW» осуществляются математические преобразования, графическое отображение, запись и хранение результатов исследований [7, 8].

При разработке блок-диаграммы в среде управления данными «LabVIEW» использованы экспресс-виртуальные приборы (ВП), обеспечивающие управление данными, поступающими с датчика измерения переменного напряжения и модуля измерения переменного тока. На рис. 2 (слева) изображен виртуальный прибор определения мощности на резание, расходуемой электроприводом экспериментальной лабораторной установки.

Разработанная блок-диаграмма осуществляет фильтрацию цифровых сигналов (FFT-фильтр), поступающих с УСД, по потребляемому электроприводом току и напряжению сети и математические преобразования данных с учетом результатов предварительных исследований и тарировки датчика переменного напряжения и модуля измерения переменного тока. Тарировка датчика переменного напряжения и разработанного модуля измерения переменного тока осуществлялась с помощью цифрового мультиметра UT-60G (порт RS-232C). Отдельная серия опытов проводилась для поиска взаимосвязи значения коэффициента мощности $\cos\phi$ с величиной электрического тока, потребляемого электродвигателем установки. Значения величин мощности, потребляемой приводом, определялись перемножением действующих значений переменного тока, напряжения сети и коэффициента мощности в режиме реального времени.

Лицевая панель виртуального прибора состоит из трех цифровых осциллографов и элементов управления (рис. 2). В процессе продольного фрезерования и пиления ТМД дуба круглой пилой на цифровых осциллографах отображались и сохранялись данные силы переменного тока, напряжения сети и мощности на резание с учетом мощности хо-

лостого хода. На рис. 2 показана лицевая панель виртуального прибора ВП с цифровыми осциллографами, отображающими в реальном времени силу переменного тока, напряжения сети и мощность, потребляемую электроприводом (пиление ТМД дуба при максимальной температуре модификации 200 °С, скорости подачи 3 м/мин и высоте пропила 30,4 мм).

Согласно методике проведения исследований, первоначально осуществлялся процесс термической обработки древесины дуба по трем классам модификации (режимы обработки при максимальной температуре в 180 °С, 200 °С и 220 °С). С учетом направления волокон и конструктивных особенностей лабораторной установки были изготовлены образцы с варьируемой высотой пропила h (25,4; 30,4 и 36,2 мм) для исследования процесса пиления ТМД дуба круглой пилой, а также образцы для исследования процесса продольного цилиндрического фрезерования с постоянной шириной обработки в 75 мм. Образцы были выдержаны до равновесной влажности в условиях отапливаемого помещения.

Исследования процессов механической обработки ТМД осуществлялись на экспериментальной лабораторной установке с номинальной мощностью электропривода 2100 Вт и частотой вращения вала 4200 об./мин. Образцы подавались при помощи устройства автоподачи с номинальной мощностью привода 160 Вт и фиксированными скоростями, значение глубины фрезерования выставлялась на установке при помощи индикатора (таблица, рис. 1), а высота пропила фиксировалась при помощи электронного штангенциркуля. Пиление осуществлялось плоской дисковой пилой с зубьями, оснащенными пластинками из твердого сплава, диаметром 250 мм, толщиной пропила 3 мм, с количеством зубьев 32 шт. Фрезерование осуществлялось плоскими ножами с прямолинейной режущей кромкой при диаметре резания 74 мм, количество ножей 3. В ходе эксперимента использовались периодически затачиваемые ножи из стали марки Х6ВФ. Контурный угол резания при фрезеровании составлял 48°, при пилении 67°. На основе результатов предварительных экспериментов и объема исследуемого материала

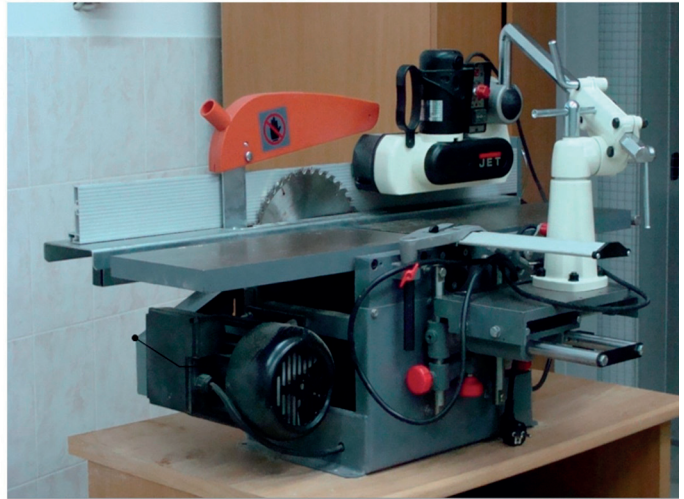
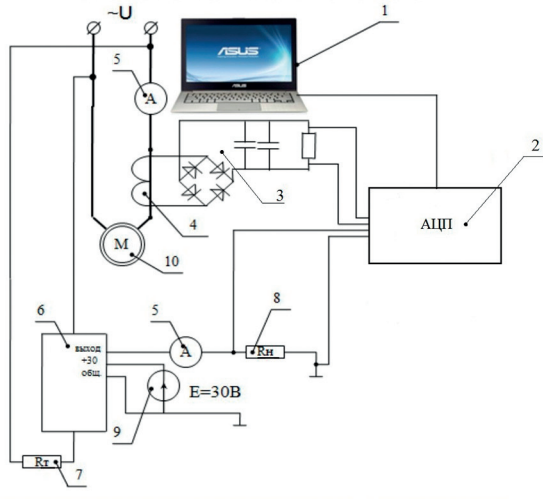


Рис. 1. Схема измерительного шлейфа (слева): 1 – ЭВМ, 2 – устройство сбора данных, 3 – модуль определения переменного тока, 4 – трансформатор тока ТОП-0,66 10А/5А, 5 – амперметр, 6 – датчик переменного напряжения ДНТ-03, 7 – внешнее токозадающее сопротивление, 8 – нагрузочное сопротивление, 9 – источник питания датчика переменного напряжения, 10 – электродвигатель; лабораторная установка (справа)

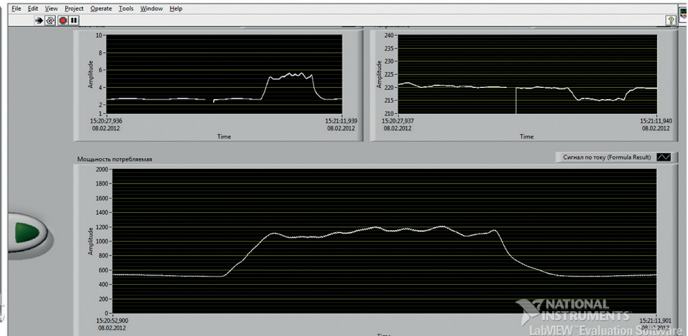
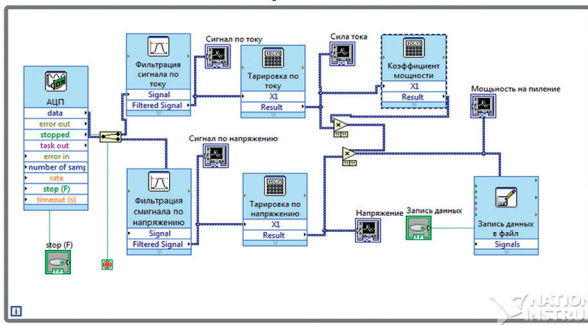


Рис. 2. Блок-диаграмма виртуального прибора для исследования процессов механической обработки древесины (слева); лицевая панель виртуального прибора для исследования процессов механической обработки древесины (справа)

количество повторных опытов было принято равное трем.

Исходя из анализа факторов, влияющих на энергосиловые параметры процессов механической обработки и технических характеристик лабораторной экспериментальной установки, были выбраны варьируемые

Т а б л и ц а

Наименование и уровни варьирования факторов

№	Наименование фактора	Уровни варьирования		
X_1	Глубина фрезерования, мм	1	1,5	2
X_2	Высота пропила, мм	25,4	30,4	36,2
X_3	Скорость подачи, м/мин	2	3	4

факторы эксперимента, а также пределы их варьирования для продольного цилиндрического фрезерования и для продольного пиления круглой пилой (таблица). Было принято решение о постановке классического эксперимента.

Математические преобразования, графическое представление и статистическая обработка результатов исследований осуществлялись в программных комплексах «MSExcel» и «Statistica 8.0».

Обобщенные результаты экспериментальных исследований процесса продольного пиления и цилиндрического фрезерования ТМД дуба представлены на «Box plot» графиках, рис. 3–5:

По результатам исследований можно предположить, что использование разрабо-

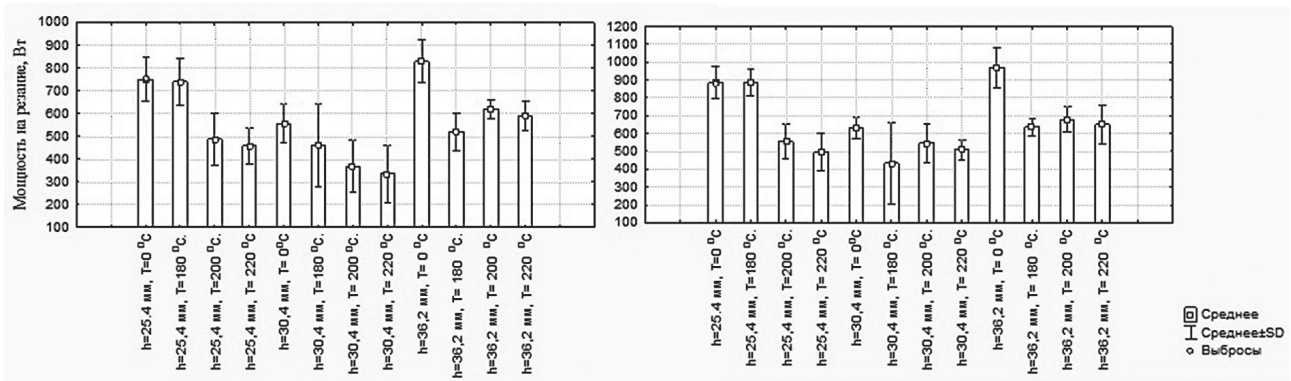


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований процесса пиления термически модифицированной древесины дуба при скорости подачи 2 м/мин (слева), 3 м/мин (справа)

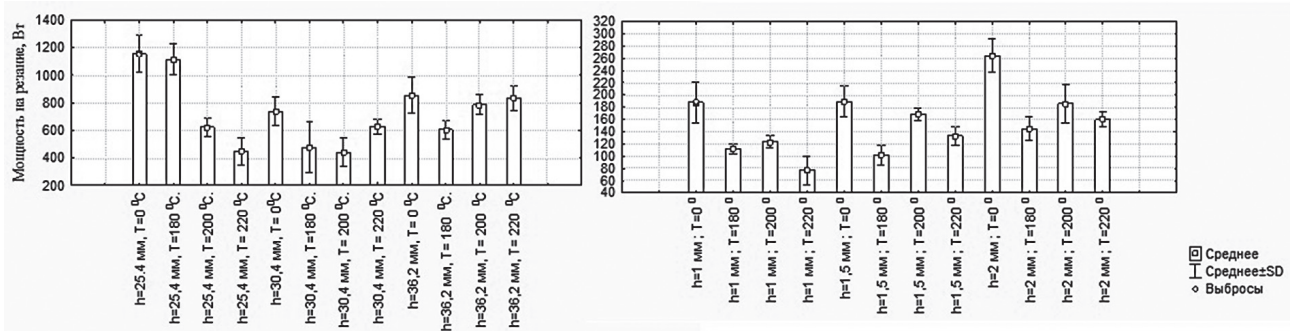


Рис. 4. Результаты экспериментальных исследований процесса пиления термически модифицированной древесины дуба при скорости подачи 4 м/мин (слева); фрезерования термически модифицированной древесины дуба при скорости подачи 2 м/мин (справа)

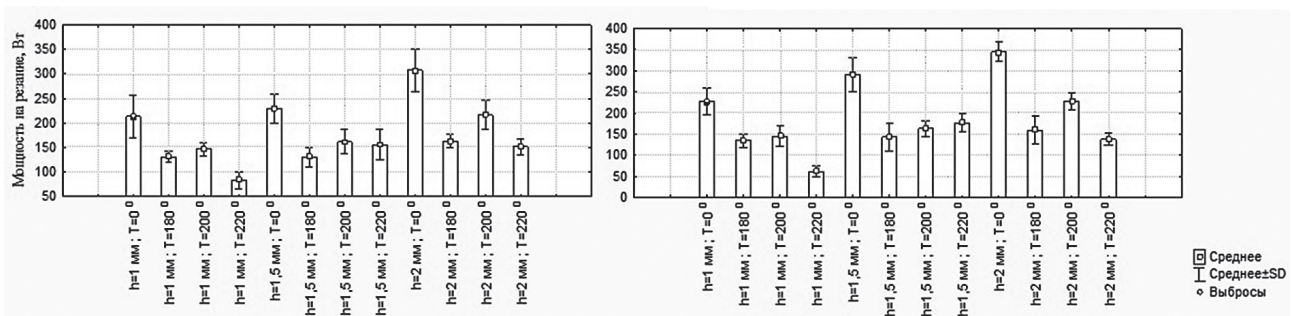


Рис. 5. Результаты экспериментальных исследований процесса фрезерования термически модифицированной древесины дуба при скорости подачи 3 м/мин (слева), 4 м/мин (справа)

танного измерительного шлейфа на основе УСД «National Instruments» USB–6008 позволяет наглядно и с высокой точностью определять энергосиловые параметры процессов механической обработки древесины и древесных материалов.

На основании того, что полученные данные величин мощности на пиление и фрезерование ТМД не подчиняются распределению Гаусса, но объем выборок был значителен ($n > 6000$), для их анализа применялась параметрическая статистика. Был использован дисперсионный анализ – сравнение сред-

них значений выборок по F-критерию и однородности их дисперсий по критерию Левена (95-процентный доверительный интервал). Результаты обработки данных подтвердили статистически значимую разницу всех групп выборок экспериментов. При повышении максимальной температуры процесса термической модификации древесины дуба наблюдается статистически значимое снижение мощности на ее продольное пиление круглой пилой при различных скоростях подачи и высоте пропила (таблица) в среднем на 7,2% для древесины дуба, модифицированной при

максимальной температуре 180 °С; 14 % и 21 % соответственно для древесины дуба, модифицированной при 200 °С и 220 °С, по сравнению с немодифицированной. Для процесса продольного фрезерования при различных скоростях подачи и глубины фрезерования (таблица) наблюдается снижение мощности в среднем на 44 % для древесины дуба, модифицированной при максимальной температуре 180 °С; 30 % и 50 % соответственно для древесины, модифицированной при 200 °С и 220 °С, по сравнению с немодифицированной.

Важным фактором являются исходные физико-механические свойства древесины (до процесса термообработки), оказывающие непосредственное влияние на свойства ТМД, что подтверждается снижением мощности на пиление древесины дуба в ходе экспериментов при высотах пропила 30,4 мм и 36,2 мм.

Развитие исследований в обозначенном направлении будет осуществляться путем использования других пород древесины, модернизации существующей теории резания применительно к ТМД и определения взаимосвязей энергосиловых характеристик процессов обработки резанием с основными физико-механическими свойствами ТМД.

Библиографический список

1. Владимирова, Е.Г. Технология производства заготовок из термически модифицированной древесины: дис. ... канд. техн. наук / Е.Г. Владимирова. – М., 2012. – 22 с.
2. Сафин, Р.Р. Разработка технологии и аппаратурно-го оформления термомодифицирования древесины в жидкостях / Р.Р. Сафин, Е.А. Белякова, Р.А. Халитов, Е.И. Байгильдеева // Вестник Казанского технического ун-та. – Казань, 2012. – № 3. – С. 131–133.
3. Любченко, В.И. Резание древесины и древесных материалов: учебное пособие для вузов / В.И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.
4. Бершадский, А.Л. Резание древесины: учебное пособие / А.Л. Бершадский. – Минск: Вышэйш. школа, 1975. – 304 с.
5. Шарапов, Е.С. Экспериментальные исследования процесса резания термически модифицированной древесины березы / Е.С. Шарапов, Е.Ю. Разумов, А.С. Королев, Д.А. Попов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 3. – С. 125–128.
6. Шарапов, Е.С. Исследование шероховатости поверхности резания термически модифицированной древесины березы / Е.С. Шарапов, А.С. Королев, Д.А. Попов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 5. – С. 118–121.
7. Тревис, Дж. LabVIEW для всех: пер. с англ. Н.А. Клушин / Джеффри Тревис. – М.: ДМК Пресс; Прибор Комплект, 2005. – 544 с.
8. Шарапов, Е.С. Результаты экспериментальных исследований свойств древесины круглых лесоматериалов по радиусу ствола / Е.С. Шарапов, А.С. Торопов, В.Ю. Чернов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 2. – С. 162–168.
9. Militz, H. (2002). Thermal Treatment of Wood: European Processes and Their Background. IRG/WP 02-40241, 33rd Annual Meeting, 12–17 May, Cardiff-Wales, 4: 1–17.
10. Hill, C.A.S. (2006). Wood modification - chemical, thermal and other processes. Chichester, UK: John Wiley and Sons.
11. Boonstra, M. J. (2008). A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. dissertation in cosupervision Ghent University and Universitit Henry Poincaré - Nancy 1,297 p.
12. Finnish Thermo Wood Association (2003). ThermoWood Handbook. Helsinki, Finland.

РАСЧЕТ СТРУНЫ ГИТАРЫ АРТ. 386 МЕТОДОМ СИЛ

В.И. КОРОЛЕВ, *проф., д-р техн. наук,*

М.И. ВАСИЛЬЕВ, *доц. каф. технической механики МГУЛ, канд. техн. наук*

mvasilev@mgul.ac.ru

При конструировании музыкальных инструментов выходными параметрами являются частота основного тона, тембр и звуковое давление. Тембром называется спектр частот волнового цуга, ограниченный огибающей и воспринимаемый человеческим ухом. Тембр

гитары арт. 386, образуемой струной и декой, например, для открытой струны ре большой октавы насчитывает 5 гармоник [1], причем 3 гармоники имеет струна и 3 гармоники дека. С учетом того, что третья гармоника струны и первая гармоника деки совпадают, т.к. их час-

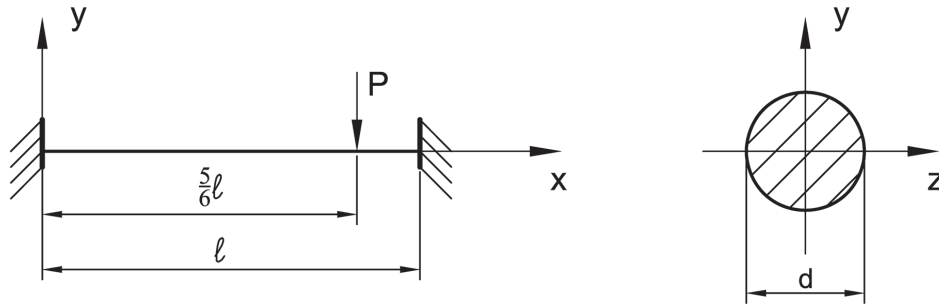


Рис. 1. Диаметр и длина струны

тота равна 220 гц (ля малой октавы), то в волновом цуге мы наблюдаем 5 гармоник. Поэтому диаметр и длину струны рассчитывают по 3-ей гармонике спектра. По конструктивным соображениям в качестве заданной системы струну можно представить в виде 3 раза статически неопределимой балки.

Извлечение звука в открытой струне производится щипком по третьей форме колебаний. Формой колебаний активного вибратора (струна, дека и т.п.) называется форма изогнутой оси стержня или срединной плоскости пластины (оболочки), соответствующая определенной

частоте. В связи с вышеизложенным заданную систему открытой струны можно представить в виде расчетной системы (рис. 2).

На основании анализа расчетной системы, зная $P_{кр}$, можно определить силу P по теореме о взаимности работ (теорема Бетти)

$$P \cdot u = P_{кр} \cdot v$$

Положив $u=v=1$, получим $P=P_{кр}$. Поскольку $P_{кр}$ соответствует третьей форме колебаний, то ее можно определить по Эйлеру. Отсюда следует, что

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot E \cdot J_{min}}{l^2}$$

тогда

$$P_{кр} = \frac{9\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{l^2}$$

Рассмотренная выше расчетная система (рис. 2,б), представляет собой два раза статически неопределимую балку. Но поскольку струна конечна и угол раскрытия шарнира равен нулю, т.е. $X_2=0$, можно перейти к расчетной системе [2], (рис. 2,в) один раз статически неопределимой балки. Данная задача решается известным в строительной механике методом сил. Каноническое уравнение метода сил можно представить в следующем виде

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1p} = 0. \quad (1)$$

Единичное и грузовое перемещения δ_{11} и Δ_{1p} определяем способом Верещагина. Т.о. раскрыв статическую неопределимость, найдя X_1 , переходим к решению уравнения Эйлера

$$v'' + kI \cdot v = 0. \quad (2)$$

Поскольку v представляет собой волновую функцию и она неизвестна, то определяем ее методом Мора

$$v = \sum_{i=1}^2 \int_0^{l_i} \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot J_{min}} dx +$$

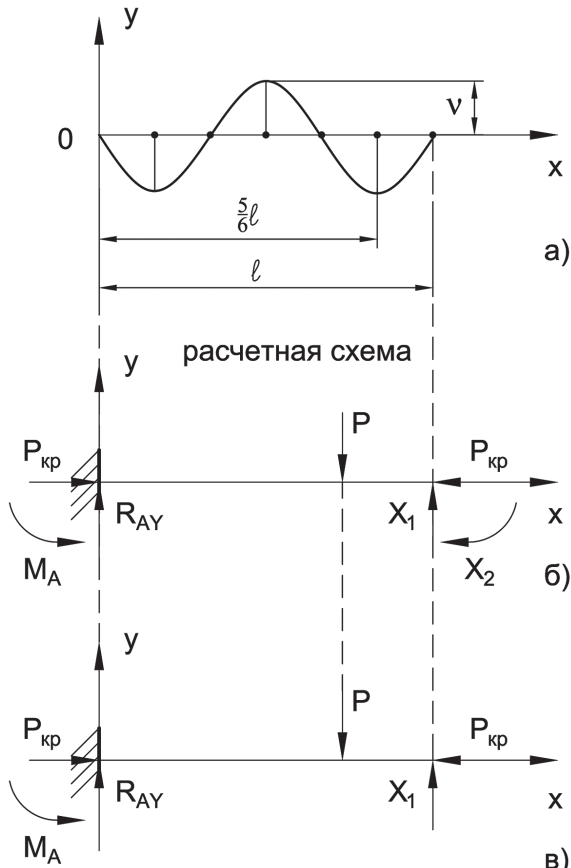


Рис. 2. Расчетная система: а – форма колебаний; б, в – расчетная схема

$$+ \sum_{i=1}^2 \int_0^{l_i} K_y^\phi \cdot \frac{Q_y^p \cdot Q_y^l \cdot dx}{G \cdot F} + \sum_{i=1}^2 \int_0^{l_i} \frac{N_p \cdot N_l \cdot dx}{EF}, \quad (3)$$

где K_y^ϕ – коэффициент формы поперечного сечения.

Для круглого поперечного сечения $K_y^\phi = 10/9$ [3]. Т.к. струна имеет постоянную жесткость, то ν была определена способом Верещагина и ее можно представить в виде

$$\nu = 0,038\pi^2 \cdot L. \quad (4)$$

Анализируя выражение (4), мы видим, что $\nu = \text{const}$ и решать данное уравнение (2) можно методом непосредственного интегрирования при соответствующих граничных условиях. Это позволяет также решать краевую задачу по расчету струны методом статической аналогии. Диаметр струны, форму колебаний и скорость звука можно получить из решения уравнения четвертого порядка, подставив в него подинтегральную функцию, соответствующую расчетной системе (рис. 2,в).

В общем виде данное уравнение может быть записано следующим образом

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[EJ_z \cdot \frac{d^2 \nu}{dx^2} \right] = p^2 \cdot \rho \cdot F \cdot \nu(x). \quad (5)$$

Функцию прогибов $\nu(x)$ мы получим, проинтегрировав данное уравнение четыре раза при соответствующих граничных условиях и сохраняя плавность и непрерывность функции.

$$\nu(x) = \frac{p^2 \cdot \rho \cdot F}{E \cdot J_z} \int \int \int \int \nu(x) dx + \frac{A_1 \cdot x^3}{6EJ_z} + \frac{A_2 \cdot x^2}{2EJ_z} + \frac{A_3 \cdot x}{EJ_z} + \frac{A_4}{EJ_z}, \quad (6)$$

где A_1, A_2, A_3, A_4 – постоянные интегрирования.

В нашем случае, в соответствии с расчетной схемой (рис. 2,в), мы видим, что балка имеет 2 участка. Поэтому, чтобы подтвердить правильность выбора расчетной схемы, найдем угол поворота на конце расчетного участка струны, тогда получим

$$\nu'_{II(0)} = \text{infin} \quad (7)$$

Следовательно направление $R_{кр}$ на расчетной схеме установлено правильно и угол поворота равен нулю. Это говорит о том, что струна излучает звук в поперечном направлении.

Исходя из вышеизложенного, для того чтобы получить решение в замкнутом виде и найти диаметр струны и скорость звука, соответствующую заданной форме колебаний, приравняем углы поворота в точке, где производится щипок, тогда

$$\nu'_{I}(5/6l) = \nu'_{II}(5/6l). \quad (8)$$

Поскольку мы рассматриваем действительную часть решения задачи, то мнимую часть отбрасываем и в соответствии с (8) для струны, например, длиной 0,795м получаем диаметр струны $d = 0,91 \cdot 10^{-3}$ м и скорость звука $C_3 = 997,59$ м/с, которая соответствует третьей гармонике спектра в материале. Сделав проверку по скорости звука и вязкости материала по выражению для прогибов

$$\nu_I(5/6l) = \nu_{II}(5/6l) \quad (9)$$

получим, что погрешность вычислений скорости звука в нашем случае составляет 0,245 %. Следовательно, решение задачи в замкнутом виде получено правильно.

В соответствии с принципом суперпозиции, для того чтобы получить амплитудно-частотную характеристику струны гитары, приняв в качестве расчетной схемы изображенную на (рис. 2,в), необходимо решить задачу в этой же последовательности для второй и первой форм колебаний. Имея амплитудно-частотную характеристику, можно определить звуковое давление, создаваемое струной по обобщенной теории Рэлея, Кармана, Жуковского [4].

В реальной струне угол поворота в месте закрепления струны в подставке возникает за счет зазора между сопрягаемыми поверхностями струны и отверстия в подставке.

По конструктивным соображениям его убирают углом наклона участка струны в месте закрепления в подставке гитары.

Библиографический список

1. Васильев, М.И. К вопросу о настройке музыкальных инструментов / М.И. Васильев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008 – № 2(59). – С. 99–101.
2. Королев, В.И. Конспект избранных лекций по сопротивлению материалов / В.И. Королев. – М.: МЛТИ, 1978. – 104 с.
3. Соболев, Ю.С. Прочность, жесткость и устойчивость элементов из древесины и древесных материалов / Ю.С. Соболев – М.: МЛТИ, 1992. – 76 с.
4. Vasiliev M.I./New reed plates for musical instruments. SCIENCE & TECHNICS. 1993/1–S.33.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ДРЕВЕСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЯХ

А.Н. ОБЛИВИН, *проф. каф. процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств МГУЛ, д-р техн. наук,*

М.В. ЛОПАТНИКОВ, *доц. каф. процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств МГУЛ, канд. техн. наук*

president@mgul.ac.ru, lopatnikov@mgul.ac.ru

За последние годы выполнен огромный цикл научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области древесно-полимерных композитов (ДПК) как в нашей стране, так и за рубежом. Широкий ассортимент изделий из ДПК с их характеристиками и методиками испытаний представлен в переводном издании [1].

Что лежит в основе формирования ДПК, на базе каких физико-химических превращений формируются основные свойства композита? Как будет вести себя изготовленный материал в условиях дальнейшей эксплуатации? Эти и другие вопросы мы постарались осветить в настоящей статье.

Основным наполнителем ДПК является древесная стружка различного фракционного свойства, древесное волокно со своими характеристиками, древесная мука. В качестве связующего используют клеи различного назначения, чаще всего на карбамидоформальдегидной основе. Для производства цементно-стружечных плит и арболита в качестве связующего используют цементный раствор. В зависимости от свойств древесного наполнителя (стружка, волокно, мука) и типа связующего (клеи, цемент) используется соответствующая технология формирования древеснополимерного композита.

Вместе с тем, технологический процесс формирования ДПК, по мнению автора [1], определяют закономерности переноса тепла, массы, химические процессы полимеризации связующего, а также поверхностные явления на границе раздела наполнитель-связующее, формирующие адгезионную и когезионную составляющую прочности материала.

Процессы переноса тепла, массы с интегральной оценкой степени полимеризации связующего подробно рассмотрены в работах [2–7]. Разработанные расчетные методы позво-

ляют определять распределения основных параметров, температуры t , давления P , степени отверждения связующего θ , влажности W , плотности ρ , как по толщине δ , так и в центре прессуемого пакета в зависимости от температуры плит пресса. Это относится к ДПК, изготовленным методом плоского горячего прессования.

Имея зависимости

$$\left. \begin{aligned} t &= f_1(x, y, \tau); t_y = f_2(\tau) \\ p &= f_3(x, y, \tau); p_y = f_4(\tau) \\ \theta &= f_5(x, y, \tau); \theta_y = f_6(\tau) \\ \rho &= f_7(x, y, \tau); \rho_y = f_8(\tau) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где τ – время прессования;

x, y – координаты (рис. 1),

можно определить оптимальное время выдержки τ_e и общее время прессования τ_n (рис. 2).

В точке 1 (рис. 2) $\theta \approx 0$, в точке 3 $\theta \approx 0,7 \div 0,8$ – начало распрессовки, $\tau_n = \tau_1 + \tau_2 + \tau_p$ – общее время прессования, где τ_1, τ_2, τ_p время прогрева, выдержки, распрессовки.

Таким образом, по вышеназванным работам [2–8] можно провести расчеты оптимальной диаграммы прессования в технологическом процессе производства ДПК.

Безусловно, для этого нужно знать характеристики наполнителя и связующего, а именно:

- коэффициент теплопроводности наполнителя $\lambda = f(t, w, \rho)$;
- коэффициент теплоемкости наполнителя $c_p = f(t, w, \rho)$;
- коэффициент проницаемости наполнителя $k = f(t, w, \rho)$;
- кинетику отверждения связующего и его энергию активации.

Открытым и недостаточно исследованным остается вопрос о взаимодействии

связующего с поверхностью древесных частиц наполнителя, а это напрямую связано с формированием адгезионной и когезионной прочности композита.

Для анализа поверхностных явлений на границе раздела фаз используем обобщение, выполненное Ван-Кревеленом

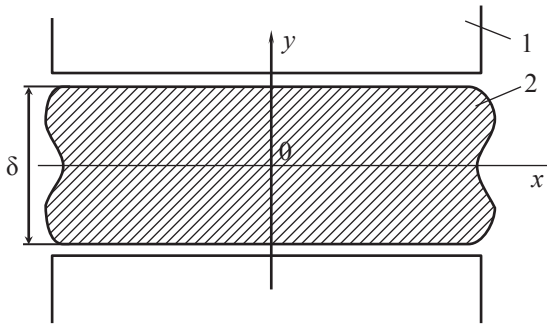


Рис. 1. Схема изготовления ДПК методом плоского горячего прессования: 1 – плита пресса; 2 – пресуемый пакет

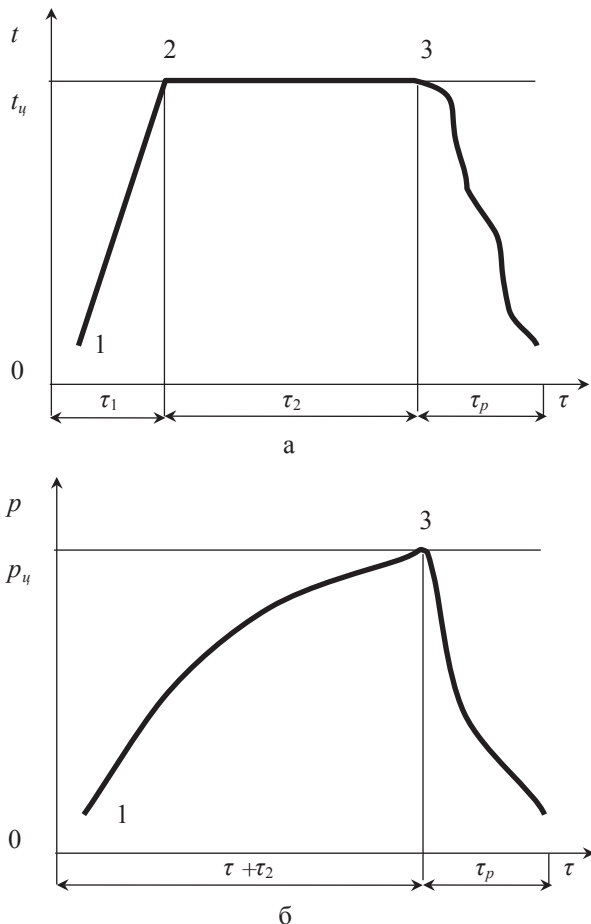


Рис. 2. Диаграмма прессования ДКМ: а) изменение температуры; t_u – температура в центре пресуемого пакета, задаваемая с учетом свойств связующего; б) изменение давления; p_u – давление в центре пакета, задается условием $p_u \leq \sigma_p$, σ_p – критическое напряжение в центре пакета

в монографии [9], в которой рассмотрены характеристики когезии и адгезии для ряда полимеров. Можно предположить, что основной характеристикой межмолекулярного взаимодействия на границе раздела фаз является поверхностная энергия между поверхностью частиц наполнителя и связующего. В этом случае молекулы, находящиеся на поверхности связующего, или частицы наполнителя испытывают влияние неуравновешенных молекулярных сил и получают дополнительную энергию по сравнению с молекулами, находящимися внутри древесного наполнителя и связующего. Эта дополнительная энергия на поверхности раздела известна как межфазное натяжение. Межфазное натяжение является определяющим в формировании когезионной и адгезионной прочности полимерных композиций. Межфазное натяжение оказывает большое влияние на набухание полимерных композиций.

В соответствии с [9] рассмотрим межфазное натяжение на поверхности раздела древесная частица–связующее в начальной стадии до его отверждения.

Обозначим F поверхность частицы наполнителя, находящегося в контакте со связующим.

В первом случае (рис. 3а) связующее полностью смачивает частицы. В этом случае контактный угол $\theta = 0$.

Во втором случае (рис. 3б) не вся поверхность смачивается связующим и угол $0 < \theta < \pi/2$;

В третьем случае (рис. 3в) связующее вообще не смачивает поверхность частицы и угол $\theta > \pi/2$.

В этом случае равновесные контактные углы могут быть записаны в следующем виде

$$\gamma_l \cos(\theta) = (\gamma_F - \gamma_{Fl}) - (\gamma_F - \gamma_{Fv}) = (\gamma_F - \gamma_{Fl}) - \pi_p \approx \gamma_F - \gamma_{Fv} \quad (2)$$

где $\gamma_l \cos(\theta)$ – адгезионное натяжение;

γ_F – натяжение на поверхности частицы;

γ_{Fl} – межфазное натяжение;

γ_{Fv} – межфазное объемное натяжение.

Полное смачивание частиц наступает при $\theta = 0$; $\cos\theta = 1$. Очевидно, при этом должна быть относительно низкая свободная энергия поверхности раздела фаз при высокой по-

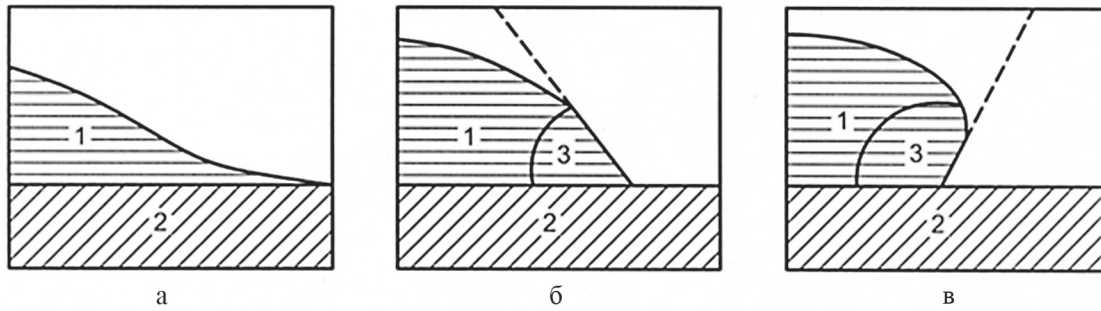


Рис. 3. Контактные углы, образованные связующим с древесной частицей: 1 – связующее до отверждения; 2 – частица наполнителя; 3 – контактный угол θ

верхностной энергии твердого тела (частицы наполнителя) и низкой свободной энергии поверхности связующего.

К сожалению, экспериментально можно определить только $\gamma_l \cos(\theta)$, но в соответствии с [10]

$$\gamma_{Fl} = \gamma_F + \gamma_l - 2\Phi(\gamma_F \cdot \gamma_l)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где

$$\Phi \cong \frac{4 \cdot (V_F \cdot V_l)^{\frac{1}{3}}}{(V_F^{\frac{1}{3}} + V_l^{\frac{1}{2}})^2}, \quad (4)$$

где V_F – условный объем наполнителя;

V_l – условный объем связующего.

Для полимерного расплава в соответствии с [11] уравнение состояния Ван-дер-Ваальса может быть записано в виде

$$(v - \omega)(P + \pi) = RT/M_u, \quad (5)$$

где P – давление;

V – удельный объем полимера;

Π – внутреннее давление, не зависящее от удельного объема, температуры T и давления P .

M_u – идентифицируется с молекулярной массой структурного звена (массы композита).

В [11] было показано, что $M_u \omega = V(0)$ – объем начального состояния массы полимера, и тогда

$$(v - \omega)(P + \pi) = RT. \quad (6)$$

Учитывая, что в растворе $\pi > P$, получим

чим

$$\pi = \frac{RT}{V(T) - V(0)} \approx \frac{R}{\varepsilon_l}. \quad (7)$$

Подставляя в уравнение (2) уравнение (3), получаем

$$\gamma_F = \frac{(\gamma_l(1 + \cos(\theta)) + \pi_P)^2}{4F^2 \cdot \gamma_l} \approx \gamma_l \frac{(1 + \cos(\theta))^2}{4\Phi^2}. \quad (8)$$

$$\cos(\theta) = 2\Phi \frac{\gamma_F}{\gamma_l} - 1 - \frac{\pi_P}{\gamma_l} \approx 2\Phi \frac{\gamma_F}{\gamma_l} - 1. \quad (9)$$

С помощью (8) можно рассчитать поверхностное натяжение по измерению контактного угла θ , затем определить межфазное натяжение из (3) и сделать оценки изменения адгезионной прочности.

Безусловно, что предложенная методика расчета поверхностного натяжения и оценки адгезионной и когезионной прочности в соответствии с [9] нуждаются в экспериментальной оценке тех физических констант, которые входят в исходные уравнения, с учетом нестационарности протекающих процессов формирования ДПК.

Другой важной задачей является анализ изменения количественных характеристик ДПК в зависимости от условий их эксплуатации. Это изменение температуры, влажности окружающей среды, использование их в работе с агрессивными жидкостями и т.д.

Все это нуждается в дополнительном анализе поведения материала с помощью системы дифференциальных уравнений переноса тепла, массы, импульса и химических превращений при знакопеременных граничных условиях с выходом на прогноз изменения качественных характеристик, в том числе и долговременной прочности.

Без наличия соответствующего оборудования, прямыми методами исследования, по приведенным выше зависимостям не представляется возможным количественно оценить

адгезионную и когезионную прочность композита. Приведенные авторами [12] данные показывают, что значения прочности твердого тела в слоях нанометрового диапазона при уменьшении толщины покрытия ниже примерно 15 нм на порядок превосходят прочность блочно-го материала, что доказывает, что прочность твердого тела зависит от его размеров в нанодиапазоне. Чем меньше размер, тем выше прочность, что ранее доказывала только теория. Таким образом, прямыми экспериментами показано, что долговечность твердого тела не является константой материала, а зависит от времени действия нагрузки, ее величины и температуры и может быть определена по известному уравнению С.Н. Журкова [12]

$$\tau = \tau_0 \exp[U_0 - \gamma\sigma / RT], \quad (10)$$

где τ – долговечность, с;

τ_0 – период колебания атомов в твердом теле, с;

U_0 – эффективная энергия активации разрушения, кДж/моль;

γ – структурно-чувствительная константа, кДж/моль·МПа;

R – универсальная газовая постоянная, кДж/моль·К;

σ – напряжение, МПа;

T – температура, К.

Как утверждают авторы работы [13], разрушение связей характеризуется величиной $\gamma\sigma$, а работа теплового движения выражается в виде

$$U = U_0 - \gamma\sigma. \quad (11)$$

В работе [13] отмечается, что для различных тел $\tau_0 = 10^{-12} \dots 10^{-13}$ с, что приближается к периоду колебания атомов. U_0 совпадает с энергией их испарения (или сублимации) металлов, т.е. энергией разрыва связей атома со всеми соседями. Для полимеров такие соотношения не работают, так как механическое разрушение характеризуется термохимической деструкцией, ускоренной работой механического поля, а U_0 равно энергии активации термодеструкции и различается для различных карбоцепных полимеров из-за различия скорости их деструкции.

Для полимерных материалов механическое разрушение – это механотермический процесс, который происходит во времени

через элементарные акты разрушения химических связей. Количество тепловых флуктуаций увеличивается во времени, что может послужить причиной разрыва связей, и время наступления этого критического события определяется как [13]

$$\tau_{кр} = \tau_{\infty} \exp U/RT. \quad (12)$$

Авторами [13] приводятся данные, которые показывают, что при проведении натурных испытаний во всем диапазоне приложенных нагрузок произведение $\gamma\sigma$ значительно меньше U_0 . Следовательно, делают они вывод, что главный деструктирующий фактор – это тепловые флуктуации, т.е. энергия разрушения тела в основном возникает из запаса тепловой энергии, а не от работы внешних сил, направленность которой лишь обеспечивает необратимость процесса вследствие накопления этих разрывов.

Формула (10) характеризует неизменность состояния вещества и постоянство констант во всем диапазоне температур и нагрузок. Однако для любого вещества существует конечная температура, при достижении которой происходит его распад на фрагменты.

При введении в (10) константы T_m , как предельной температуры (температура деструкции) [14] формула, описывающая долговечность полимера, может быть представлена в следующем виде

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma\sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right], \quad (13)$$

где T_m – предельная температура существования полимера, при которой все химические связи рвутся за одно тепловое колебание и твердое тело полностью деструктирует, К;

τ_m – минимальная долговечность при $T = T_m$, с.

По мнению С.Я. Френкеля [15], τ_m соответствует колебаниям химически несвязанных атомов или молекул в реальных решетках и значительно превышает величину 10^{-13} с, что объясняется неоднородностью структуры полимера и протеканием различных релаксационных процессов.

На свойства ДПК в процессе изготовления и эксплуатации кроме температурного воздействия сильное влияние оказывает воздей-

твие влаги. При циклических взаимодействиях влаги на ДПК (увлажнение-сушка) материал теряет свою механическую прочность за счет ослабления адгезионной связи между связующим и древесными частицами. Еще более разрушающее влияние на материал оказывает совместное температурно-влажностное воздействие, приводящее к потере когезионной прочности или полной деструкции связующего.

После изготовления ДПК могут эксплуатироваться в различных реальных условиях, связанных с изменением влажности и температуры окружающей среды, подвергаться воздействию различных агрессивных сред. Факторы, воздействующие на материал, могут быть как постоянными во времени, так и носить циклический характер, механическая нагрузка на изделия из ДКМ может быть постоянной, переменная или совсем отсутствовать. Изменения в материале, связанные с воздействием различных внешних факторов, могут протекать либо очень быстро, либо могут быть растянуты по времени.

Основными «врагами» ДКМ являются влага, температура, солнечная радиация и биологическое воздействие, приводящее при долгосрочной эксплуатации материала к его разрушению. В процессе эксплуатации под влиянием этих факторов характеристики материала начинают изменяться со временем (в основном ухудшаться), что в критических случаях может привести к разрушению материала, не выработавшего полный срок службы.

Для оценки возможности использования ДКМ в реальных условиях необходимо провести исследования материала в вероятном диапазоне воздействия внешних природных факторов, влияющих на его эксплуатационные характеристики.

Проведение испытаний в широком диапазоне изменения внешних факторов возможно при применении методов ускоренных испытаний, позволяющих в короткие сроки исследовать влияние внешних факторов на изменение свойств материала и в дальнейшем прогнозировать поведение ДКМ в течение нескольких лет эксплуатации, изменение его внутренней структуры и входящих его состав компонентов.

На основе полученных исследований можно выработать рекомендации по изменению состава ДКМ (соотношения составляющих его компонент), их модификации либо замене. Получив экспериментально замыкающие соотношения для модели, описывающей поведение материала при длительной эксплуатации, можно прогнозировать поведение ДКМ при различных климатических условиях эксплуатации, а также при воздействии на него различных видов нагрузок, что позволит проводить оценку пригодности материала для заданных условий эксплуатации.

На кафедре процессов и аппаратов МГУЛ совместно с Институтом физики твердого тела РАН намечен цикл экспериментальных исследований, позволяющий определить на молекулярном и наноуровне изменения структурных характеристик ДПК в зависимости от основных факторов воздействия на них, что позволит в перспективе создавать ДПК с заданными свойствами в зависимости от условий их применения.

Библиографический список

1. Клесов, А. Древесно-полимерные композиты / А. Клесов. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 736 с.
2. Обливин, А.Н. Расчет тепломассопереноса во влажном пористом теле с введением подвижной границы фазового перехода / А.Н. Обливин // Общие вопросы теплопередачи. – 1976. – № 1.
3. Обливин, А.Н. Расчет тепломассопереноса во влажном пористом теле конечной толщины / А.Н. Обливин // Общие вопросы теплопередачи. Тр. объединенного семинара по ТМО МЭИ, МВТУ, МЛТИ. – 1976. – № 1.
4. Обливин, А.Н. К вопросу об аналогии переноса тепла и массы в пористых телах / А.Н. Обливин, Г.Н. Афанасьев // Журнал теплофизика высоких температур АН СССР, 1976. – № 4.
5. Обливин, А.Н. Тепломассоперенос в технологическом процессе производства древесно-стружечных плит / А.Н. Обливин, А.К. Воскресенский, Ю.П. Семенов. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 192 с.
6. Обливин, А.Н. О стационарном методе определения термоградиентного коэффициента капиллярно-пористых тел / А.Н. Обливин, А.К. Воскресенский, П.П. Щеглов // Лесной журнал. – 1980. – № 5.
7. Моделирование свойств и процессов прессования реактопластов : монография / под общ.ред. А.Н. Обливина; МГУЛ. – М.: МГУЛ, 2005. – 283 с.

8. Морозов, А.М. Использование сканирующей электронной микроскопии для изучения нанопористой структуры продуктов переработки древесины / А.М. Морозов, Г.Н. Кононов, К.Л. Косарев, А.В. Кудряшов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 2. – 2013. – С. 72–76.
9. Ван Кревелен, Д.В. Свойства и химическое строение полимеров, Голландия, 1972, пер. с англ. Под ред. А.Я. Малкина. / Ван Кревелен Д.В. – М.: Химия. – 416 с.
10. Girifalco L. A. and Good R.J., J. Phys. Chem. 61 (1957) 904; 62 (1958) 1418 and 64 (1960) 561.
11. Soenger R.S. and Gilmore G.D., J. Appl. Phys. 21 (1950) 523.
12. Обливин, А.Н. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе: монография / А.Н. Обливин, М.В. Лопатников, В.А. Брынцев и др. – М.: МГУЛ, 2011. – 221 с.
13. Ярцев, В.П. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации: учеб. пос. / В.П. Ярцев, О.А. Киселева. – Тамбов: Тамбовский ГТУ, 2009. – 124 с.
14. Ратнер, С.Б. Физическая механика пластмасс / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев. – М.: Химия, 1992. – 186 с.
15. Бартнев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Г.М. Бартнев. – М.: Химия, 1984. – 280 с.

ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗМА МОДИФИКАЦИИ ФЕНОЛО- И КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ КЛЕЕВ ШУНГИТОВЫМИ СОРБЕНТАМИ

Г.С. ВАРАНКИНА, *доц., каф. технологии и деревообработки СПбГЛТУ им. С.М. Кирова канд. техн. наук,*

А.Н. ЧУБИНСКИЙ, *проф. СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, д-р техн. наук*

varagalina@yandex.ru, chubinsky@gmail.com

Придание требуемых свойств синтетическим смолам весьма эффективно путем их модификации. В большинстве случаев в качестве модификаторов используют низкомолекулярные соединения, которые имеют реакционно способные функциональные группы либо изменяют физическую природу связующего, либо действуют комплексно. Модификация карбамидоформальдегидных смол реакционноспособными соединениями может придать этим синтетическим олигомерам после отверждения ряд положительных эксплуатационных и технологических свойств [1, 2]. В качестве модификаторов для карбамидоформальдегидных смол использовали шунгитовые сорбенты. Минеральный состав и структурные особенности шунгитовых пород позволяют применять технологии направленного модифицирования, обеспечивающие создание новых композиционных материалов с заданными свойствами. Результатам исследования свойств шунгитов посвящено большое число работ [1–7]. Однако до последнего времени неясна степень участия углеродной и кремнистой составляющих, а также действия элементов – примесей, в основном металлов, в процессах сорбции и ка-

тализа, протекающих на поверхности шунгитовой породы.

Свойства шунгитовой породы изучались на пробах Карельского Зажогинского месторождения. В исследованиях применяли фенолоформальдегидную и карбамидоформальдегидную смолы, в которые вводили шунгитовые сорбенты с размерами частиц от 0,2–0,8 мм. Определению подлежали скорость отверждения, эмиссия формальдегида из клеевой композиции и другие свойства клеев. Исследования сорбционных и каталитических свойств шунгитовых сорбентов проводили с помощью спектрального анализа и электронной микроскопии. Использовали растровый электронный микроскоп JSM сверхвысокого разрешения. Эмиссию формальдегида определяли с помощью газового анализа. Методами электронной микроскопии выявлены также и микроструктурные особенности шунгитовых сорбентов, определены размеры и форма содержащихся в них включений и полостей.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что шунгиты не только снижают содержание свободного формальдегида в клею, но и ускоряют его отверждение (табл. 1, 2). Содержание свободного формальдегида в

**Физико-химические показатели модифицированного шунгитами
клея на основе смолы СФЖ-3013**

Наименование показателей	Количество наполнителя, %						
	0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
Вязкость по ВЗ-4, с	74	80	83	95	102	109	111
Концентрация (сухой остаток), %	30,1	32,9	40,4	45,5	49,2	57,9	63,4
Содержание свободного формальдегида, %, после выдержки в течение 8 ч	0,18	0,165	0,153	0,096	0,07	0,05	0,041
Продолжительность отверждения, с	95	91	84	79	72	69	67
Водородный показатель, число рН	7	7	8	8	9	9	9
Предел прочности при скалывании по клеевому слою фанеры, Мпа							
– после кипячения в воде в течение 1 ч	1,65	1,65	1,65	1,67	1,70	1,69	1,66
– в сухом состоянии	2,33	2,32	2,31	2,29	2,36	2,33	2,31

Т а б л и ц а 2

**Физико-химические показатели модифицированного
шунгитами клея на основе смолы КФ-МТ-15**

Наименование показателей	Количество наполнителя, %						
	0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
Вязкость, по ВЗ-246 после выдержки через 16 ч, с	37	40	42	49	53	69	73
Концентрация (сухой остаток), %	66,2	67,7	69,5	73,8	76,5	78,3	81,6
Содержание свободного формальдегида, %, после выдержки в течение 16 ч	0,18	0,083	0,71	0,064	0,031	0,030	0,023
Продолжительность отверждения, С	55	53	50	48	45	41	38
Водородный показатель, число рН	8	8	8	7	7	6	6
Предел прочности при скалывании по клеевому слою фанеры, Мпа:							
– после вымачивания образцов в воде 24 ч	1,64	1,64	1,68	1,7	2,2	2,15	1,69
– в сухом состоянии	2,41	2,38	2,4	2,42	2,43	2,45	2,41

клею на основе смолы СФЖ – 3013 снижается с 0,18 до 0,04 %, а в карбамидоформальдегидном клею с 0,18 до 0,03 %. Лучшие показатели достигаются при размере частиц шунгитов 0,2 мм, т.е. с уменьшением размера частиц содержание свободного формальдегида уменьшается.

Исследование влияния шунгитовых сорбентов на отверждение клея методом спектрального анализа (рис. 1) показало наличие изменений в характере процесса.

Спектральный анализ подтвердил, что шунгиты являются реакционно способным веществом, позволяющим сократить время отверждения клея. Ускорение реакции поликонденсации клея может происходить за счет альдегидов муравьиной кислоты и каталитических свойств оксидов щелочных металлов и ионов элементов I и II групп периодической системы Д.И. Менделеева.

Известно, что свойства природных сорбентов зависят от их пористости и удельной поверхности. Исследования с применением электронной сканирующей микроскопии показали, что углеродистое вещество шунгитов темно-серого цвета обладает высокой пористостью (рис. 2).

Размеры полостей (каналов) шунгита, имеющих разнообразную форму, варьируют в большом диапазоне от нескольких единиц до сотен нанометров. В стенках полостей шунгитов имеются поры значительно меньших размеров (рис. 3, 4) по аналогии с полостями трахеид хвойных пород древесины.

По данным [4], шунгитовые породы Зажогинского месторождения имеют удельную поверхность 6–20 м²/г, суммарный объем пор до 0,05÷0,15 см³ с эффективным радиусом 3–10 нм. Результаты исследований, приведенных в

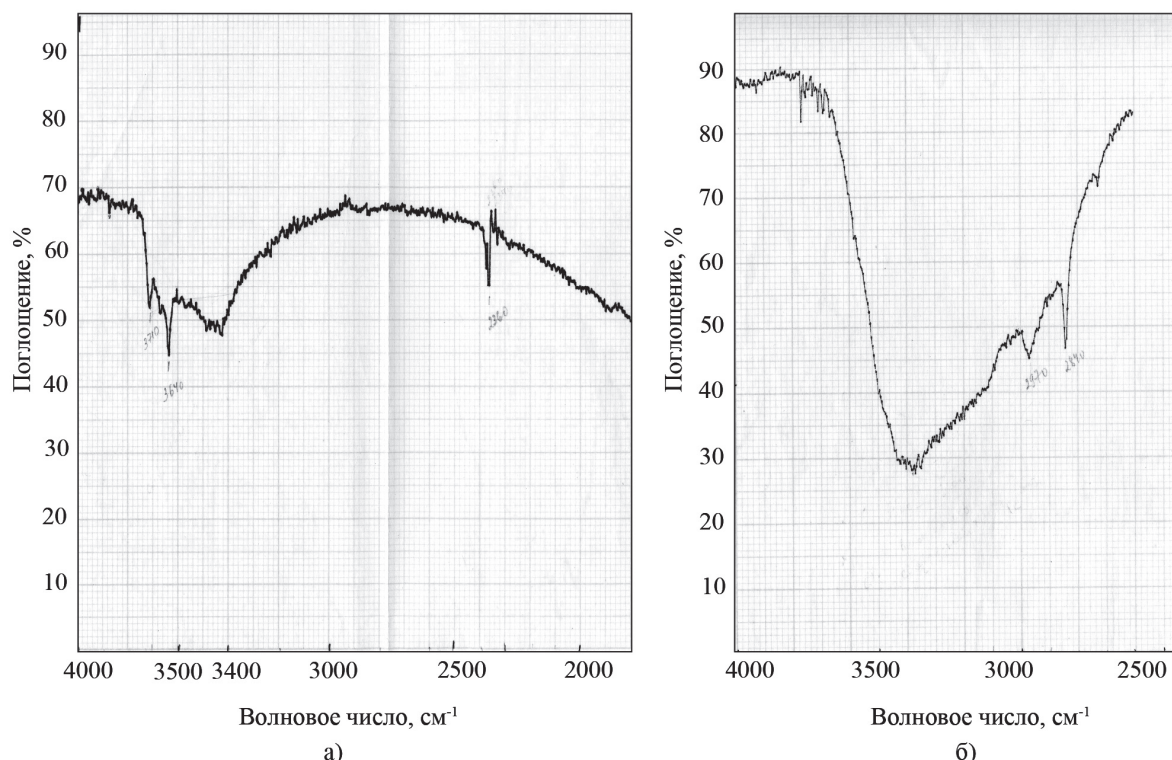


Рис. 1. ИК – спектры карбаминоформальдегидной смолы с различным содержанием шунгита, %: а) карбаминоформальдегидная смола с 10 % шунгитовых сорбентов; б) карбаминоформальдегидная смола без шунгитов

[3], определяют средний радиус поры равным 596 нм. Исходя из микростроения древесины, которая могла быть исходным веществом углеродистой части шунгита, в нем частично могли сохраниться окаменевшие клетки с полостями и порами в стенках, соединяющие полости смежных клеток между собой (рис. 3, 4).

В кремнеуглеродистый каркас шунгитов [3], содержащий большое число полостей (каналов), соединенных между собой порами, могут проникать молекулы (моли) адсорбата.

После введения шунгитов в смолу (рис. 5) по мере отверждения клея свободный формальдегид (молярное соотношение формальдегида и карбамида всегда больше 1,0), проникая в полости (поры), поглощается углеродистым веществом. Можно предположить, что в имеющихся на поверхности шунгита каналах (разрушенных полостях) скапливаются молекулы (моли) формальдегида и через поры в стенках полости проникают внутрь кремнеуглеродистого каркаса. Известно также предположение [7], в соответствии с которым в результате взаимодействия шунгита с водой выделяется атомарный кислород, который окисляет содержащиеся на его поверхности органические вещества, образуя CO_2 и H_2O . Таким образом, площадь поверхности шунгитовых частиц, способных поглощать формальдегид, не уменьшается.

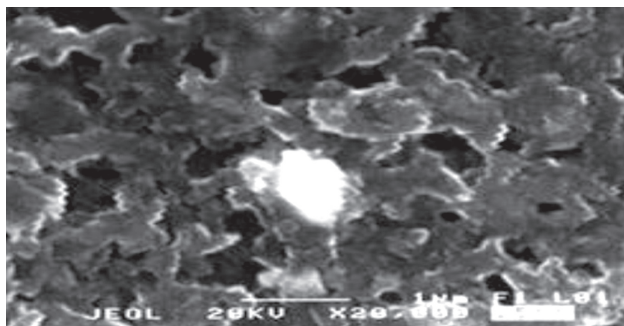


Рис. 2. Поверхность шунгитовой породы с указанием пор (при увеличении в 4400 раз)

После введения шунгитов в смолу (рис. 5) по мере отверждения клея свободный формальдегид (молярное соотношение формальдегида и карбамида всегда больше 1,0), проникая в полости (поры), поглощается углеродистым веществом. Можно предположить, что в имеющихся на поверхности шунгита каналах (разрушенных полостях) скапливаются молекулы (моли) формальдегида и через поры в стенках полости проникают внутрь кремнеуглеродистого каркаса. Известно также предположение [7], в соответствии с которым в результате взаимодействия шунгита с водой выделяется атомарный кислород, который окисляет содержащиеся на его поверхности органические вещества, образуя CO_2 и H_2O . Таким образом, площадь поверхности шунгитовых частиц, способных поглощать формальдегид, не уменьшается.

Выводы

Введение в состав карбаминоформальдегидных смол шунгитовых сорбентов ускоряет процесс их отверждения благодаря наличию в составе шунгитов реакционноспособных элементов. Применение шунгитов в качестве модификаторов карбаминоформальдегидных и фенолоформальдегидных смол

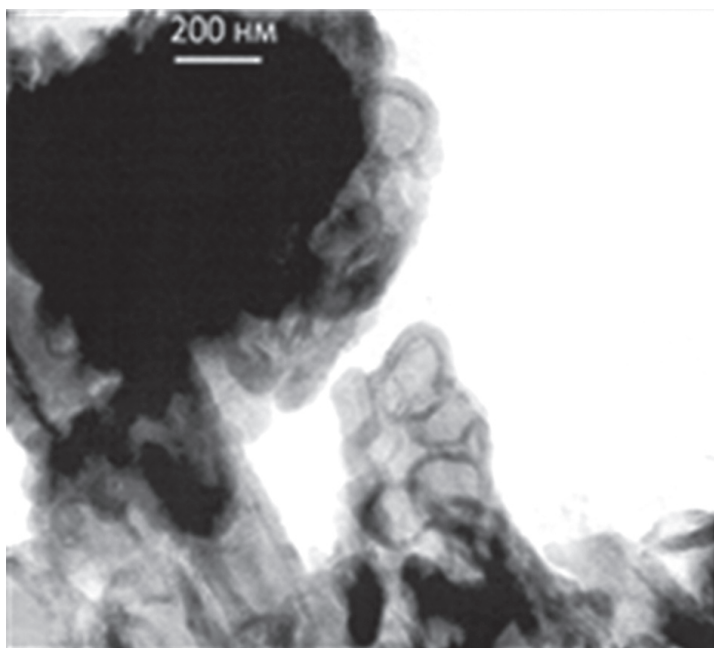


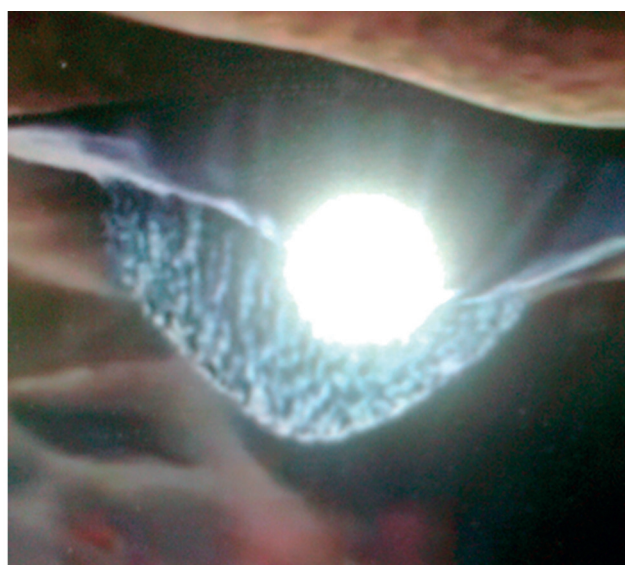
Рис. 3. Полость (канал)



Рис. 4. Каналы на поверхности шунгита с порами на поверхности шунгита (увеличение в 56 000 раз) (увеличение в 75 000 раз)



а



б

Рис. 5. Поглощение шунгитами свободного формальдегида (увеличение в 64 000 раз): а) непосредственно после введения в шунгиты раствора формальдегида; б) через 10 мин после введения в шунгиты раствора формальдегида

позволяет снизить их токсичность благодаря составу, строению и адсорбционным свойствам этого природного материала.

Библиографический список

1. Брутян, К.Г. Клеевая композиция / К.Г. Брутян, Г.С. Варанкина, А.Н. Чубинский, В.А.Редков, В.П. Кондратьев. – Патент на изобретение № 2437911 от 27 марта 2011 г.
2. Панов, Н.Г. Древесно-стружечные плиты на основе карбамидоформальдегидной смолы, модифицированной наноразмерным шунгитом / Н.Г. Панов, А.В. Питухин, С.С. Рожков, В.Е. Цветков и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 2(85) – С. 135–139.
3. Голуб, С.Л. Состав и сорбционные свойства шунгитового материала / С.Л. Голуб, И.Г. Луговская, С.И. Ануфриева, В.Т. Дубинчук и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2006. – Т. 6. – Вып. 5. – С. 748–763.

4. Филиппов, М.М. Шунгитовые породы Карелии: черная Олонекская земля, аспидный сланец, антрацит, шунгит / М.М. Филиппов. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. – 488 с.
5. Луговская, И.Г. Минералого-технологические критерии оценки тонкодисперсного рудного и нерудного сырья: дисс. ... д-ра техн. наук / И.Г. Луговская. – М.: ФГУП ВИМС, 2007. – 48 с.
6. Цицишвили, Г.В. Природные цеолиты / Г.В. Цицишвили, Т.Г. Андроникашвили, Г.Н. Киров, Л.Д. Филозова. – М.: Химия, 1985. – 224 с.
7. Мосин, А.В. Новый природный материал шунгит в водоподготовке. Сантехника. Отопление. Кондиционирование / А.В. Мосин. – М., 2012. – № 3. www. S-O-K./articles/novyy-prirodnyy-mineral-shungit v-vodopodgotovke.
2. Panov N.G., Pitukhin A.V., Rozhkov S.S., Tsvetkov V.E., Sanaev V.G., Firyulina O.V. Particle board on the basis of urea-formaldehyde resin modified by nano-sized shungite. Forest News, Moscow State University of Forest. – 2012. – № 2 (85), p.135–139.
3. Golub S.L., Lugovskaya I.G., Anufrieva S.I., Dubinchuk V.T., Ulyanov A.V., Burjak A.K. Composition and sorption properties of the schungite.//Sorption and chromatographic processes. 2006, Volume 6, issue 5. s.748 – 763.
4. Filippov M.M. Shungite Karelia.: Olonetsk black earth, slate, anthracite, shungite. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences, 2004. – 488 p.
5. Lugovskaya I.G. Mineralogical and technological evaluation criteria of fine ore and nonmetallic minerals. Abstract of doctoral thesis. Moscow: FSUE SIMS, 2007. – 48 p.
6. Tsitsishvili G.V., Andronikashvili T.G., Kirov G.N., Filozova L.D. Natural tseolity. – М.: Chemistry, 1985. – 224 p.
7. Mosin A.V. New natural material – shungite using for water clining. Plumbing. Heating. Conditioning. М.: № 3, 2012. www. S-O-K./articles/novyy-prirodnyy-mineral-shungit v-vodopodgotovke.

References

1. Patent № 2437911. RU. « The adhesive composition » Authors: Brutyan K.G., Varankina G.S., Chubinskii A.N., Redkov V.A., Kondratiev V.P.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АМИНОАЛЬДЕГИДНЫЕ ОЛИГОМЕРЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕКОРАТИВНОЙ БУМАГИ ДЛЯ БУМАЖНО-СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ

С.М. ТАРАСОВ, доц. каф. хим. технологии древесины и полимеров МГУЛ, канд. техн. наук,
В.И. АЗАРОВ, проф., зав. каф. хим. технологии древесины и полимеров МГУЛ, д-р техн. наук,
А.М. ИВАНОВА, асп. каф. хим. технологии древесины и полимеров МГУЛ

caf-htdip@mgul.ac.ru

В настоящее время наблюдается рост потребления декоративной бумаги для производства ДБСП – декоративного бумажно-слоистого пластика. ДБСП является экологически чистым и практичным в эксплуатации материалом. Благодаря таким свойствам, как долговечность, стойкость к истиранию, влаго- свето- морозостойкость, ударопрочность, пожаростойкость, данный материал находит широкое применение в строительстве и производстве мебели. Все чаще ДБСП применяют в качестве материала для отделки помещений.

Декоративно-слоистый пластик изготавливается с различным по цветовой гамме покрытием, может иметь глянцевую или матовую поверхность, бывает однотонным или сочетает несколько тонов. Изготавливаются даже мерцающие декоративно-слоистые пластики. Наличие большого ассортимента фактур и цветов способствует широкому пот-

реблению ДБСП и одновременно увеличивает спрос на декоративную бумагу, являющуюся неотъемлемой частью данного материала.

Главной функцией декоративной бумаги является придание пластику привлекательного вида. В этих целях применяется сильно наполненная, отбеленная бумага, обладающая большой укрывающей способностью и светостойкостью. Так как декоративная бумага является лицевой стороной пластика, то она окрашивается или покрывается рисунком. Соответственно к ней предъявляются требования хороших печатных свойств, способности к импрегнированию, а также хорошей впитываемости и прочности во влажном состоянии [1].

Необходимая прочность и влагостойкость достигается введением в декоративную бумагу карбамидных, меламиновых олигомеров или полиамидов. В отношении производства бумажно-слоистых пластиков очень распространены карбамидоформальдегидные олигомеры

Рецептуры модифицированных КФО

Компонент	Количество, масс. %	Примерные рецептуры олигомеров (количество масс. %)	
		А	В
Карбамид	29–36	32 (основная загрузка – 26; дополнительная загрузка – 6)	29 (основная загрузка – 23; дополнительная загрузка – 6)
Формальдегид	35–42	39	35
Меламин	11–12	11	11
Глицерин	2–4	4	4
Силикат натрия	1–12	6	12
Катионный крахмал	3–5	5	3
ПАВ	3–6	3	6

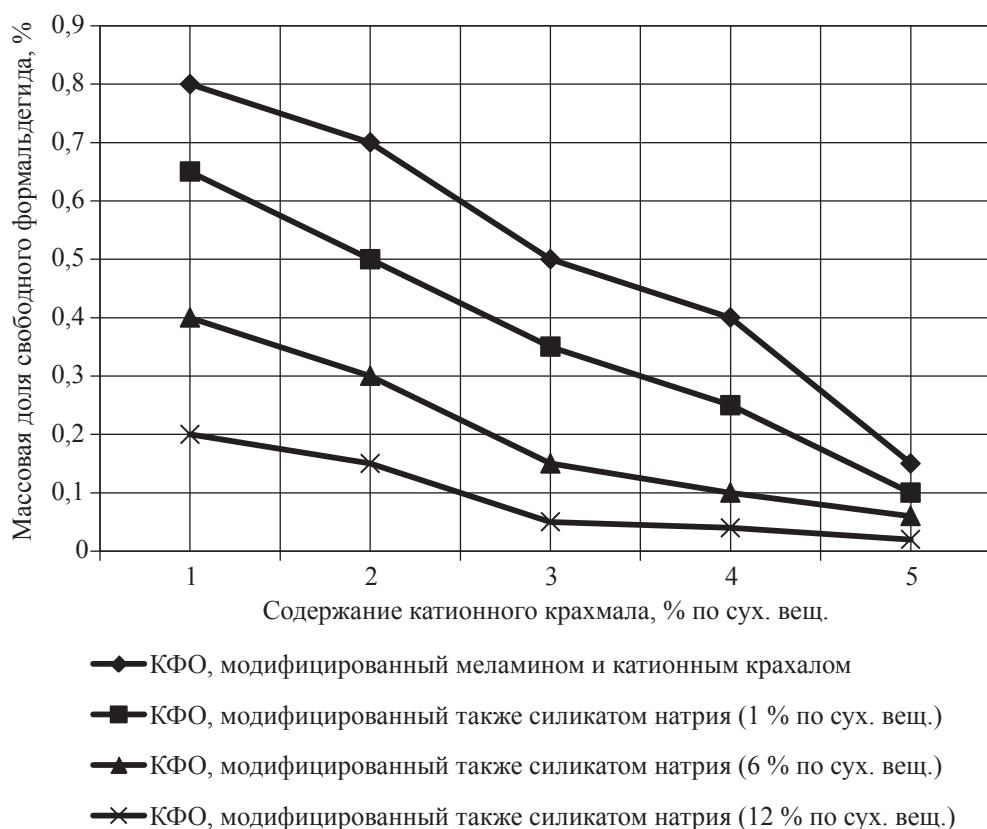


Рис. 1. Изменение массовой доли свободного формальдегида олигомеров, модифицированных силикатом натрия и ПАВ, в зависимости от содержания в них катионного крахмала

ввиду своих положительных свойств: бесцветности, светостойкости, низкой стоимости и способности окрашиваться в яркие тона [2].

Наполнителем для декоративной бумаги служит чаще всего пигментированная двуокись титана, заполняющая поры бумаги и делающая ее непрозрачной [3]. Масса наполнителя для декоративной бумаги довольно большая – 20–35 вес %. Таким образом, если обратить внимание на стоимость диоксида титана, можно сделать вывод: производство декоративной бумаги является довольно за-

тратным. Так, особо чистый (99,999 %) диоксид титана в рутильной и анатазной форме, по данным Википедии, стоил в сентябре 2006 г. 0,5–1 долл. за грамм, а технический диоксид титана – 2,2–4,8 долл. за кг в зависимости от марки и объема покупки.

В данной статье мы рассмотрим возможность применения разработанного нами модифицированного карбамидоформальдегидного олигомера для проклейки декоративной бумаги, предназначенной для производства бумажно-слоистого пластика.

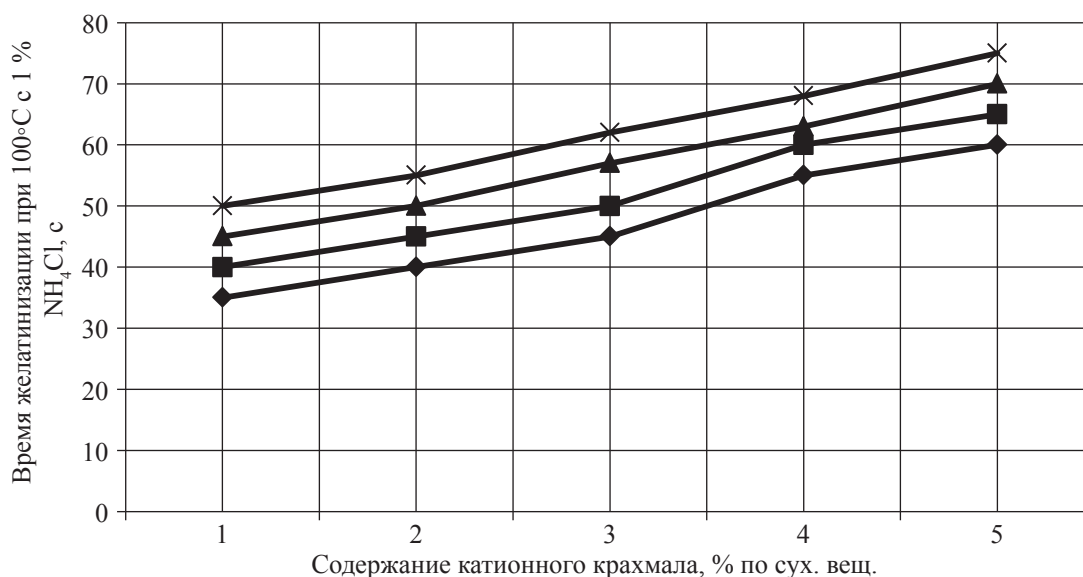


Рис. 2. Изменение времени желатинизации олигомеров, модифицированных силикатом натрия и ПАВ, в зависимости от содержания в них катионного крахмала

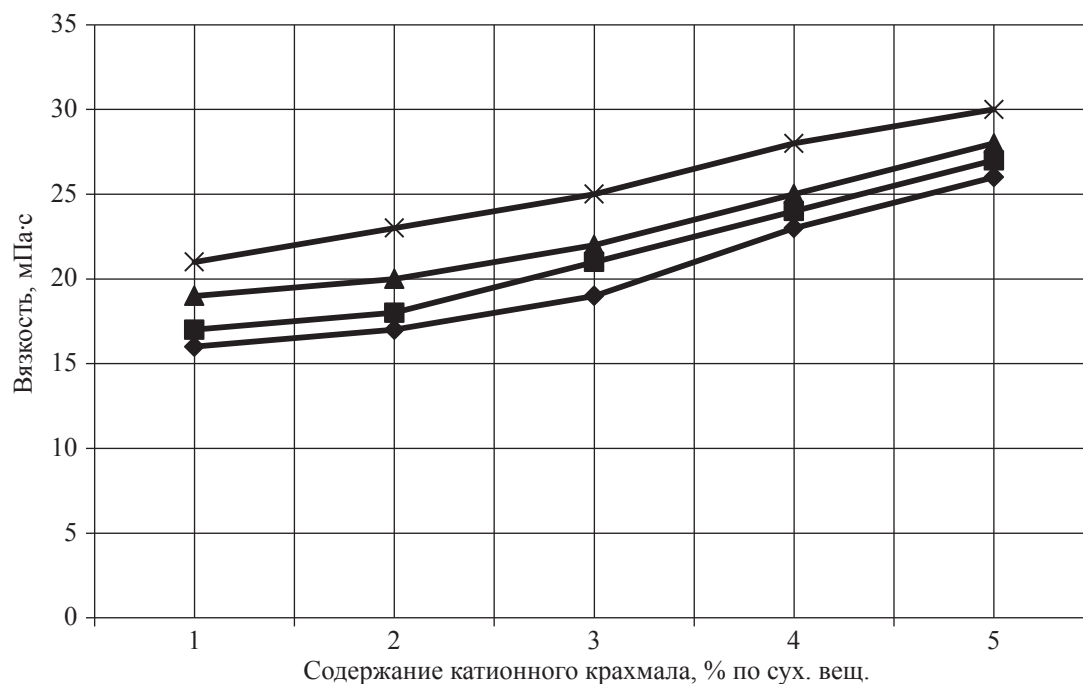


Рис. 3. Изменение вязкости олигомеров, модифицированных силикатом натрия и ПАВ, в зависимости от содержания в них катионного крахмала

Кратко отметим, что в [4] нами было описано получение КФО, модифицированных ПАВ, катионным крахмалом и силикатом натрия. Исследования в данной области показали положительные результаты в отношении сроков хранения и свойств полученных олигомеров, поэтому следующим нашим шагом стало получение КМФО, модифицированных подобным образом.

Итак, разработанный нами модифицированный карбамидоформальдегидный

олигомер, содержащий меламина, катионный крахмал, силикат натрия, глицерин и некоторые ПАВ, является полупрозрачной легкоподвижной жидкостью.

Каждый компонент олигомера играет определенную роль в композиции. Катионный крахмал придает олигомеру положительный заряд, облегчает его закрепление на целлюлозном волокне и снижает токсичность олигомера. Меламин обеспечивает КФО по-

Свойства декоративной бумаги

Свойства бумаги	Без обработки	Обработанная модифицированным КФО (при расходе олигомера 30 кг/т)
Поверхностная впитываемость, г/м ²	40	32
Влагопрочность, %	7	30
Разрывная длина, м	5000	5800

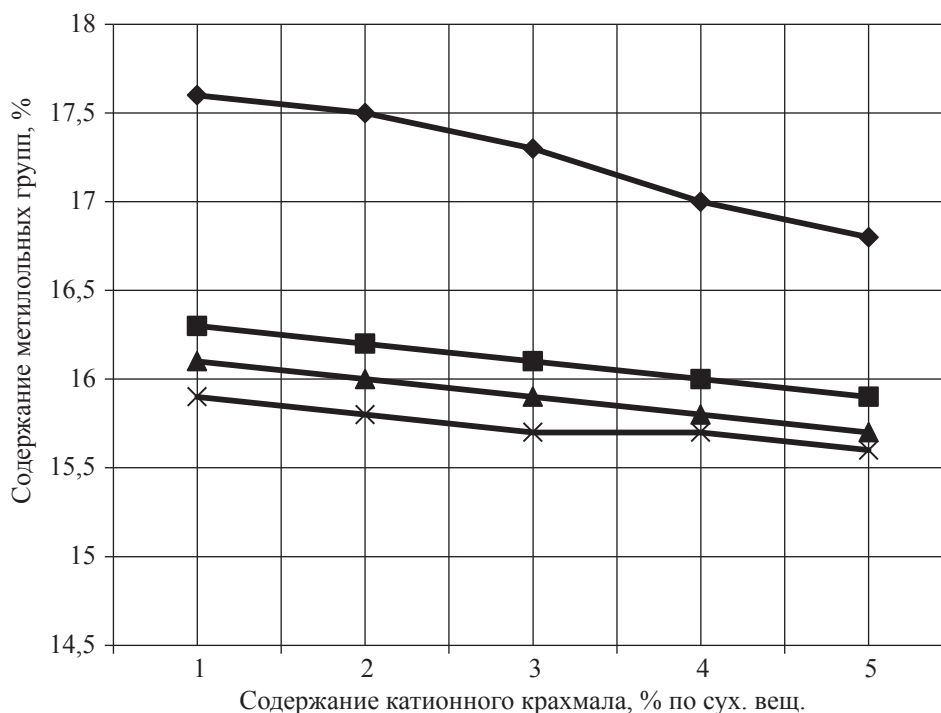


Рис. 4. Изменение содержания метилольных групп олигомеров, модифицированных силикатом натрия и ПАВ, в зависимости от содержания в них катионного крахмала

вышенную водостойкость. ПАВ замедляют агрегацию частиц олигомера и повышают сроки его хранения. Силикат натрия снижает содержание свободного формальдегида в олигомере так, что обычными методами формальдегид не определяется или же определяются следы его присутствия. Последнее особенно важно в случае проклейки данными олигомерами декоративной бумаги, так как она должна отвечать требованиям по содержанию летучих фракций.

Рецептуры полученных олигомеров приведены в табл. 1.

На рис. 1–4 представлены графики зависимостей основных свойств полученных олигомеров.

Из графиков видно, что олигомеры, полученные с использованием силиката натрия, имеют очень низкую долю свободного формальдегида, несколько меньшее количество

метилольных групп по сравнению с более простыми олигомерами, модифицированными катионным крахмалом, повышенное время желатинизации и более высокую вязкость.

С применением синтезированных олигомеров на лабораторном листоотливном аппарате была изготовлена декоративная бумага массой 80 г/м². Для изготовления образцов применяли 100 % беленую целлюлозу хвойных и лиственных пород в соотношении 50:50, степень помола 35 °ШР. В суспензию целлюлозы добавляли сульфат алюминия до установки рН = 6,5–7, затем вводили рассчитанное количество диоксида титана и модифицированного карбамидоформальдегидного олигомера. Расход олигомера составил 5–50 кг/т бумаги.

В качестве проклеивающего вещества выступали карбамидоформальдегидные олигомеры, модифицированные силикатом натрия в количестве 12 % по сухому веществу.

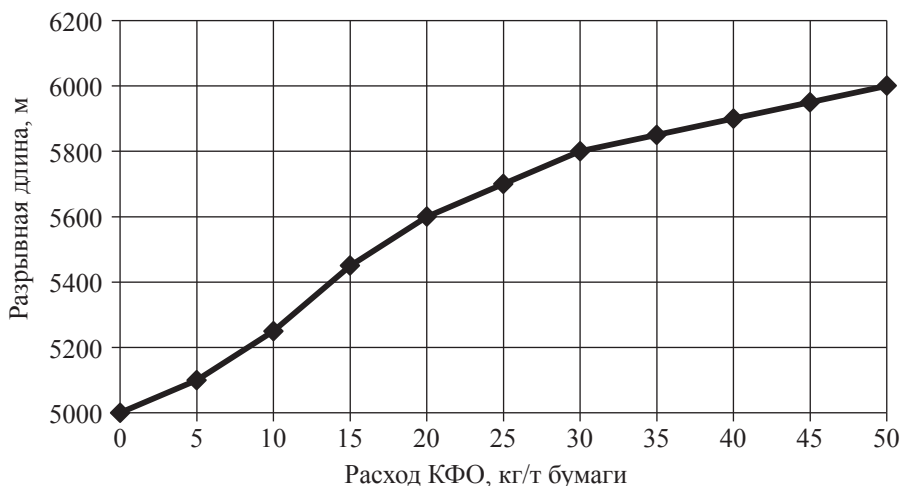


Рис. 5. Изменение разрывной длины декоративной бумаги в зависимости от расхода модифицированного олигомера

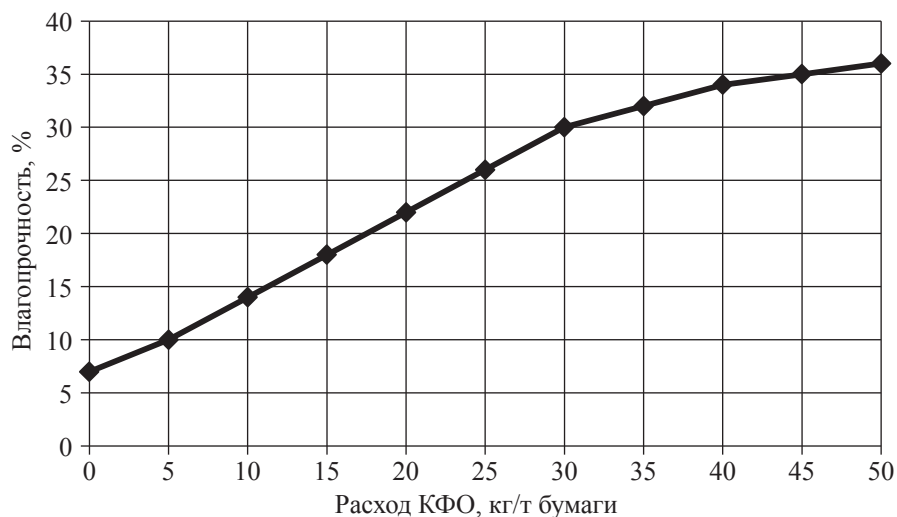


Рис. 6. Изменение влагопрочности декоративной бумаги в зависимости от расхода модифицированного олигомера

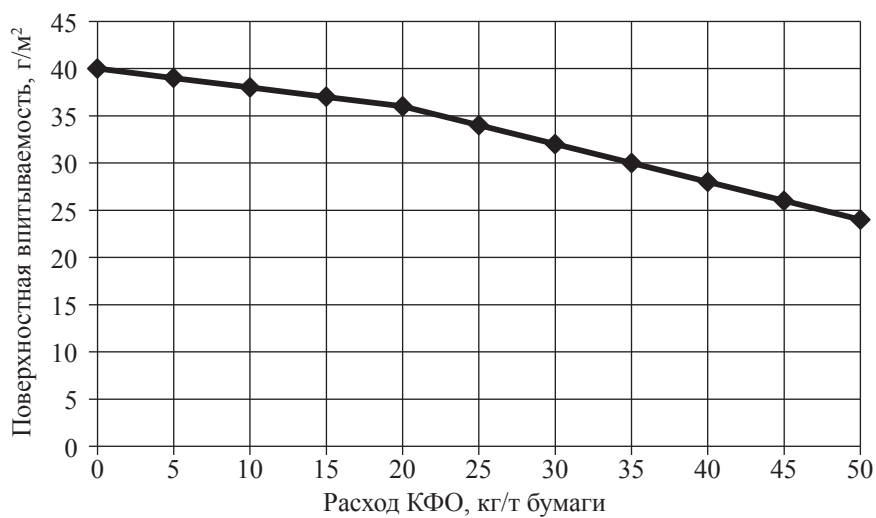


Рис. 7. Изменение поверхностной впитываемости декоративной бумаги в зависимости от расхода модифицированного олигомера

В табл. 2 приведены свойства проклеенной и непроклеенной декоративной бумаги.

На рис. 5–7 приведены графики изменения свойств декоративной бумаги в зависимости от количества олигомера, вводимого в массу при изготовлении отливок.

Как видно из табл. 2 и рис. 5–7, карбамидоформальдегидный олигомер приводит к повышению влагопрочности и разрывной длины бумаги, т.е. улучшает механические показатели бумаги. Несколько уменьшается поверхностная впитываемость бумаги.

Однако применение разработанного нами олигомера в качестве проклеивающего агента, по нашим предположениям, позволяет не только придать декоративной бумаге требуемые свойства, но и обеспечивает частичную замену дорогостоящего диоксида титана на нанодисперсный наполнитель, образующийся в результате взаимодействия силиката натрия с серноокислым глиноземом. При этом силикат алюминия в нанодисперсном виде осаждается на целлюлозном волокне, заменяя часть дорогостоящего наполнителя. Кроме того, определенным плюсом применения модифицированного олигомера в качестве проклеивающего агента для декоративной бумаги является то, что, будучи активным по отношению к диоксиду титана, он улучшает удерживаемость пигмента.

Как доказал эксперимент, непрозрачность полученных образцов декоративной бумаги ни в чем не уступает непрозрачности бумаги, полученной без использования проклеивающих олигомеров.

Подводя итог вышесказанному, заметим, что использование карбамидоформальдегидного олигомера, модифицированного силикатом натрия в качестве проклеивающего материала для декоративной бумаги, является перспективным по следующим причинам:

- позволяет экономить дорогостоящий диоксид титана;
- ведет к получению декоративной бумаги с улучшенными показателями влагопрочности, при сохранении непрозрачности и хорошей впитываемости бумаги.

Библиографический список

1. Бараш, Л.И. Слоистые пластики, декоративные поверхности / Л.И. Бараш. – СПб.: Химиздат, 2007. – 256 с.
2. Вирпша, З. Аминопласты / З. Вирпша, Я. Бжезиньский, пер. с польск. – М., 1973.
3. Иванов, С.Н. Технология бумаги. Изд. 3-е. / С.Н. Иванов. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.
4. Тарасов, С.М. Модификация аминоальдегидных олигомеров водорастворимыми солями кремниевой кислоты / С.М. Тарасов, В.И. Азаров, А.М. Иванова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник – № 3 (86) – 2012. – С. 130–137.

АЭРОИОНИЗАЦИОННЫЙ СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДРЕВЕСИНЕ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛАХ

М.В. ГАЗЕЕВ, доц. каф. механической обработки древесины УГЛТУ

gazeev_m@list.ru

В общем процессе пленкообразования лакокрасочных покрытий (ЛКП) можно выделить три стадии: 1) начальную – интенсивное испарение растворителя с поверхности ЛКП; 2) гелеобразование – до момента возникновения трехмерной сетки и потери отверждающимся материалом текучести и растворимости; 3) конечную – стадия отверждения, позволяющая дальнейшую обработку ЛКП. В зависимости от природы пленкообразователей процесс перехода лакокрасочных

материалов (ЛКМ) из жидкого состояния в твердое с образованием покрытия на поверхности подложки может происходить в результате физического процесса высыхания (испарения растворителя или разбавителя) или отверждения, при котором совместно с испарением растворителей протекают химические реакции с мономерами или олигомерами, а также при поглощении кислорода из воздуха [1, 2]. В результате отверждения образуются твердые, нерастворимые покрытия

с пространственной (трехмерной) структурой. К образованию трехмерной пространственной структуры приводят химические реакции поликонденсации при пленкообразовании ЛКМ, содержащих феноло-, карбамидо- и меламиноформальдегидные олигомеры; полиприсоединения при отверждении полиуретановых ЛКМ и полимеризации при отверждении материалов, содержащих высыхающие масла, модифицированные маслами алкидные олигомеры, ненасыщенные олигоэффиры, акрилаты и др. [3].

Процесс отверждения покрытий в производственном цикле занимает существенную часть времени и увеличивает потребность в производственных площадях. В настоящее время известны разные способы интенсификации отверждения ЛКП: конвективным нагревом, ИК-излучением, СВЧ-полем, УФ-излучением, воздействием пучком ускоренных электронов [4]. Данные способы эффективны, но требуют больших затрат на организацию и оборудование производства, энергопотребление (табл. 1), а также учета химической природы пленкообразователя.

Известен способ сушки тонкослойных материалов в электрическом поле [5]. Способ является действенным по отношению к различным жидкостям, находящимся в высушиваемом материале или на его поверхности, и используется для сушки тонких слоистых материалов: фанеры, картона, бумаги, фотопленки, лакокрасочных покрытий и заключается в создании над покрытием объемного электрического заряда. Плотность заряда составляет 10^{-4} – 10^{-2} Кл/м³. Достоинством данного способа является возможность сушки тонкослойных материалов за счет испарения жидкостей. Применение данного способа имеет ограничение для сушки ЛКП на древесине. Расстояние от высушиваемой повер-

хности до острий электродной системы составляет $d = 0,01 \div 0,02$ м, на таком расстоянии при напряжении питания $U_n = 10^4$. В средняя напряженность поля у поверхности высушиваемого материала $E_{nos} \approx U_n/d$ составляет $E_{nos} \approx (5 \div 10) \cdot 10^5$ В/м. При такой напряженности происходит снижение качества полученных ЛКП (шагрень, апельсиновая корка, ухудшение физико-механических показателей), особенно при отверждении ЛКП, образованных алкидными ЛКМ. Это происходит за счет интенсивного испарения растворителя и поляризации молекул ЛКМ.

На кафедре механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета ведутся исследования по применению электроэффлювальной аэроионизации для ускорения пленкообразования ЛКП на древесине и древесных материалах. Впервые аэроионизация была предложена в начале XX века А.Л. Чижевским с целью искусственного создания благоприятного для человека параметров режима воздуха внутри помещений [6].

Цель предлагаемых исследований – создание условий, обеспечивающих работоспособность аэроионизационного способа для интенсификации пленкообразования ЛКП, сформированных жидкими ЛКМ.

Указанная цель достигается созданием на поверхности отверждаемого лакокрасочного покрытия на расстоянии $d = 0,025 \div 1$ м поля напряженностью $E = (0,12 \div 2,4) \cdot 10^5$ В/м (в зависимости от природы используемого ЛКМ). Формирование поля производится при подаче на электроэффлювиальное аэроионизационное устройство (ЭЭАУ) (рис.1) напряжения $U = (1,2 \div 4) \cdot 10^4$ В, которое приводит к резкому увеличению напряженности вблизи острий электроэффлювиального излучателя (ЭЭИ). Происходит эмиссия электронов ЭЭАУ. Образовавшиеся электроны способствуют образованию активных форм кислорода (АФК) [6, 7].

По данным экспериментальных исследований было установлено, что образующиеся АФК приводят к ускорению процесса пленкообразования покрытий, т.е. являются инициаторами отверждения пленкообразователей ЛКМ.

Т а б л и ц а 1

Энергопотребление существующих способов ускоренной сушки ЛКП в расчете на 1 м², кВт ч/м²

Конвективная сушка	Радиационная сушка	УФ-сушка	ИК-сушка
5–15	20	10–15	3–15

Сравнительная характеристика времени отверждения лакокрасочных покрытий

Лакокрасочный материал	Время отверждения			
	Естественные условия*	Воздействие АЭЭУ**		
		при $d = 0,1$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	при $d = 0,5$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	при $d = 1$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В
Лак водно-дисперсионный ЭКОЛАК (ТУ 2316-013-0-31953544-00)	60 ÷ 90 мин	30 мин	60 мин	80 мин
Лак ПФ-157 (ТУ 6-27-35-91)	24 ч	10÷12 ч	18÷20 ч	20÷22 ч
Лак ПУ двухкомпонентный CEROPAC 20 Gloss (Verinlegno, Италия)	25÷30 мин	10÷15 мин	25÷30 мин	25÷30 мин

*Естественные условия: температура воздуха $t = 20 \pm 2$ °С, влажность воздуха $W = 60 \pm 5$. **Параметры температуры и влажности в соответствии с естественными условиями

Физико-механические показатели покрытий, полученных в естественных условиях и под действием АЭЭУ

Лакокрасочный материал	Условия отверждения	Склерометрическая твердость, Н ГОСТ 27326-87	Твердость по М-3, усл. ед. по ГОСТ 5233-89	Внешний вид по ГОСТ 29319-92	Прочность на изгиб, % по ГОСТ 6806-73	Адгезия, % по ГОСТ 15140-78	Блеск, % по ГОСТ 896-69	
Лак ПФ-157	Естественные условия	0,65	0,41	Поверхность гладкая, без дефектов	В сравнении с естественными условиями отверждения не изменяется			
	АЭЭУ	при $d = 0,1$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	0,84					0,47
		при $d = 0,5$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	0,7					0,45
		при $d = 1$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	0,68					0,43
Лак ЭКОЛАК	Естественные условия	0,86	0,61	Поверхность гладкая, без дефектов	В сравнении с естественными условиями отверждения не изменяется			
	АЭЭУ	при $d = 0,1$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	0,86					0,64
		при $d = 0,5$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	0,84					0,63
		при $d = 1$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	0,82					0,60
Лак CEROPAC 20 Gloss	Естественные условия	1,27	0,57	Поверхность гладкая, без дефектов	В сравнении с естественными условиями отверждения не изменяется			
	АЭЭУ	при $d = 0,1$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	1,32					0,57
		при $d = 0,5$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	1,3					0,56
		при $d = 1$ м; $U = 2,4 \times 10^4$ В	1,28					0,55

Предлагаемый способ оказывает положительное влияние на интенсификацию пленкообразования ЛКП, образованных водоразбавляемыми и органоразбавляемыми ЛКМ (акриловыми, пентафталевыми и полиуретановыми).

Известно, что процесс пленкообразования ЛКП на основе водно-дисперсионных акриловых и алкидных ЛКМ происходит в

результате испарения растворителей и радикальной полимеризации при участии кислорода воздуха.

Электрическое поле ускоряет процесс испарения растворителя, а АФК – реакцию полимеризации [8, 9]. АФК обладают большей химической активностью и воздействуют на окислительно-восстановительные сис-

темы, которые вводятся в состав ЛКМ как эффективные инициаторы полимеризации при их производстве [1, 2].

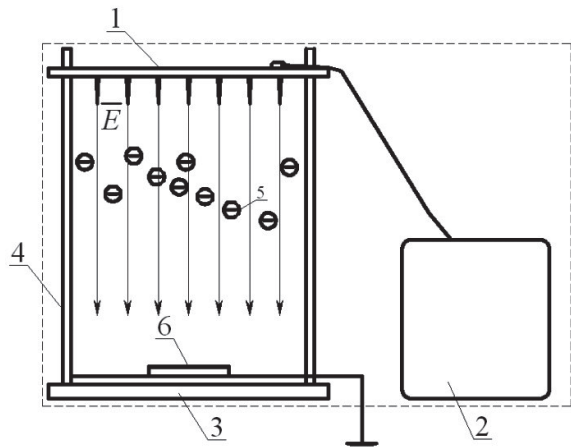


Рис. 1. Электроэффлювиальное аэроионизационное устройство: 1 – электроэффлювиальный излучатель; 2 – высоковольтный генератор; 3 – основание; 4 – стойки; 5 – АФК; 6 – подложка с ЛКП



Рис. 2. Передвижные стеллажи



Рис. 3. Общий вид стеллажа с АЭЭУ

Способ работает при интенсификации отверждения ЛКП, образованных полиуретановыми, мочевино-формальдегидными и меламино-формальдегидными ЛКМ, где АФК ускоряют реакции полиприсоединения и поликонденсации, а электрическое поле ускоряет процесс испарения растворителя.

Предлагаемый способ реализован следующим образом. Интенсификации пленкообразования подвергались ЛКП, образованные водно-дисперсионными акриловыми, полиуретановыми и пентафтальевыми ЛКМ. Покрyтия формировались на подложках из древесины сосны и стекла. Образцы с нанесенным ЛКМ помещали в ЭЭАУ (рис. 1) на расстоянии от электроэффлювиального излучателя (ЭЭИ) $d = 0,1 \div 1$ м при напряжении на высоковольтном генераторе (ВВГ) $U = 2,4 \cdot 10^4$ В.

Время пленкообразования фиксировалось по ГОСТ 19007-73. Эксперимент повторялся в естественных условиях. Результаты исследований приведены в табл. 1.

После проведения исследований опытные образцы с отвержденным покрытием подвергались испытаниям на физико-механические свойства, результаты представлены в табл. 2.

По полученным экспериментальным данным для лаков, представленных в табл. 1 и 2, минимальное расстояние, необходимое для интенсификации пленкообразования ЛКМ, составляет $d = 0,1$ м, при напряжении на ВВГ $U = 2,4 \times 10^4$ В. Дальнейшее сокращение расстояния не ведет к значительному сокращению времени отверждения, но может оказывать негативное влияние на качество покрытий. Увеличение расстояния вызывает увеличение времени пленкообразования. При снижении напряжения до $1,2 \times 10^4$ В способ становится неэффективным для полиуретановых и алкидных ЛКМ, что подтверждает необходимость создания специальных условий для протекания химических реакций пленкообразования. При повышении напряжения до $4,8 \times 10^4$ В происходит резкое увеличение напряженности электрического поля в воздухе разрядного промежутка, с возможностью дугового разряда.

Для определения химического влияния АЭЭУ на состав лакокрасочного материала и твердого ЛКП, образованного водно-диспер-

сионным акриловым лаком, была проведена инфракрасная (ИК) спектроскопия. Испытания проводили в Уральском государственном университете на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 6700. В результате анализа и сравнительной характеристики ИК-спектр покрытий, полученных под действием АЭЭУ, иллюстрирует более глубокую степень полимеризации, что подтверждает увеличение твердости покрытия (табл. 2). В покрытии, отвержденном под действием АЭЭУ, в сравнении с отвержденным в естественных условиях, присутствует большее число карбоксильных связей с целлюлозой древесины, что обеспечивает повышенную адгезию с древесной подложкой [10].

Результаты исследований подтверждают целесообразность и эффективность применения в промышленности АЭЭУ для интенсификации отверждения ЛКП на древесине и древесных материалах. Применение аэроионизации возможно реализовать посредством передвижных стеллажей, используемых на участках отделки. Известны различные конструкции таких стеллажей, установленных на поворотных колесных опорах, которые имеют стойки и консольно-штырьевые полки, что позволяет укладывать на стеллаж и транспортировать изделия различной длины, а также выполнять сушку лакокрасочных покрытий в естественных условиях ($t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 60 \pm 5\%$) рис. 2.

Недостаток известных аналогов состоит в том, что сушка лакокрасочных покрытий на изделиях происходит медленно в естественных условиях, что предполагает использование на производстве большого количества стеллажей и, как следствие, дополнительных производственных площадей. Технической задачей изобретенной модели Патент № 121709 является ускорение сушки и отверждения лакокрасочных покрытий на заготовках из древесины и древесных материалов в виде щитовых и погонажных изделий (рис. 3) [11]. Установленные на консольно-штырьевые полки стеллажа излучатели подсоединены посредством высоковольтных проводов через умножитель к генератору высокого напряжения постоянного электрического тока, способствуют формированию АФК, которые ускоряют процесс отверждения лакокрасочных покрытий на древесине и древесных

материалах. На основании стеллажа размещена пластина из токопроводящего материала, необходимая для формирования направленного электрического поля, и имеет заземление.

Библиографический список

1. Энциклопедия полимеров, т. 2 – М.: Советская энциклопедия, 1974. – Т. 2. – Л.-П., 1974. – С. 535–538.
2. Энциклопедия полимеров, т. 1 – М.: Советская энциклопедия, 1974. – С. 850–859.
3. Жуков, Е.В. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: учеб. для вузов / Е.В. Жуков, В.И. Онегин. – М.: Экология, 1993. – С. 304.
4. Рыбин, Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий для древесины и древесных материалов: учеб. для вузов / Б.М. Рыбин. – М.: МГУЛ, 2003. – С. 439.
5. Пат. 2133420 Российская Федерация, МПК⁷ F26B3/34. Способ сушки тонкослойных материалов в электрическом поле / Шкатов В.Т., Кувшинов В.А.; заявитель и патентообладатель Институт химии нефти СО РАН, Институт сильноточной электроники СО РАН 97114004/06, заявл. 13.08.1997; опубл. 20.07.1999, Бюл. N20, С. 441.
6. Скипетров, В.П. Феномен «живого» воздуха: монография / В.П. Скипетров, Н.Н. Беспалов, А.В. Зорькина. – Саранск: СВМО, 2003. – 93 с.
7. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учеб. пос. для вузов, т. 3 Электричество. – М.: ФИЗМАТЛИТ, Изд-во МФТИ. – 2004. – С. 650.
8. Газеев, М.В. Аэроионизационный способ отверждения лакокрасочных покрытий, образованных водными лаками / М.В. Газеев, И.В. Жданова, А.В. Старцев // Деревообрабатывающая пром-сть, 2007. – № 6. – С. 17–19.
9. Тихонова, Е.В. Исследование процесса пленкообразования полиуретановых лакокрасочных покрытий на древесине при аэроионификации / Е.В. Тихонова, М.В.Газеев / Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. Материалы, посвященные 80-летию УГЛТУ. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2010. – № 5. – С. 97–101.
10. Жданова, И.В. Влияние аэроионификации на процесс формирования защитно-декоративных покрытий на древесине водными акриловыми лакокрасочными материалами / И.В. Жданова, М.В. Газеев, Н.Ф. Жданов, Н.С. Васянина // Вестник Казанского ТУ. КНИТУ, 2012. – № 19. – С. 56–59.
11. Пат. 121709, Российская Федерация, МПК А47В, 51/00 Стеллаж для сушки и отверждения лакокрасочных покрытий щитовых деталей на щитовых и погонажных изделиях из древесины и древесных материалов / Ю.И. Ветошкин, М.В. Газеев, И.В. Жданова, Н.Н. Беспалов, Е.В. Тихонова. № 2012123580/12 Заявл. 06.06.2012, опубл. 10.11.2012 г., Бюл. № 31, 2 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФУРАНОВЫМ ОЛИГОМЕРОМ, НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

А.А. ФЕДОТОВ, *асп. каф. механической технологии древесины КГТУ,*

С.А. УГРЮМОВ, *проф. каф. механической технологии древесины КГТУ, д-р техн. наук*

nis@kstu.edu.ru; ugr-s@yandex.ru

В настоящее время в отечественном производстве древесных плит наиболее широко применяются карбамидоформальдегидные, а также фенолформальдегидные олигомеры, позволяющие изготавливать продукцию с высокими физико-механическими показателями. Однако основная часть выпускаемых плит имеет недостаточную водостойкость, что ограничивает их применение в условиях с переменными температурно-влажностными показателями, прежде всего в строительной сфере, а также производстве мебели. Наличие в составе смол свободного формальдегида и фенола приводит к эмиссии вредных веществ при эксплуатации плит.

Одним из способов повышения водостойкости и снижения токсичности древесных плит является применение при их изготовлении альтернативных клеев. Одним из таких направлений может стать применение в качестве связующего олигомеров фуранового ряда [1, 2].

В настоящее время производство фурановых связующих невелико. В основном они применяются в производстве строительных материалов и изделий специального назначения – бесцементные прочные, водо-, масло- и кислотостойкие растворы и бетоны.

В промышленности наибольшее распространение получил фурфуролацетоновый мономер (мономер ФА), получаемый при синтезе фурфурола и ацетона в связи с простотой синтеза и применяемого оборудования. Известно, что в отвержденном состоянии мономер ФА обладает повышенной водостойкостью, хорошей химической стойкостью (выдерживают воздействие высококонцентрированных растворов большинства кислот и щелочей даже при высокой температуре), высокой теплостойкостью и удовлетворительными механическими и диэлектрическими свойствами. Незначительная пористость отвержденного полимера

обеспечивает материалам непроницаемость для воды, нефтепродуктов и газов [1, 3–5].

Известно, что для удешевления фурановых смол и повышения их водостойкости, а также для придания большей щелочестойкости феноло-формальдегидным смолам возможно смешение или совмещение некоторых фенольных и фурановых смол [6]. Известно использование мономера ФА в качестве покрытия для древесины, придающего ей гидрофобность и защищающего от гниения [7]. Раствор мономера ФА относительно легко проникает в клеточные стенки древесины, повышая сопротивление возгоранию, водо- и влагостойкость, физико-механические характеристики. Однако данные о применимости совмещенных смол в производстве древесных плит отсутствуют.

Для анализа влияния доли добавки фуранового олигомера к фенолформальдегидному была проведена серия опытов по изготовлению и испытанию древесных плит. В экспериментальных исследованиях для производства образцов древесно-стружечных плит использовалась специальная резаная стружка лиственных и хвойных пород древесины с отбором фракции 10/2 и клеевые композиции на основе фенолформальдегидной смолы марки СФЖ-3013 с добавкой в различном соотношении фурфуролацетонового мономера ФА в смеси с отвердителем – *n*-толуолсульфокислотой в количестве 5 %. Изготовление плит проводилось в лабораторном гидравлическом прессе П 100–400 при следующих постоянных факторах:

- толщина плит 12 мм;
- расчетная плотность плит 700 кг/м³;
- температура плит пресса 160 °С;
- удельное давление прессования 2 МПа;
- продолжительность выдержки под давлением 6 мин;
- расход связующего 12 %.

Физико-механические свойства плит

Вид связующего, доля добавки	Предел прочности при статическом изгибе, МПа	Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты, МПа	Разбухание по толщине, %	Объемное разбухание, %	Водопоглощение, %	Потеря массы при горении, %	Плотность ρ , кг/м ³
для плит на основе стружки лиственных пород							
СФЖ-3013	16,50	0,32	32,07	34,29	75,10	14,2	703,3
10 масс.ч	16,45	0,37	39,60	42,47	87,25	14,8	688,3
20 масс.ч	15,45	0,31	40,55	41,91	87,36	18,0	695,4
30 масс.ч	11,85	0,31	52,18	61,13	93,66	24,1	715,8
50 масс.ч	9,45	0,20	58,30	69,30	99,09	21,0	705,1
Мономер ФА	10,70	0,16	42,64	46,46	66,63	19,7	704,1
для плит на основе стружки хвойных пород							
СФЖ-3013	19,75	0,65	24,94	27,40	75,10	10,2	676,4
10 масс.ч	21,55	0,72	23,12	25,29	73,40	10,5	676,7
20 масс.ч	20,25	0,61	23,04	25,24	75,63	13,2	675,1
30 масс.ч	15,70	0,61	26,52	29,04	79,92	15,2	663,0
50 масс.ч	13,20	0,52	30,87	35,22	93,55	18,0	689,9
Мономер ФА	14,70	0,55	18,20	20,10	65,10	15,0	688,5

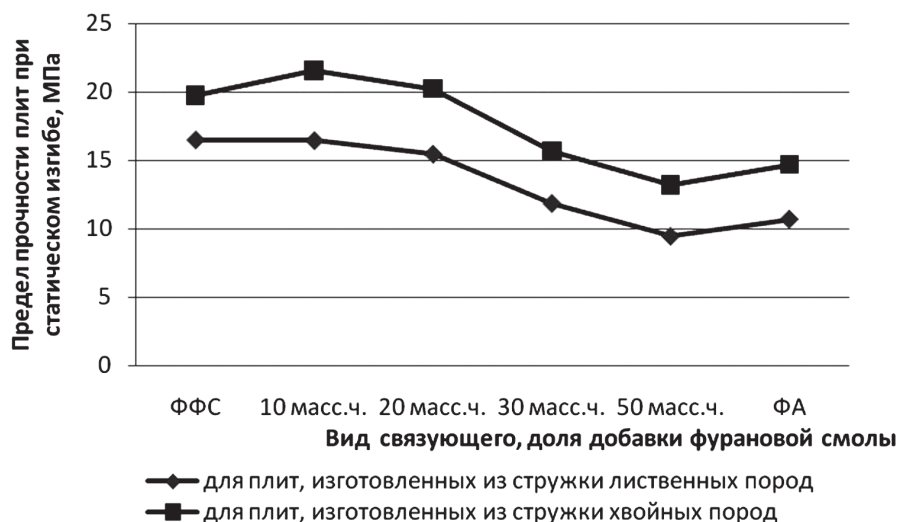


Рис. 1. Влияние вида связующего и доли добавки фурановой смолы на предел прочности плит при изгибе

Физико-механические свойства плит определялись по ГОСТ 10634-78, ГОСТ 10635-78, ГОСТ 10636-78, огнезащищенность оценивалась по потере массы при горении методом «огневой трубы». Полученные сводные результаты представлены в таблице.

На рис. 1–6 представлены графические зависимости влияния вида связующего на физико-механические свойства плит. На рис. 7, 8 показана структура плит с использованием совмещенного наполнителя (10 масс. ч. мономера ФА).

Выводы

1. Прочностные характеристики древесно-стружечных плит на основе стружки

из хвойных пород древесины выше, чем у плит на основе стружки лиственных пород, поскольку в древесину хвойных пород, обладающую большим поверхностным натяжением, клеевой состав впитывается меньше, при этом большее его количество остается на поверхности и участвует в склеивании смежных частиц. Показатели разбухания, водопоглощения и потери массы при горении плит, изготовленных из стружки хвойных пород, ниже, чем у плит из стружки лиственных пород, что объясняется большей степенью покрытия поверхности частиц наполнителя отвержденным клеевым составом, то есть большей защищенностью.

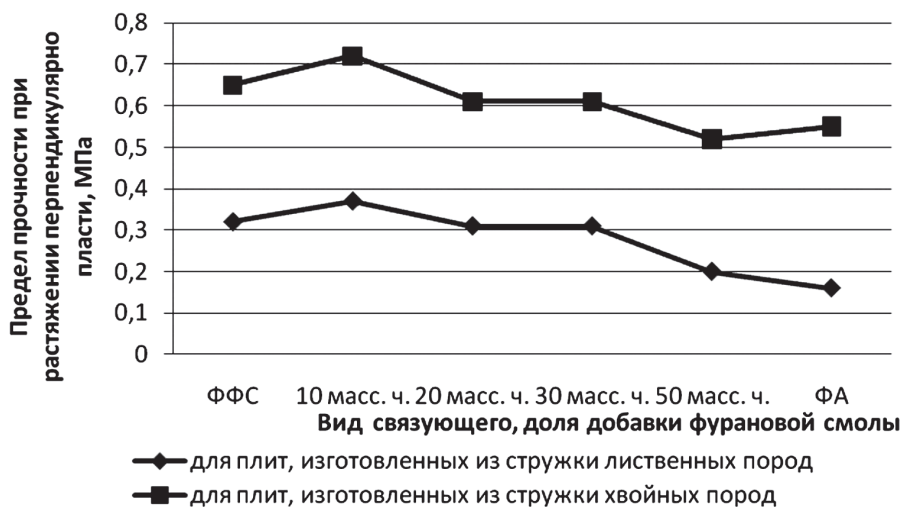


Рис. 2. Влияние вида связующего и доли добавки фурановой смолы на предел прочности плит при растяжении перпендикулярно пласти

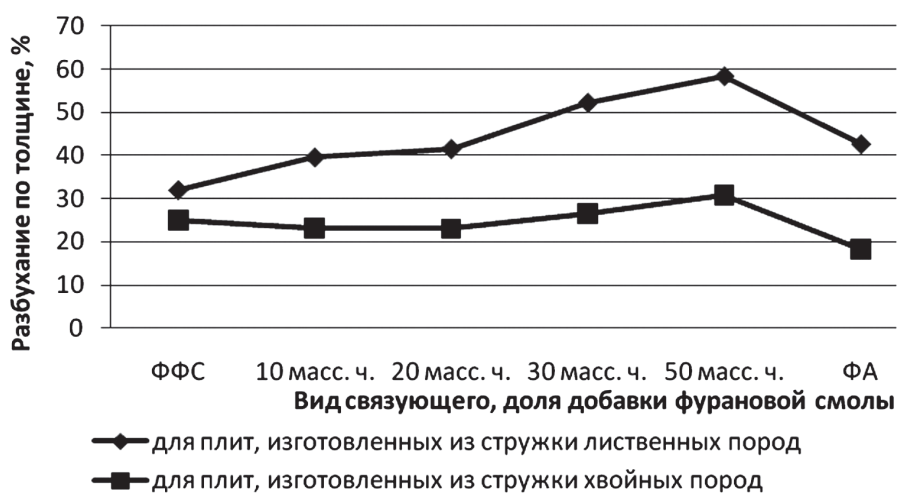


Рис. 3. Влияние вида связующего и доли добавки фурановой смолы на разбухание плит по толщине

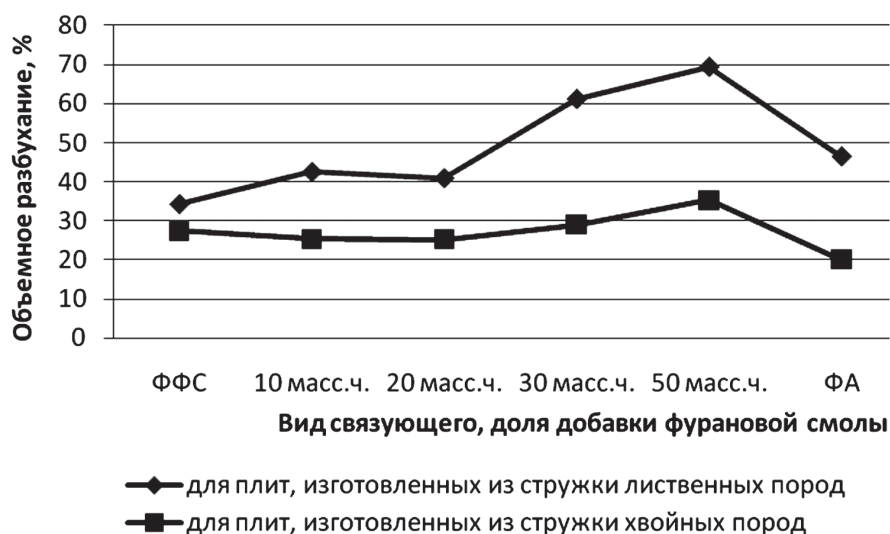


Рис. 4. Влияние вида связующего и доли добавки фурановой смолы на объемное разбухание плит

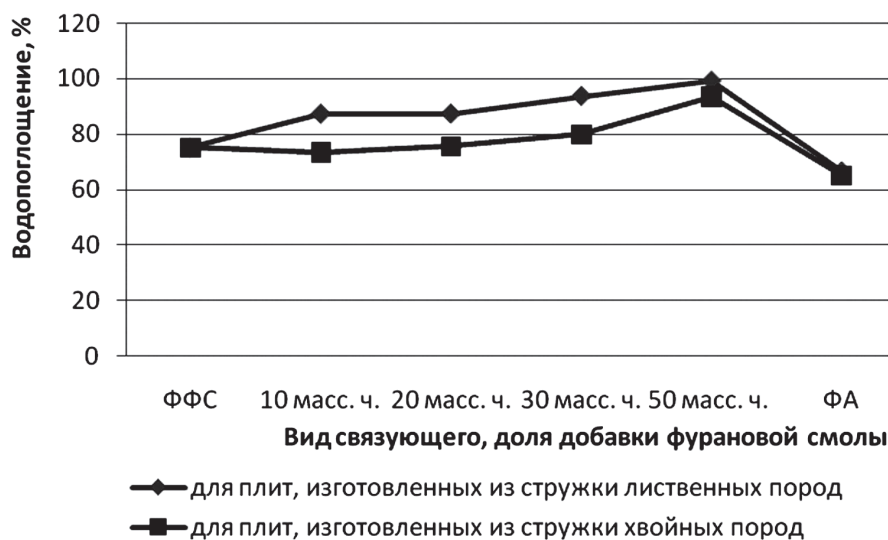


Рис. 5. Влияние вида связующего и доли добавки фурановой смолы на водопоглощение плит

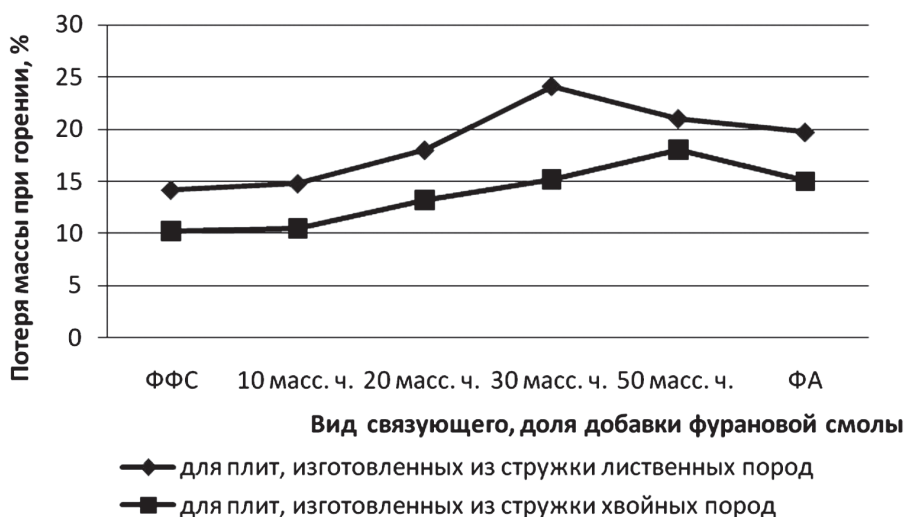


Рис. 6. Влияние вида связующего и доли добавки фурановой смолы на потерю массы плит при горении

2. Прочностные показатели у плит на основе фенолформальдегидной смолы несколько выше, чем у плит на основе мономера ФА. Поскольку поверхностное натяжение мономера ФА значительно ниже, он глубже проникает внутрь частиц наполнителя. На поверхности частиц при этом оказывается меньше клеевого состава, формируются более слабые клеевые связи.

3. Разбухание по толщине и водопоглощение плит на основе мономера ФА меньше в случае использования в качестве наполнителя стружки хвойных пород древесины. Плиты на основе стружки лиственных пород обладают большим разбуханием по толщине и водопоглощением за счет интенсивного впитывания лиственной древесиной мономера ФА.

4. При использовании совмещенного клея (смеси фенолформальдегидной смолы и мономера ФА) большая часть физико-механических показателей незначительно улучшается при небольшой доле вводимого мономера ФА (10 масс. ч).

При использовании стружки лиственных пород максимальное значение предела прочности имеют плиты на основе фенолформальдегидной смолы СФЖ-3013 (16,50 МПа), примерно такое же значение при добавке 10 масс. ч. мономера ФА (16,45 МПа). При увеличении доли добавки прочность снижается.

При использовании стружки хвойных пород максимальное значение предела прочности при изгибе имеют плиты, изготовленные с добавкой 10...20 масс. ч. мономера ФА (21,55 и 20,25 МПа соответственно). При даль-

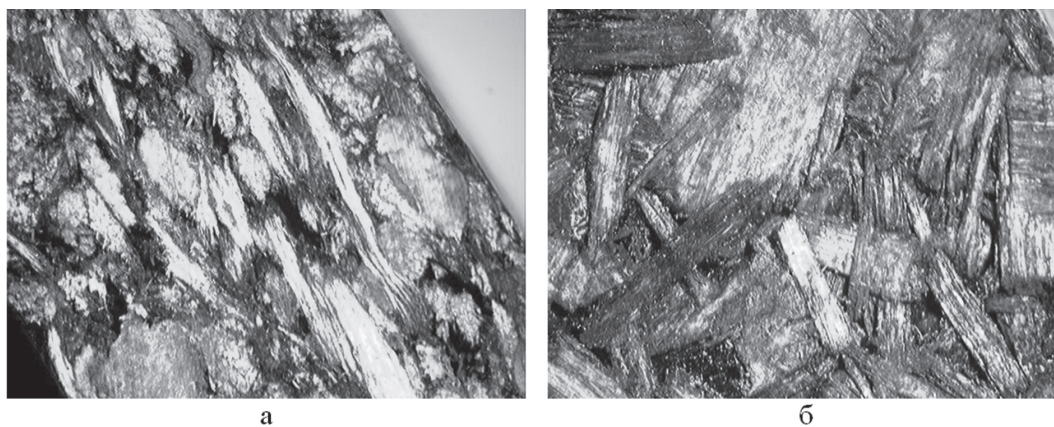


Рис. 7. Структура плиты на основе стружки лиственных пород древесины: а – кромка, б – пласть

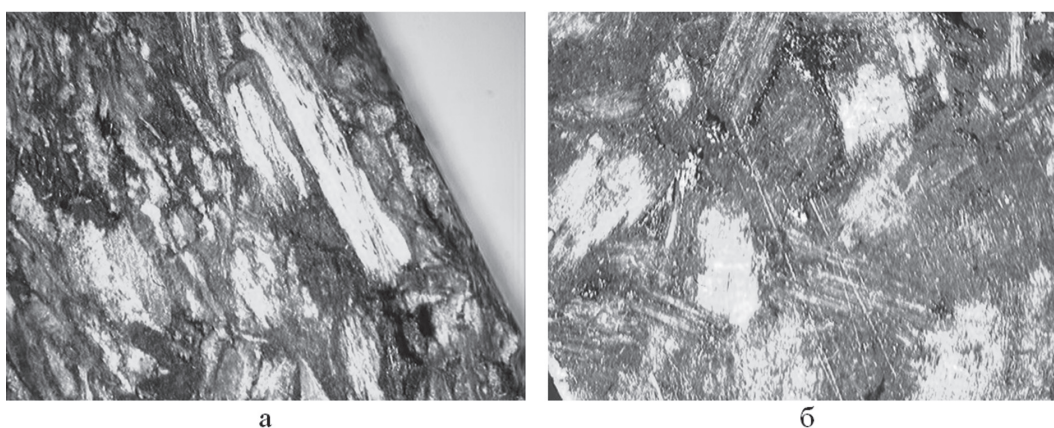


Рис. 8. Структура плиты на основе стружки хвойных пород древесины: а – кромка, б – пласть

нейшем увеличении доли мономера ФА значение предела прочности при изгибе снижается.

Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плит, изготовленных из стружки лиственных и хвойных пород, имеет сходную тенденцию. Максимальная прочность у плит, изготовленных с добавкой 10 масс. ч. мономера ФА (0,37 МПа – для лиственных; 0,72 МПа – для хвойных пород). При дальнейшем увеличении доли мономера ФА значение предела прочности снижается.

Показатели разбухания по толщине и водопоглощения при введении в клеевой состав 10 масс. ч мономера ФА снижаются только у плит на основе стружки хвойных пород древесины. Дальнейшее увеличение доли мономера ФА вызывает некоторое увеличение данных показателей.

5. Таким образом, целесообразно совмещение фенолформальдегидной смолы с мономером ФА в количестве 10 масс. ч. при производстве древесно-стружечных плит на основе стружки из хвойных пород древесины. При ис-

пользовании стружки из лиственных пород древесины значимого эффекта не наблюдается.

Библиографический список

1. Орбченко, Е.В. Фурановые смолы / Е.В. Орбченко, Н.Ю. Прянишникова. – Киев: Изд-во технической литературы, 1963. – 166 с.
2. Справочник по пластическим массам. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Т. II. / В.М. Катаева, В.А. Попова, Б.И. Сажина. – М.: Химия, 1975. – 568 с.
3. Тармошин, К.В. Структурообразование и свойства высоконаполненных фурановых композиций: дисс. ... канд. техн. наук / К.В. Тармошин. – М.: МНИИЖТ, 1983. – 168 с.
4. Кожевников, Д.А. Технология производства древесных плит на основе совмещенных наполнителей / Д.А. Кожевников, С.А. Угрюмов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 2. – 2012. – С. 139–144.
5. Брацыхин, Е.А. Технология пластических масс. 3-е изд., перераб. и доп. / Е.А. Брацыхин, Э.С. Шульгина. – Л.: Химия, 1982. – 328 с.
6. Технология пластических масс/ Под ред. В.В. Коршака. – М.: Химия, 1985. – 560 с.
7. Остер-Волков, Н.Н. Огнезащитные свойства мономера ФА / Н.Н. Остер-Волков // Пластические массы. – 1962. – № 2. – С. 16–18.

АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

В.Д. БУРКОВ, проф. каф «ИИС и ТП» МГУЛ, *д-р техн. наук*,
Н.А. ХАРИТОНОВ, с. н. с. каф. «ИИС и ТП» МГУЛ, *канд. техн. наук*,
А.Н. ДЕМИН, асп. каф. «ИИС и ТП» МГУЛ

burkov@mgul.ac.ru

Волоконно-оптические датчики (ВОД) магнитного поля и электрического тока находят в настоящее время все более широкое применение в измерительной технике благодаря целому ряду преимуществ перед традиционными методами измерений и датчиками [1, 2].

К преимуществам ВОД относятся пассивность чувствительного элемента (отсутствие электропитания), дистанционность измерений (расстояние от точки измерений до регистрирующей аппаратуры может составлять сотни метров), гальваническая развязка, высокая чувствительность и быстродействие, малый вес и габариты при высокой помехозащищенности от внешних воздействий. Эти качества ВОД важны при разработке и создании информационно-измерительных объектов РКТ.

Для создания ВОД магнитного поля для измерения электрического тока, протекающего по проводнику (измерение электрического тока на участке цепи), используются в основном три известных физических эффекта: эффект Фарадея [1, 2], эффект магнитострикции и эффект смещения проводника с током в магнитном поле под действием силы Лоренца [1–3]. В том случае, когда участок электрической цепи находится под напряжением, но цепь отключена от нагрузки, используются ВОД электрического поля на эффекте Поккельса [8].

Существует два основных типа ВОД: «цельноволоконные» датчики, в которых оптический волновод является как передающей средой, так и чувствительным элементом [1, 2, 5], и датчики с «объемным» чувствительным элементом, оптический волновод которых используется только как передающая сигнал среда, а чувствительным элементом является включенный в тракт материал, обладающий магнитооптическими или электрооптическими свойствами [3, 4]. В качестве таких материа-

лов используются парамагнетики – кристаллы и пленки ферритов – гранатов [9], диамагнитные стекла [10, 11] и кристаллы со структурой силленита – $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ [3, 12].

Для измерения сильных и средних значений магнитных полей и соответственно электрических токов (диапазон от 0,01 до 100 кА) применяются ВОД с чувствительными элементами на основе оптически активных кристаллов с кубической симметрией $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$. Кубическая структура этих кристаллов обуславливает изотропность диэлектрической проницаемости и, как следствие этого, отсутствие естественного линейного двулучепреломления [8]. Отсутствие естественного линейного двулучепреломления, в свою очередь, снимает жесткие ограничения на апертуры световых пучков в кристаллах, что позволяет согласовывать чувствительные элементы с многомодовыми оптическими трактами с достаточно малыми потерями. Кроме этого, отсутствие естественного линейного двулучепреломления, которое весьма чувствительно к температуре, существенно упрощает задачу создания термостабильных чувствительных элементов ВОД.

Кристаллы со структурой силленита и, в частности $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, обладают значительной величиной константы Верде $V = 0,1$ мин/Гс·см для $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $V = 0,188$ мин/Гс·см для $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, что в несколько раз превышает значения V для диамагнитных стекол [4, 7].

Область прозрачности $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ лежит в диапазоне длин волн $\lambda > 0,5$ мкм. Особенностью данных кристаллов является наличие собственного кругового двулучепреломления или оптической активности [4–12]. В частности, учет оптической активности необходим при выборе геометрии кристалла.

Чувствительность ВОД к магнитному полю и электрическому току определяется

коэффициентом преобразования чувствительного элемента (ЧЭ) как первичного измерительного преобразователя (ИПП), который пропорционален углу Фарадея ϕ . Коэффициент преобразования при заданных интенсивности света на входе ЧЭ определяется с помощью матриц Джонса.

Матрица Джонса для среды, обладающей как линейным, так и круговым двулучепреломлением (эллиптической фазовой пластины в базисе осей линейного двулучепреломления), имеет вид [14]

$$\hat{M} = \begin{pmatrix} \cos(mL) + i \frac{\beta}{m} \sin(mL) & \frac{C}{m} \sin(mL) \\ -\frac{C}{m} \sin(mL) & \cos(mL) - i \frac{\beta}{m} \sin(mL) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $m = \sqrt{C^2 + \beta^2}$, C – коэффициент кругового двулучепреломления, β – коэффициент линейного двулучепреломления, L – длина кристалла.

Для кристалла $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ в магнитном поле суммарное круговое двулучепреломление складывается из собственного и наведенного полем (эффект Фарадея) двулучепреломлений

$$C = \theta + F,$$

где θ – коэффициент собственного кругового двулучепреломления (оптической активности) в кристалле;

$$F = V \cdot H, \quad V – \text{константа Верде,}$$

H – проекция приложенного магнитного поля на направление распространения световой волны.

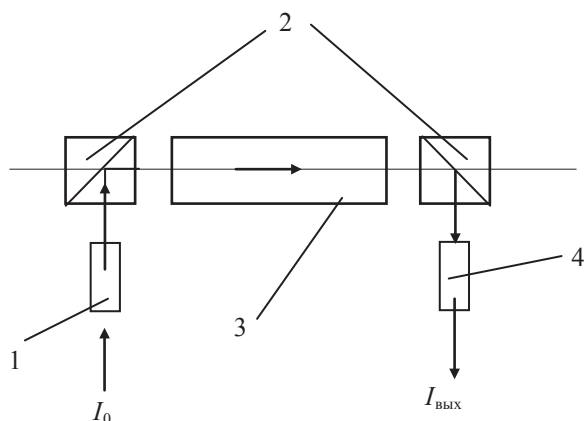


Рис. 1. Оптическая схема чувствительного элемента проходного типа: 1, 4 – градиентные линзы; 2 – поляризационные делительные кубики; 3 – магнитооптический кристалл; I_0 , $I_{\text{вых}}$ – интенсивность света на входе и выходе соответственно

В идеальных кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ собственное линейное двулучепреломление β отсутствует, так как кристалл имеет кубическую симметрию и является изотропным. На практике, вследствие несовершенства кристаллов, возникают внутренние напряжения и, как следствие этого, возникает линейное двулучепреломление. Однако для ограниченных длин оптического пути света в кристалле величина его мала по сравнению с величиной собственного кругового двулучепреломления θ [14], что позволяет упростить расчеты коэффициентов преобразования чувствительных элементов.

Известно, что одним из способов повышения чувствительности ВОД является увеличение угла Фарадея за счет увеличения оптического пути L света в кристалле при многократном прохождении. Однако увеличение L в $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ может привести к проявлению влияния ряда нелинейных эффектов и в том числе остаточного линейного двулучепреломления (ЛДП), которое всегда присутствует в $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, на магнитооптическую модуляцию света и коэффициент преобразования ВОД [3].

Анализ путей построения и характеристик ВОД электрических токов. Разработка метода измерения электрического тока на основе эффекта Фарадея в кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$

Рассмотрим оптическую систему однопроводного чувствительного элемента (рис. 1).

Матрица Джонса для такой системы имеет вид

$$M = R(\alpha)PR(-\alpha)M_{\text{BSO}}, \quad (2)$$

где

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

– матрица идеального линейного поляризатора, M_{BSO} – матрица кристалла, $R(\alpha)$ – матрица поворота на угол α , α – угол между разрешенными направлениями входного и выходного поляризаторов. Расчет состояния поляризации и интенсивности света на выходе такой системы аналогичен предыдущему, с учетом особенностей схемы дает следующие значения для интенсивности света I на выходе

$$I = I_0 \left[\frac{1}{2} (1 + \cos(2\alpha + 2CL)) - \beta L \frac{\beta}{2C} \sin(2\alpha + 2CL) + \frac{\beta^2}{4C^2} [2 \cos(2\alpha) - \cos(2\alpha + 2CL) + \sin(2\alpha) \sin(2CL)] \right] \quad (3)$$

Для того чтобы коэффициент преобразования и глубина модуляции магнитным полем были максимальными, необходимо выбрать значения L и α так, чтобы величина $\theta L + \alpha$ была близка к $\pi/4$. В этом случае

$$I = \frac{1}{2} I_0 [1 - 2FL \sin(2\alpha + 2L) + \cos(2\alpha + \theta L) - \beta L \frac{\beta}{\theta + F} \sin(2\alpha + 2CL)] \quad (4)$$

При получении выражения мы пренебрегли членами порядка β^2/C^2 .

Из выражения (4) следует, что наличие в кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ большой по сравнению с величиной собственной оптической активности θ ослабляет влияние собственного линейного двулучепреломления пропорционально коэффициенту β/θ , что позволяет не учитывать β в дальнейшем рассмотрении.

В случае измерения переменного магнитного поля $H = H_0 \cos(\omega t)$ сигнал представляет собой сумму переменной составляющей с амплитудой пропорциональной H_0 и постоянной составляющей, зависящей от медленно меняющейся температуры. Используя полосовой фильтр, мы можем выделить переменную составляющую сигнала на частоте ω и не учитывать в дальнейшем рассмотрении постоянную составляющую сигнала пропорциональную $\cos(2\theta L + 2\alpha)$. Следовательно, для переменного магнитного поля H интенсивность I на выходе ЧЭ будет иметь вид

$$I = -I_0 VHL \sin(2\theta L + 2\alpha) \quad (5)$$

Таким образом, изменение коэффициента преобразования ЧЭ при изменении температуры окружающей среды определяется, в основном, двумя факторами: температурным дрейфом константы Верде V материала и изменением от температуры величины коэффициента собственной оптической активности θ .

Для достижения максимальной величины коэффициента преобразования необходимо сориентировать поляризаторы таким образом, чтобы выполнялось соотношение

$2\theta L + 2\alpha = 90^\circ$, где α – угол между разрешенными направлениями входного и выходного поляризаторов. В этом случае температурный коэффициент преобразования ЧЭ будет, как и в отражательной схеме, определяться только дрейфом константы Верде V и составит $1,5^\circ$ на 100°C . В то же время, поскольку V и θ в выражении (4) имеют температурные коэффициенты противоположных знаков, в принципе должны существовать условия, при которых температурный дрейф коэффициента преобразования ЧЭ может быть уменьшен. Анализ показывает, что теоретически для определенных длин кристаллов и ориентаций поляризаторов температурный дрейф ЧЭ может быть снижен до величины $\sim 0,2\%$ на 100°C [10].

Рассмотрим оптическую систему двухпроходного чувствительного элемента магнитного поля (рис. 2).

Особенностью двухпроходной или «отражательной» системы является то, что величины собственного линейного двулучепреломления и наведенного магнитным полем (эффектом Фарадея) кругового двулучепреломления суммируются за прямой и обратный проход кристалла чувствительного элемента.

Состояние поляризации световой волны на выходе системы описывается вектором Максвелла

$$\vec{A} = \begin{bmatrix} \vec{E}_x \\ \vec{E}_y \end{bmatrix} = R(\pi/4) \cdot P \cdot R(-\pi/4) \times M(m2, C2)^T M(m1, C1) \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

где E_x и E_y – компоненты вектора напряженности электрического поля световой волны.

Полагая, что $\beta \ll \theta$, магнитное поле H и длина кристалла L достаточно малы, так, что $F = VH \ll \theta$, $\beta L \ll \pi/2$, $FL \gg \pi/2$, интенсивности световой волны на выходе

$$I = \vec{A}\vec{A} = 1/2 \cdot I_0 \{ 1 - 4FL + \beta (\beta/\theta^2) \times (\sin(2\theta L) - \cos(2\theta L) + 1)^2 \}, \quad (7)$$

где I_0 – интенсивность излучения на входе чувствительного элемента.

Как известно из литературы [9], величина собственного линейного двулучепреломления β для $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ составляет $\sim 10^2$ рад/мм, а

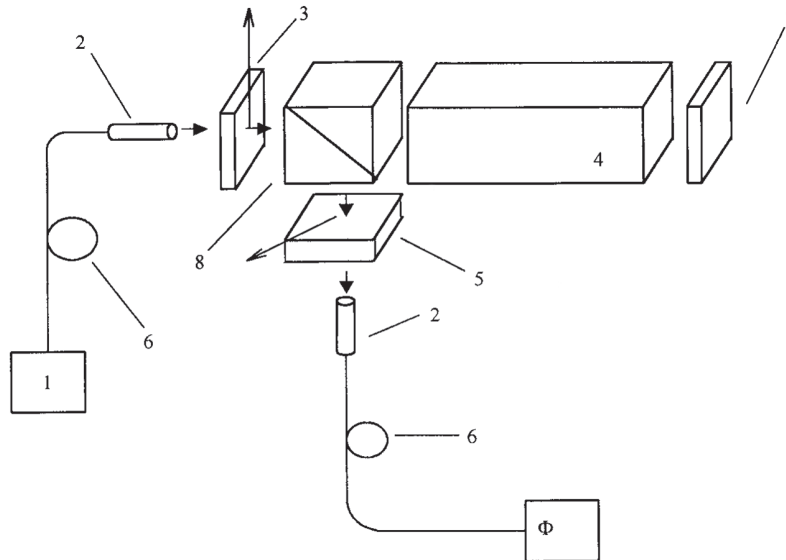


Рис. 2. Оптическая система двухпроходного чувствительного элемента: 1 – источник излучения; 2 – градиентная линза, 3 – входной поляризатор; 4 – магнитооптический материал; 5 – анализатор (выходной поляризатор); Ф – фотоприемник; 6 – волоконный световод; 7 – зеркало; 8 – неполяризующий делитель светового пучка

его относительный температурный дрейф лежит в пределах 1 % в диапазоне температур 0–100 °С. В этом случае, как показывает анализ выражения (7), вклад β в магнитооптическую модуляцию света не превышает 0,02 % и им можно пренебречь. Таким образом, выражение (7) можно записать в виде:

$$I = 1/2 I_0 \cdot (1 - 4FL) = S I_0 \cdot (1 - 4VHL). \quad (8)$$

Коэффициент преобразования чувствительного элемента определяется как антенное изменение интенсивности излучения на единицу магнитного поля при протекании электрического тока

$$S = 1/I_0 \cdot [dI/dH]_{H=0}.$$

Для двухпроходного чувствительного элемента согласно формуле (5) он имеет вид

$$S = 2VL. \quad (10)$$

Таким образом, коэффициент преобразования двухпроходного чувствительного элемента зависит только от константы Верде и длины кристалла. Следовательно, температурный дрейф коэффициента преобразования (чувствительность датчика) будет определяться только дрейфом константы Верде материала и для кристаллов $Bi_{12}SiO_{20}$, $Bi_{12}GeO_{20}$ этот температурный дрейф не превышает ~1,0 % на 100 °С.

Рассмотрим оптическую систему (рис. 3) и математическую модель системы многопроходного ЧЭ.

Матрица Джонса для такой среды имеет вид [2, 3, 4]

$$M = \begin{pmatrix} \cos(mL_n) + i \frac{\beta}{m} \sin(mL_n) & \frac{C}{m} \sin(mL_n) \\ -\frac{C}{m} \sin(mL_n) & \cos(mL_n) - i \frac{\beta}{m} \sin(mL_n) \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где $m = \sqrt{C^2 + \beta^2}$;

C – коэффициент кругового двулучепреломления;

β – коэффициент ЛДП;

L_n – длина единичного пробега луча по кристаллу.

Состояние поляризации световой волны на выходе ЧЭ при линейной поляризации на входе описывается вектором Максвелла

$$\vec{A} = \begin{bmatrix} \vec{E}_x \\ \vec{E}_y \end{bmatrix},$$

где \vec{E}_x , \vec{E}_y – компоненты напряженности электрического поля световой волны.

Для многопроходной схемы ВОД (рис. 3) с четным числом проходов луча по кристаллу вектор Максвелла имеет вид

$$\vec{A} = R(\alpha)PR(-\alpha) \left(\prod M(m2, C2) \right)^T \times \times M(m1, C1) \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

где $N = 2(n+1)$, $n = 0, 1, 2, \dots$;

α – это угол между разрешенными направлениями входного и выходного поляризаторов;

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

– матрица идеального линейного поляризатора;

$R(\alpha)$ – матрица поворота на угол α в двумерной прямоугольной системе координат;

$M(m_1, C_1)$ и $M(m_2, C_2)$ – матрицы Джонса для кристалла со структурой силленита, описывающие соответственно прямой и обратный пробоги луча света $C_1 = \theta + F$;

$$C_2 = \theta - F; m_l = \sqrt{C_1^2 + \beta^2}; m_r = \sqrt{C_2^2 + \beta^2}.$$

Интенсивность света I на выходе ЧЭ, определяется как $I = \overline{A+A}$ и представляет собой сложную функцию, зависящую от магнитного поля H от протекающего электрического тока и параметров ЧЭ

$$I = \overline{A A} = I(H, V; \theta, \beta, L_n, N), \quad (13)$$

где L_n и N – длина одиночного пробега луча по кристаллу и число таких пробегов соответственно.

По определению коэффициент преобразования S равен

$$S = 1/I_0 [dI(H, \beta, L_n, N, \theta) / dH]_{H=0}. \quad (14)$$

Пренебрегая потерями на отражение от граней кристалла и принимая интенсивность света I_0 на входе равной 1, получаем

$$S = 1/I_0 [dI(H, \beta, L_n, N, \theta) / dH]_{H=0}. \quad (15)$$

В [10] было показано, что в случае $\beta L \ll \pi/2$, коэффициент преобразования для двухпроходного ЧЭ не зависит от магнитного поля и оптической активности и равен $S = 2VL$ вследствие того, что в схемах с четным числом проходов значения оптической активности вычитаются за прямой и обратный проходы, а фарадеевское вращение складывается. Очевидно, что данный эффект будет иметь место и для любого числа четных проходов по кристаллу за счет взаимной компенсации оптической активности за прямой и обратный проходы и соответствующего возрастания угла Фарадея, и коэффициент преобразования будет расти линейно с ростом длины оптического пути.

Однако, если условие $\beta L \gg \pi/2$ не выполняется, то выражения для интенсивности световой волны I на выходе кристалла и ко-

эффициента преобразования ЧЭ становятся сложными функциями параметров кристалла и магнитного поля. Согласно справочным данным различных авторов величина остаточного β для $Bi_{12}GeO_{20}$ лежит в пределах (2,3+7,1) рад/м, поэтому условие $\beta L \gg \pi/2$ может нарушаться при L , равном нескольким сантиметрам.

Кроме этого, в многопроходном чувствительном элементе условие малости угла Фарадея ($\varphi \ll \pi/2$) может нарушаться и это также приведет к нелинейной зависимости I и H_0 или L , связанной с характеристикой пропускания системы поляризаторов ЧЭ.

Проводился численный расчет глубины модуляции света магнитным полем в ЧЭ, которая определялась как отношение интенсивностей света на выходе и входе ЧЭ. Интенсивность света I на выходе многопроходного чувствительного элемента вычисляется по формуле (13) с учетом (12) и на длине волны излучения $\lambda = 0,85$ мкм (при значении константы Верде $V = 3,1 \cdot 10^{-4}$ град/Э·мм и оптической активности $\theta = 9,6$ град/мм).

На рис. 4 приведены расчетные зависимости глубины модуляции k от полной длины оптического пути L в ЧЭ при единичной длине

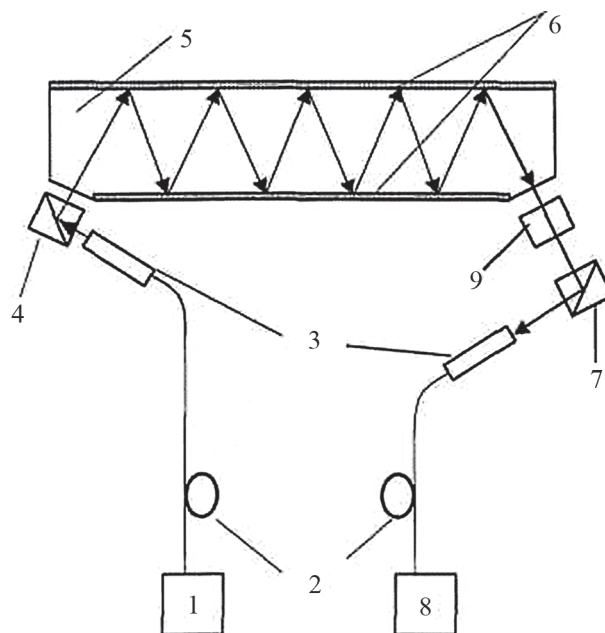


Рис. 3. Оптическая система многопроходного чувствительного элемента: 1 – источник излучения; 2 – оптические волокна; 3 – градиентные линзы; 4, 7 – призмные поляризаторы; 5 – кристалл $Bi_{12}GeO_{20}$; 6 – диэлектрические зеркала; 8 – фотоприемник; 9 – ротатор $\pi/4$

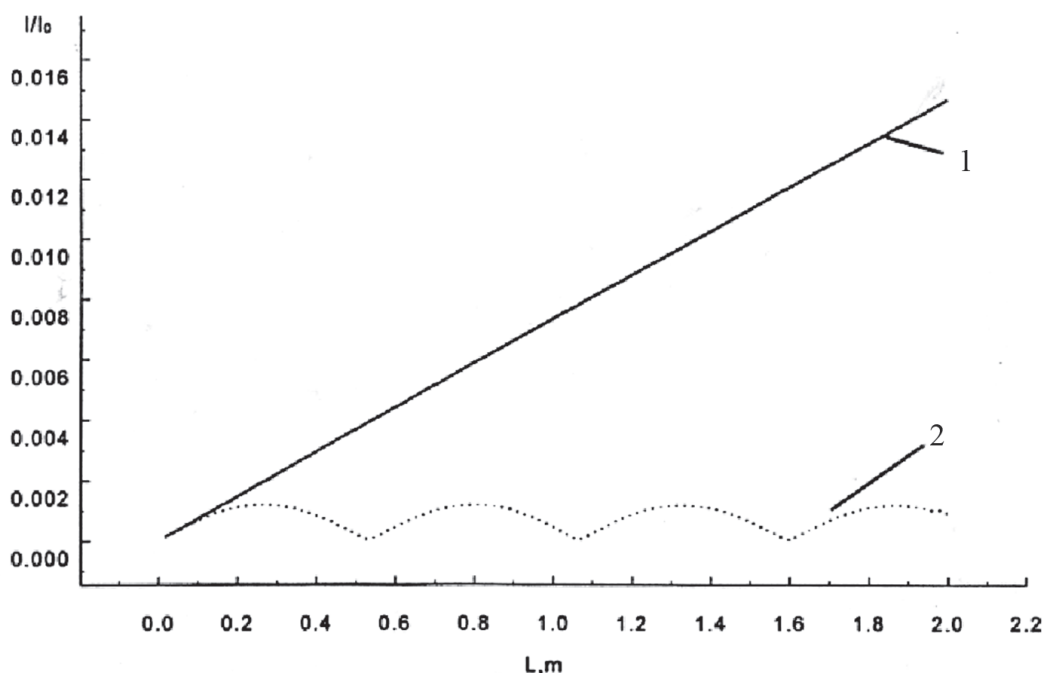


Рис. 4. Зависимость глубины модуляции m многопроходной системы с четным числом пробогов ЧЭ ВОД от полной длины оптического пути L для длины единичного пробога $L_n = 0,0087$ м и линейным двулучепреломлением: 1 – $\beta = 0$ рад/м; 2 – $\beta = 4,7$ рад/м. Амплитуда магнитного поля от протекающего электрического составляла 80 кА/м

пробога $L_n = 8,7$ мм в случае $\beta = 0$ (кривая 1) и $\beta = 4,7$ рад/м (кривая 2) для величины магнитного поля $H = 8 \cdot 10$ А/м. Из этого рисунка видно, что уже при двух проходах коэффициенты модуляции начинают различаться и увеличение полной длины оптического пути L за счет увеличения числа проходов луча в кристалле при наличии ЛДП не дает увеличения глубины модуляции, а наоборот, может привести к ее уменьшению. В общем случае при измерении сильных магнитных полей глубина модуляции при учете ЛДП имеет периодическую зависимость от длины пути L . Однако это имеет место не для всех длин единичных проходов L_n . Как показали расчеты, существует интервал таких значений L_n , при которых влияния ЛДП не наблюдается до значений L , равных нескольким метрам.

Из графика видно, что наличие остаточного ЛДП приводит к нелинейной зависимости коэффициента преобразования от длины оптического пути. Физически это объясняется тем, что в среде, обладающей круговым и линейным двулучепреломлением, собственные волны являются не линейно, а эллиптически поляризованными, то есть возникает дополнительный сдвиг фаз, зависящий от L .

Однако можно подобрать такие длины кристалла, при которых влияние ЛДП (по крайней мере в пределах $\beta < 7,1$ рад/м) на глубине модуляции практически не сказывается. Следовательно, при конструировании многопроходных ЧЭ ВОД электрического тока на основе кристаллов $Bi_{12}GeO_{20}$ существенным является выбор длины единичного пробога света в кристалле.

Выводы

1. Последние достижения магнитооптикоэлектроники создают предпосылки для создания надежных и малогабаритных волоконно-оптических датчиков, предназначенных для бесконтактного измерения и контроля электрического тока в сигнальных и силовых цепях радиоэлектронной аппаратуры, силовых проводах и кабелях.

2. Наиболее перспективным для создания датчиков является использование эффекта Фарадея в магнитооптическом кристалле со структурой силленита ($Bi_{12}SiO_{20}$, $Bi_{12}GeO_{20}$, $Bi_{12}TiO_{20}$), расположенном в разрыве волоконно-оптического тракта датчика. Их преимуществами являются высокое значение констан-

ты Верде, слабая зависимость от температуры, стабильность оптических свойств, малые габариты, доступность и технологичность.

3. Проведенный теоретический анализ и полученные экспериментальные результаты показывают, что среди возможных реализации оптических систем чувствительных элементов датчиков (однопроходная система, двухпроходная система, многопроходная система) в силу широкого динамического диапазона, низкой достигаемой основной и дополнительной погрешностей, простоте и функциональности оптимальной является однопроходная система чувствительного элемента

Библиографический список

1. Бурков, В.Д. Научные основы создания устройств и систем волоконно-оптической техники / В.Д. Бурков, Г.А. Иванов. – М.: МГУЛ, 2008.
2. Бурков, В.Д. Экоинформатика: Алгоритмы, методы и технологии: монография / В.Д. Бурков, В.Ф. Крапивин. – М.: МГУЛ, 2009.
3. Бурков, В.Д. Теория, расчет и проектирование приборов и систем: лабораторный практикум / В.Д. Бурков, В.Т. Потапов, Т.В. Потапов, М.Е. Удалов. – М.: МГУЛ, 2010.
4. Бурков, В.Д. Теория, расчет и проектирование волоконно-оптических приборов и систем: практикум / В.Д. Бурков, В.Т. Потапов. – М.: МГУЛ, 2011.
5. Бурков В.Д. Отработка технологических параметров и режимов изготовления волоконно-оптических световодов методом регрессионного анализа. Учебно-методическое пособие / В.Д. Бурков, В.А. Беляков, Д.А.Голодушкин, А.И. Кофанов и др. – М.: МГУЛ, 2013.
6. Бурков, В.Д. Испытательный стенд для исследования оптических и волоконно-оптических приборов и систем / В.Д. Бурков, Л.В. Леонов, С.В. Перминов, И.А. Урванцев, и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 3. – 2012. – С. 180–183.
7. Бурков, В.Д. Лабораторный комплекс «Математическое моделирование чувствительного элемента волоконно-оптического датчика магнитного поля и электрического тока» / В.Д. Бурков, В.Т. Потапов, С.И. Чумаченко, М.Е. Удалов и др. // Свидетельство ОФАП об отраслевой регистрации разработки МГУЛ № 2561 от 17.06.2003.
8. Бурков, В.Д. Лабораторный комплекс «Моделирование технологического процесса измерения параметров волоконно-оптических световодов и волоконно-оптических кабелей» / В.Д. Бурков, В.Т. Потапов, С.И. Чумаченко, М.Е. Удалов и др. // Свидетельство ОФАП об отраслевой регистрации разработки МГУЛ № 2562 от 17.06.2003.
9. Базаров, Е.Н. Лабораторный практикум по волоконно-оптической технике / Е.Н. Базаров, В.Д. Бурков, В.Т. Потапов, Ю.К. Чаморовский. – М.: МГУЛ, 1998.
10. Бурков, В.Д. Миниатюрный волоконно-оптический датчик электрического тока / В.Д. Бурков, А.Н. Демин // Сб. науч. статей докторантов и аспирантов МГУЛ, 2013. – С. 31–39.
11. Патент РФ № 2213356, В.Д. Бурков, Болдырева А.Ю., Исаков В.Н., Кузнецова В.И., Кухта А.В., Малков Я.В., Потапов В.Т., Потапов В.Т., Удалов М.Е., Шалаев В.С. «Волоконно-оптический датчик магнитного поля и электрического тока». Заявл. МГУЛ 28.06.2000, опубл. 27.09.2003.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ВЫЕМКЕ И МЕЖДУ ДВУМЯ ТЕЛАМИ

В.И. МЫШЕНКОВ, *проф. каф. прикл. мат. и мат. моделирования МГУЛ, д-р физ.-мат. наук*,
Е.В. МЫШЕНКОВА, *доц. «НИУ «МЭИ», канд. физ.-мат. наук*

myshenkov.@mgul.ac.ru

Явление отрыва потока встречается во многих отраслях техники, связанных с движением жидкости и газа, и вызывается воздействием различных устройств: уступов, ступенек, выемок и других элементов. Практически при обтекании любого выпуклого тела возникает отрывное течение. Исследованию отрыва потока посвящено много экспериментальных и теоретических работ [1, 2], в которых получен ряд важных результатов. В настоящей работе рассматривается

отрывное течение, возникающее в выемке и между двумя последовательно расположенными телами при числах Рейнольдса $Re_\infty \leq 200$, поскольку при больших числах Re_∞ обнаружилась неустойчивость используемой разностной схемы. Ранее подобные задачи рассматривались для случая течения несжимаемой жидкости и результаты их носили в основном качественный характер [3, 4]. Поскольку задача об обтекании выемки является моделью задачи обтекания иллюминатора

космического аппарата, она является практически актуальной.

Расчеты рассматриваемых задач проведены при числах Рейнольдса $1 \leq Re_\infty \leq 100$ и числах Маха набегающего потока $0,3 \leq M_\infty \leq 2$, а поэтому при малых Re_∞ и больших M_∞ , очевидно, соответствуют области течения разреженного газа. Для определения режима течения газа в рассматриваемых задачах воспользуемся предложенной Тзяном [5] классификацией областей течения, согласно которой течения при числах Кнудсена $Kn = M_\infty / Re_\infty^{1/2} < 0,01$ считаются областью течения сплошной среды; при числах Кнудсена в диапазоне $0,01 \leq Kn \leq 1$ – областью течения со скольжением; а при числах Кнудсена $Kn \geq 10$ – областью свободномолекулярного течения. Поскольку результаты расчетов рассматриваемых задач получены в диапазоне чисел Кнудсена $0,003 \leq M_\infty / Re_\infty^{1/2} \leq 0,3$, то следует признать исследуемые течения относящимися к области течения со скольжением. Однако в работе [1] показано, что влияние скольжения на давление в отрывных зонах оказывается порядка (u_s / u_∞^2) , где u_s – скорость скольжения, u_∞ – скорость набегающего потока. Величина u_s определяется из выражения $u_s = \Lambda du/dy$, где Λ – длина свободного пробега молекул. Так как интервал исследованных значений отношения (u_s / u_∞) составлял от 0,01 до 0,2, то влиянием скольжения на характеристики течения в большинстве расчетов можно пренебречь, а течение рассматривать как течение сплошной среды с граничными условиями прилипания на стенке.

Рассмотрим плоские задачи течения совершенного газа в выемке и между двумя последовательно расположенными телами при условии, что параметры потока заданы на границах исследуемых областей: на бесконечности по ξ, η , на поверхности обтекаемых тел, на некотором расстоянии от левой стенки выемки вверх по потоку (ξ, η – прямоугольная система координат). Решение задачи будем искать с помощью уравнений Навье–Стокса в верхней полуплоскости, которую для удобства интегрирования отобразим посредством преобразования $x = \xi / (\xi^2 + 1)^{1/2}, y = \eta / (\eta^2 + 1)^{1/2}$ в прямоугольную область с координатами $-1 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ (рис. 1).

Задачу будем решать методом установления, предполагая существование и единственность решения при достаточно гладких краевых условиях. Поток считаем текущим слева направо. Используемая система уравнений и двухшаговая разностная схема Лакса–Вендроффа приведены в работах [6–8]. В качестве определяющих параметров примем параметры набегающего потока: ρ, u, v, e – плотность, продольную и поперечную составляющие скорости, внутреннюю энергию газа соответственно, μ – динамическую вязкость, а в качестве характерного размера – глубину выемки h_0 . Нижние индексы у переменных ∞, w обозначают переменные на бесконечности и на стенке соответственно.

Граничные условия рассматриваемых задач

1) $\rho = u = 1, v = 0, e = e_\infty$ – при $x = 1, 0 \leq y \leq 1$; и при $y = 1, -0,8 \leq x \leq 1$;

2) $\rho = \varphi_1(y), u = \varphi_2(y), v = \varphi_3(y), e = \varphi_4(y)$ – при $x = -0,8, 0,5 \leq y \leq 1$;

3) $u = v = 0, e = e_w$ – при $y = 0,5, -0,8 \leq x \leq -0,5, 0,5 \leq x \leq 0,95$;

и при $x = \pm 0,5, 0 \leq y \leq 0,5$;

4) $u = v = 0, e = e_w$ или $\partial \rho / \partial y = \partial u / \partial y = \partial e / \partial y = v = 0$ (на оси симметрии для задачи обтекания двух тел) – при $y = 0, -0,5 \leq x \leq 0,5$.

Здесь φ_i – функции, задающие параметры на левой границе расчетной области. Для простоты в настоящих расчетах φ_i принимались постоянными, равными соответствующим параметрам на бесконечности. В случаях 3) и 4) ρ_w определялось из уравнения неразрывности.

Начальные значения полей переменных ρ, u, v, e в области счета первоначально задавались довольно произвольно. В дальнейшем, однако, для ускорения счета в качестве начальных данных при решении задачи для заданных чисел Re, M_∞ использовалось полученное ранее решение для некоторых других значений определяющих параметров.

Решение считалось установившимся, если норма разности векторов продольной составляющей скорости во всей области счета удовлетворяло условию $\|U_{k+50} - U_k\| \leq 1,5 \cdot 10^{-4}$. Здесь U_k – вектор продольной составляющей

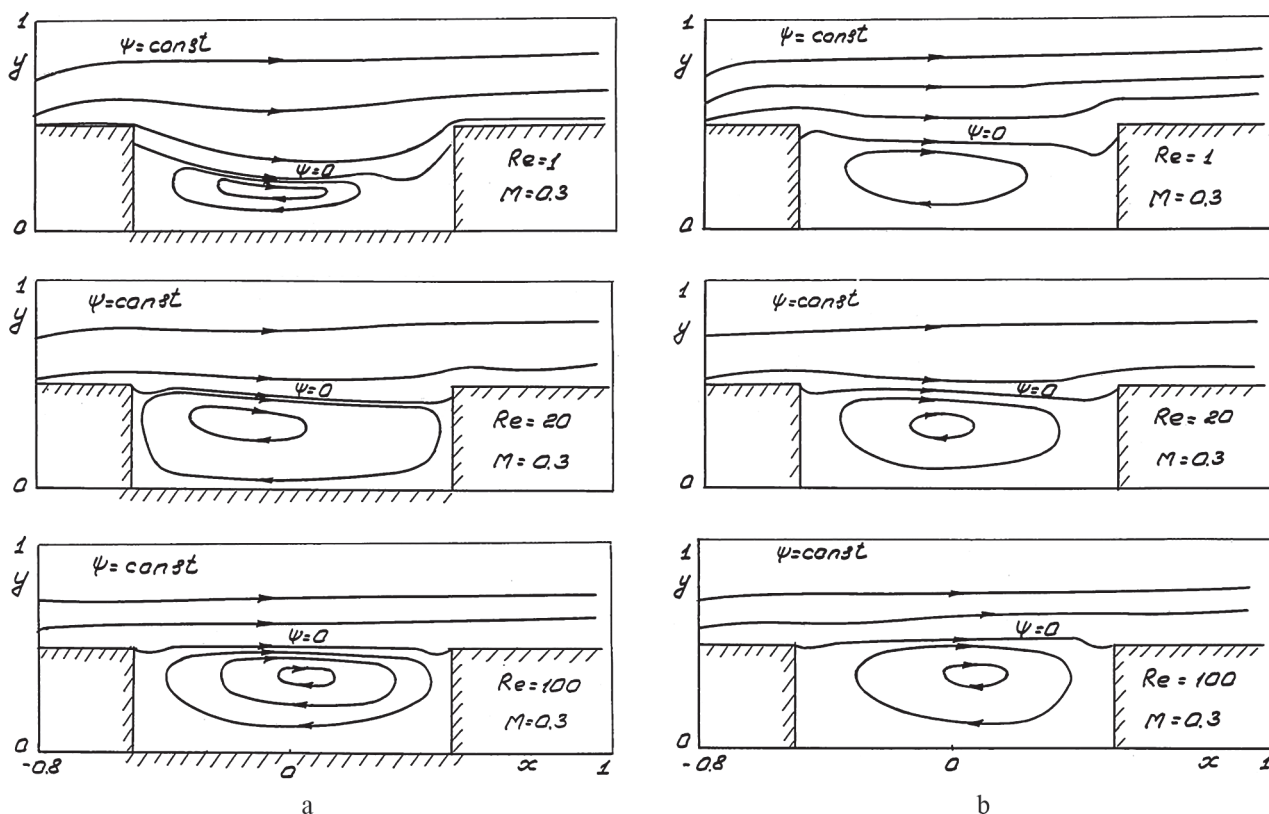


Рис. 1. Картина течения при различных числах Re_∞ и $M_\infty = 0,3$: а) в выемке; б) между телами

скорости в момент времени $t = k\Delta t$, Δt – шаг по времени при численном счете, k – номер шага по времени.

Решение рассматриваемой задачи получено в следующих диапазонах изменения определяющих параметров исследуемого течения: чисел Маха $0,3 \leq M_\infty \leq 2$, чисел Рейнольдса $Re_\infty = \rho_\infty u_\infty h_0 / \mu_\infty$, $1 \leq Re_\infty \leq 100$, при числе Прандтля $Pr = 0,71$, показателе адиабаты $\gamma = 1,4$, температуре газа $T_\infty = 300\text{K}$.

Расчеты показали, что картины течения в выемке и между двумя телами имеют циркуляционный, вихревой характер (рис. 1, где приведено изменение функции тока при $M_\infty = 0,3$ и различных числах Re_∞). Причем интенсивность вихря в выемке меньше, чем между двумя телами, и это расхождение возрастает с уменьшением числа Re_∞ и увеличением числа M_∞ благодаря усилению тормозящего воздействия нижней стенки. Точки отрыва потока на подветренной стенке и прилипания на наветренной в обоих случаях (выемки и между телами) практически совпадают во всех исследованных диапазонах чисел Re_∞ и M_∞ . С увеличением Re_∞ они стремятся занять по-

ложение близкое к угловым кромкам, причем точка прилипания потока выходит на угловую кромку раньше. Однако координата положения нулевой линии тока при числах $Re_\infty \leq 10$ располагается значительно ниже, чем в случае течения между телами. При числах $Re_\infty \geq 20$ они практически совпадают. Центр вихря при малых числах Re_∞ у выемки несколько смещен к подветренной стенке в сравнении со случаем течения между телами и находится между подветренной стенкой и центральным сечением выемки. С увеличением числа Re_∞ при $Re_\infty \geq 100$ центр вихря перемещается ближе к наветренной стенке за центральное сечение выемки и практически совпадает с положением центра вихря течения между телами.

Распределение давления на верхних поверхностях рассматриваемых тел (при $y = 0,5$) с изменением числа Re_∞ при $M_\infty = 0,3$ меняется практически одинаково (рис. 2, пунктирные линии). Лишь за выемкой наблюдается некоторое расхождение величин давления, не превышающее 1–2%. При больших числах $Re_\infty \geq 100$ и $M_\infty = 0,3$ давление на верх-

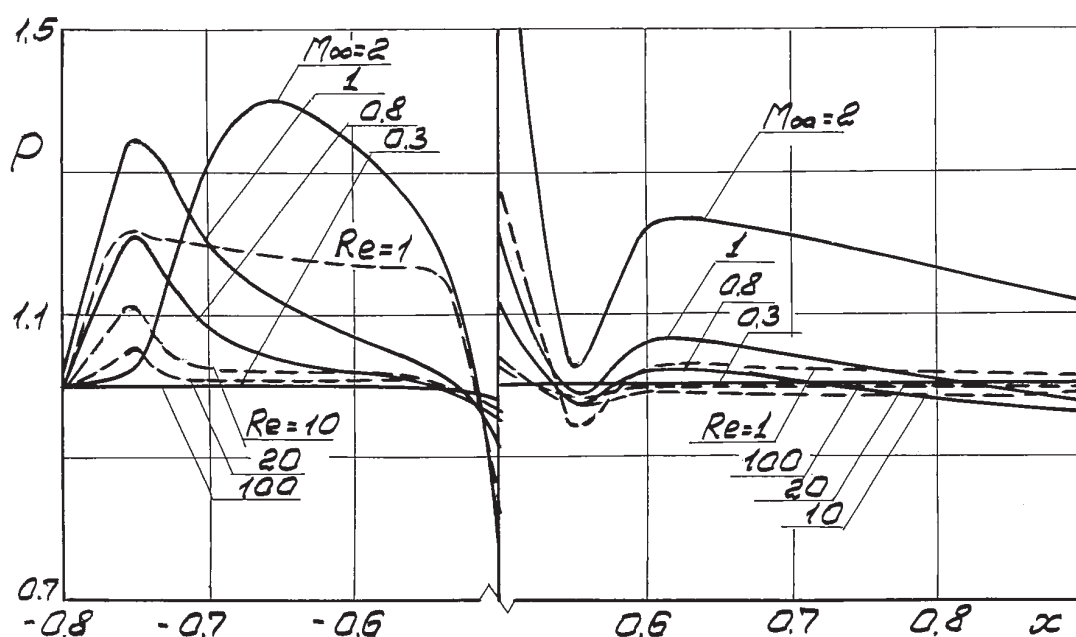


Рис. 2. Распределение давления на верхней поверхности выемки при $M_\infty = 0,3$, $Re_\infty = var$ (пункт. линии) и $Re_\infty = 100$, $M_\infty = var$ (сплошные. линии)

них стенках почти постоянно и равно давлению на бесконечности в набегающем потоке. Только у угловой кромки перед выемкой возникает небольшая волна разрежения. Повышение давления у угловой кромки наветренной стенки выемки при $Re_\infty = 100$ небольшое. С уменьшением числа Re_∞ у входной границы области счета (в силу принятого граничного условия $\delta = 0$) возникает область повышенного давления (пик давления), которая далее к выемке пропадает. С уменьшением Re_∞ градиент давления у угловой кромки перед выемкой увеличивается, а само давление уменьшается. За этим пиком давления далее следует область разрежения, усиливающаяся с уменьшением числа Re_∞ . Давление в среднем на верхней поверхности за выемкой (и на поверхности второго тела) с уменьшением числа Re_∞ в диапазоне $1 \leq Re_\infty \leq 100$ вначале несколько уменьшается, а при $Re_\infty = 1$ становится выше, чем при $Re_\infty = 100$.

Увеличение числа M_∞ при постоянном $Re_\infty = 100$ (рис. 2, сплошные линии) оказывает такое же воздействие на распределение давления на верхней поверхности рассматриваемых тел, как и уменьшение числа Re_∞ . При $M_\infty = 2$ положение пика давления смещается вниз по потоку. От стенки в результате взаимодействия набегающего потока с вязким

слоем отходит слабая ударная волна, интенсивность которой возрастает с увеличением числа M_∞ . Градиенты давления и величина давления на стенке с увеличением числа M_∞ возрастают. При $M_\infty > 1$ у угловой кромки за выемкой возникает ударная волна, а за ней область разрежения, усиливающаяся с числом M_∞ . Далее давление снова повышается, достигая некоторого максимума, после чего падает. Максимальные градиенты давления в обеих задачах имеют место в окрестности угловых кромок. Совпадение распределений давления на верхней поверхности рассматриваемых тел объясняется тем, что характер вихревого течения в выемке и между двумя телами (например, линии тока (рис. 1a, 1b) при умеренных числах Re_∞ и M_∞ почти одинаков. Лишь при малых числах $Re_\infty \leq 10$ и больших $M_\infty \geq 2$ обнаруживаются различия в картинах течения. Тормозящее действие нижней стенки выемки при этом усиливается, что существенно сказывается на скорости возвратного течения.

Давление на большей части подветренной стенки выемки при $M_\infty = 0.3$ и числах Рейнольдса $10 \leq Re_\infty \leq 100$ не меняется, оставаясь близким давлению в набегающем потоке (рис. 3a, пунктирные линии). Только у угловой кромки образуется область раз-

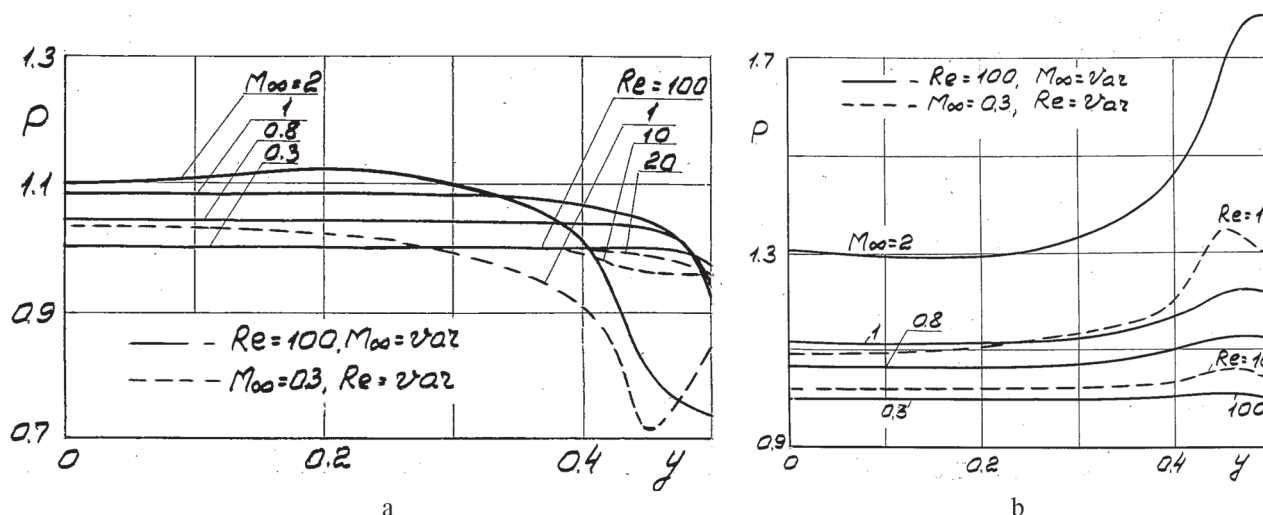


Рис. 3. Распределение давления при различных числах Re_∞ и M_∞ : а) на подветренной стенке выемки; б) на наветренной стенке выемки

режения, усиливающаяся с уменьшением Re_∞ . При $Re_\infty \leq 10$ распределение давления на стенке становится неравномерным, а при $Re_\infty = 1$ даже немонотонным. Характер поведения кривых давления на подветренной стенке при течении между телами аналогичен, только давление на 1–2 % выше.

С увеличением числа M_∞ при постоянном $Re_\infty = 100$ давление на подветренной стенке выемки возрастает (рис. 3а, сплошные линии), оставаясь постоянным до $M_\infty = 1$ почти на всей стенке, кроме окрестности угловой кромки, где область разрежения с M_∞ возрастает и усиливается. При $M_\infty = 2$ подрастание давления в случае выемки по сравнению с $M_\infty = 1$ незначительное, порядка 3–4 %, а градиент давления у угловой кромки существенно больше. В случае же течения между телами давление на подветренной стенке при увеличении M_∞ с 1 до 2 возрастает более чем на 15 %.

Давление на большей части наветренной стенки выемки при $Re_\infty \geq 10$ почти постоянно, и лишь в окрестности угловой кромки возникает пик давления, который далее сменяется областью разрежения (рис. 3б, пунктирные линии). С уменьшением числа Re_∞ от $Re_\infty = 100$ до $Re_\infty = 1$ давление p возрастет на 9 % от значения, близкого к давлению на бесконечности при $Re_\infty = 100$. Градиенты давления при $Re_\infty = 1$ становятся значительными. Распределение давления на наветренной

стенке в случае течения между телами идентично рассмотренному, расхождения в величинах давления не превышают 2 %.

С увеличением числа M_∞ распределения давления на наветренной стенке происходит аналогично изменению распределения давления с уменьшением числа Re_∞ , только приращения величин давления здесь больше (рис. 3б, сплошные линии). Область разрежения у угловой кромки с увеличением M_∞ (в отличие от случая уменьшения Re_∞) почти не увеличивается. При $M_\infty > 1$ здесь образуется интенсивная ударная волна, которая затем распространяется во внешний поток. Этим объясняется относительное постоянство области разрежения у угловой кромки наветренной стенки с изменением M_∞ . Следует заметить, что величины давления на лобовой стенке второго тела несколько меньше, чем на наветренной стенке выемки (особенно в окрестности донной стенки). Однако максимальные значения давления у угловой кромки одинаковы. Имеющиеся расхождения в величинах давления на рассматриваемых поверхностях для выемки и для течения между телами объясняются менее интенсивным возвратным течением в выемке.

Давление на нижней стенке выемки при $M_\infty = 0,3$ и числах $Re_\infty \geq 100$ изменяется мало и по величине близко давлению в набегающем потоке (рис. 4а, сплошные линии). С уменьшением Re_∞ давление на дне выемки

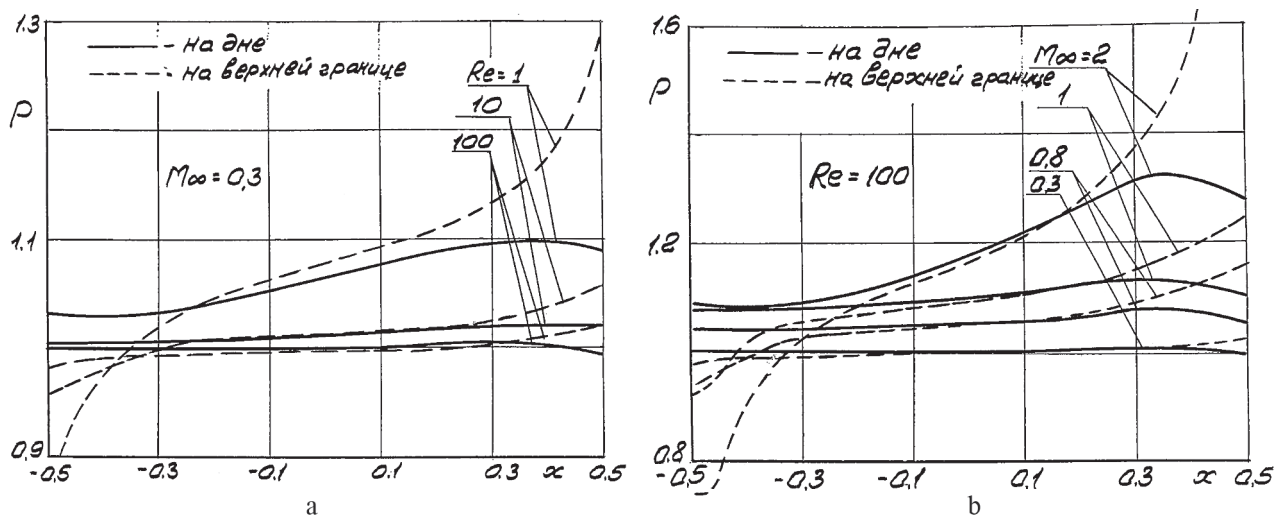


Рис. 4. Распределение давления на дне и верхней границе выемки: а) при $M_\infty = 0.3$, $Re_\infty = var$; б) при $Re_\infty = 100$, $M_\infty = var$

несколько повышается, а вдоль стенки появляется градиент давления. Вблизи наветренной стенки при этом появляется небольшой экстремум давления. Перепад давления на нижней стенке с уменьшением Re_∞ увеличивается до 7% при $Re_\infty = 1$. В случае же течения между двумя телами распределение давления в плоскости симметрии течения идентично, но имеет более плавный характер с несколько меньшим перепадом давления между границами области. Однако при $Re_\infty = 1$ перепад давления также достигает 7%.

С увеличением числа M_∞ давление и градиент давления на нижней стенке выемки увеличиваются (рис. 4б, сплошные линии), а у наветренной стенки образуется усиливающийся с M_∞ пик давления. Перепад давления на нижней стенке возрастает, достигая 25% при $M_\infty = 2$. В случае течения между телами распределение давления в плоскости симметрии идентично, но имеет более плавный характер. Экстремума давления у наветренной стенки не возникает.

Давление в среднем сечении верхней границы выемки (и между телами), как показывают расчеты, практически совпадает с давлением на нижней стенке. Однако с приближением к стенкам выемки существенно возрастает расхождение давлений на этих поверхностях. Перепад и градиенты давления на верхней границе оказываются значительно большими, чем на нижней стенке. С уменьшением Re_∞ и увеличением M_∞ давление и

градиенты давления на верхней границе увеличиваются (рис. 4, пунктирные линии).

Изменение безразмерной характеристики теплопередачи – числа Нуссельта Nu на верхней поверхности тел при $Re_\infty = 100$ и различных M_∞ идентично и приведено на рис. 5а. Значения Nu определялись со вторым порядком точности по формуле

$$Nu_{mn} = \frac{4T_{m+1} - 3T_{mn} - T_{m+2}}{2\Delta y [1 + (\gamma - 1)M_\infty^2 / 2 - T_{w\infty} / T_\infty]} h_0 (1 - y^2)^{3/2},$$

где $T_{w\infty} = T_w / T_\infty$,

h_0 – глубина выемки;

Δy – расстояние между узлами сетки по оси y , нижние индексы m, n у переменных T_{mn} обозначают нумерацию узлов разностной сетки;

∞ – параметры на бесконечности в набегающем потоке;

w – параметры на стенке.

Как видно из графиков, значения числа Nu у входной границы области счета (в силу принятого граничного условия) резко возрастают. Далее по поверхности в направлении к угловой кромке интенсивность теплообмена снижается. На поверхности за выемкой число Nu с удалением от угловой кромки уменьшается более плавно, чем на поверхности перед выемкой. Увеличение числа M_∞ набегающего потока вызывает монотонное возрастание теплообмена.

Распределение числа Nu на подветренной стенке выемки при $Re_\infty = 100$ и различных M_∞ , как видно из рис. 5б (пунктирные линии),

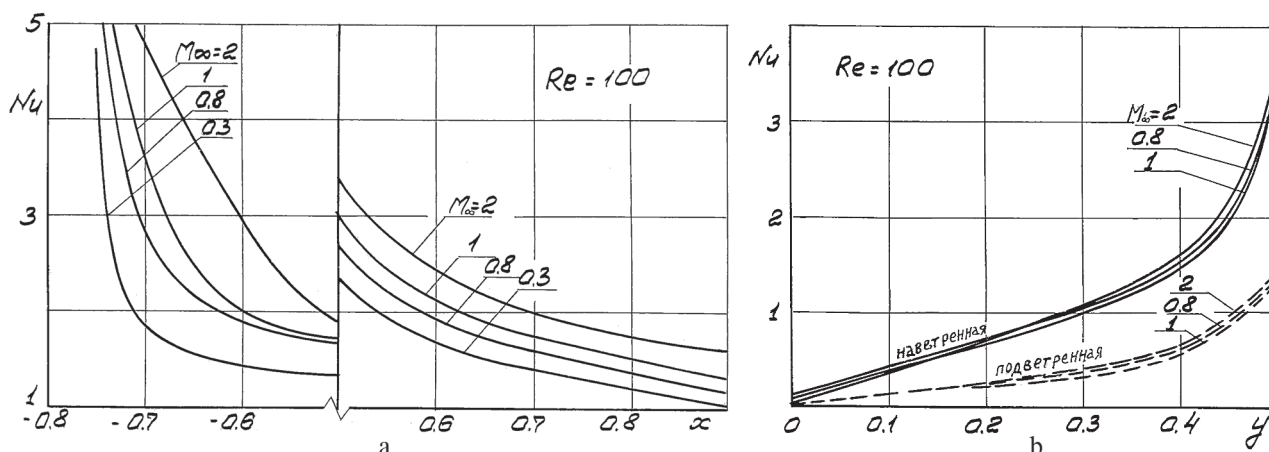


Рис. 5. Распределение числа Nu на поверхности выемки при различных числах Re_∞ и M_∞ : а) на верхней стенке; б) на боковых стенках

имеет монотонный характер с минимальными значениями Nu у нижней стенки. Почти до 4/5 длины стенки имеет место практически линейное изменение числа Nu и лишь у угловой кромки значения Nu резко возрастают. Аналогичное изменение теплообмена имеет место и на наветренной стенке выемки. Только интенсивность теплообмена здесь более чем в два раза выше (рис. 5b, сплошные линии).

Изменение теплообмена на нижней (донной) стенке выемки, как видно из рис. 6, имеет существенно неравномерный характер. Вдоль стенки интенсивность теплообмена меняется более чем на порядок, достигая экстремума на расстоянии 1/3 ее длины от наветренной стороны выемки.

При изменении числа Маха характер теплообмена на стенках выемки остается

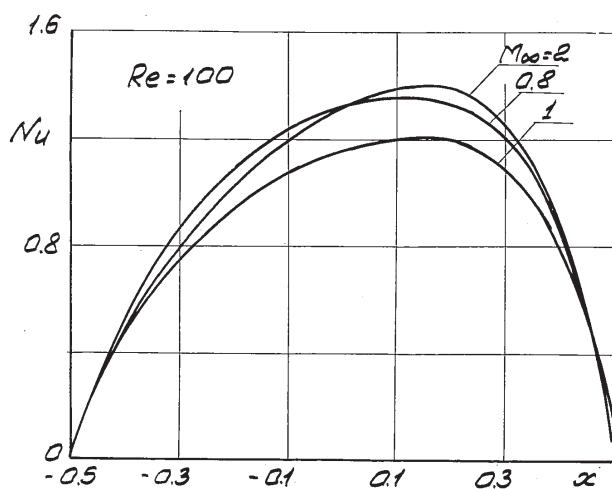


Рис. 6. Распределение числа Нуссельта на донной стенке выемки

прежним, а интенсивность его меняется немонотонно. Аналогичная картина имеет место и при изменении числа Рейнольдса.

В случае течения между телами общая закономерность распределения числа Нуссельта такая же, лишь значения Nu на стенках (передней и задней) в окрестности плоскости симметрии течения существенно выше из-за более интенсивного движения потока. Однако максимальные значения числа Nu в окрестностях угловых точек практически одинаковы.

Библиографический список

1. Чжен, П. Отрывные течения / П. Чжен // Мир, 1973. – Т. 1. – 300 с.; – Т. 2. – 280 с.; – Т. 3 – 333 с.
2. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука. – 1969. – 742 с.
3. Roache P.J., Muller T.J. Numerical solutions of laminar separated flows/ P.J. Roache, T.J. Muller// AIAA Journal. – 1970. – V. 8. – № 3. – p. 530–538.
4. Donovan, L.F. A numerical solution of unsteady flow in a two-dimensional square cavity/ L.F. Donovan // AIAA Journal. – 1970. – V. 8. – № 3. – p. 524–529.
5. Tsien, H.S. Super Aerodynamics, mechanics of Rarefield Gases/H.S. Tsien // J. Aeronaut. Sci., 13, N 12. – 1946.– p. 656–885.
6. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч // Мир. – 1980. – 616 с.
7. Мышенков, В.И. Дозвуковое и трансзвуковое течение вязкого газа в следе плоского тела / В.И. Мышенков // Изв. АН СССР.– МЖГ.– 1970. – № 2.
8. Мышенков, В.И. Численное исследование течений вязкого газа в следе плоского тела / В.И. Мышенков // АН СССР.– Журнал вычислит. матем. и матем. физ. – 1972.– № 3.

СОЗДАНИЕ ОТРАСЛЕВОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ МОНИТОРИНГОВОЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛЕСА (ГЛОМАС-ЛЕС) – ПРОРЫВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Г. САНАЕВ, *проф. ректор МГУЛ, д-р техн. наук,*
И.М. СТЕПАНОВ, *проф. каф. ВТ МГУЛ, д-р техн. наук,*
В.И. ЗАПРУДНОВ, *проф., проректор МГУЛ по научной работе, д-р техн. наук,*
В.И. ПАНФЕРОВ, *доц., начальник НИЧ МГУЛ, канд. техн. наук*

stepanim@mail.ru

Создание единой Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы (ГЛОМАС) – прорывное критическое направление инновационного развития технологий аэрокосмического мониторинга Земли

С функциональной точки зрения все космические системы делятся на три вида: навигационные, коммуникационные и мониторинговые космические системы.

Навигационные космические системы предназначены для решения задач навигации. К этим системам относятся системы GPS, ГЛОНАСС, GALILEO. **Коммуникационные космические системы** предназначены для решения задач связи. К этим системам относятся все системы спутниковой связи. **Мониторинговые космические системы** предназначены для решения задач мониторинга земной поверхности из космоса.

Космические системы, включающие все три вида космических систем, относятся к многофункциональным космическим системам.

Максимальный эффект от использования результатов космической деятельности в народном хозяйстве можно получить исключительно при максимально широких масштабах использования и максимальной глубине переработки космической информации. Достичь этого можно только путем индустриализации и автоматизации всех процессов получения, обработки и использования результатов космической деятельности в народном хозяйстве.

Сложность техническая и организационная, масштабы и затраты на решение задачи сплошной индустриализации космической деятельности особенно большие для мониторинговых аэрокосмических систем. Минимизация

общих затрат на создание отраслевых мониторинговых аэрокосмических систем и максимизация эффективности использования результатов их работы возможны при создании объединенной всеотраслевой Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы (ГЛОМАС), состоящей из отраслевых мониторинговых систем. При таком подходе к построению системы аэрокосмического мониторинга нужна одна, общая для всех отраслевых систем, базовая система аэрокосмического мониторинга, а для каждой отраслевой системы будут разработаны соответствующие расширения.

В состав объединенной всеотраслевой системы ГЛОМАС должны войти отраслевые системы: ГЛОМАС-МЕТЕО (гидрометеорология), ГЛОМАС-ЭКО (экология), ГЛОМАС-ЧС (чрезвычайные ситуации), ГЛОМАС-КАРТА (картография), ГЛОМАС-АГРО (сельское хозяйство), ГЛОМАС-АКВА (водное хозяйство), ГЛОМАС-ГЕО (геология), ГЛОМАС-ЛЕС (лесное хозяйство) и другие.

Аналогичный подход предложен в Роскосмосе, а за рубежом уже использован [1]. «Подобный подход уже более 20 лет реализуется в европейской программе GMES (Global Monitoring for Environment and Security – Глобальный мониторинг окружающей среды и безопасность), учрежденной Европейской комиссией и Европейским космическим агентством и программе EOS (Earth Observing System) Национального управления США по воздухоплаванию и исследованию космического пространства (NASA)».

Такое направление работ позволит ускорить инновационное развитие технологий аэрокосмического мониторинга леса средствами российской космической системы ДЗЗ

и вывести их на лидирующие позиции в мире [2, 5], поэтому оно должно быть отнесено к прорывному направлению критических технологий [3].

Обеспечение конкурентоспособности системы ГЛОМАС-ЛЕС на внутреннем и внешнем рынках услуг аэрокосмического мониторинга леса

В работе [2] показано, что обеспечить конкурентоспособность системы ГЛОМАС-ЛЕС на внутреннем и внешнем рынках можно путем ускоренного инновационного развития технологий аэрокосмического мониторинга леса средствами российской космической системы ДЗЗ. Для этого необходимо обеспечить соответствующее качество системы ГЛОМАС-ЛЕС. При этом оценка качества должна производиться по следующим критериям (характеристикам): функциональным, потребительским, техническим и технологическим.

Функциональные характеристики: эффективное решение задач лесного хозяйства с использованием космических технологий; решение задач ландшафтной архитектуры; решение задач охраны лесов и окружающей среды; решение задач рационального природопользования.

Потребительские характеристики (простота работы): работа удобна и проста для пользователей; ориентация на неподготовленного пользователя; доступность для пользователей из любой точки Земли (через Интернет); все пользовательские интерфейсы унифицированы и полностью соответствуют принятым международным, государственным и отраслевым нормативам и стандартам.

Технические характеристики: возможность получения космических снимков любых участков Земли; возможность использования космических снимков с наиболее рациональным разрешением для решения конкретных практических задач; возможность использования много- и гиперспектральных аэрокосмических снимков; решение задач дешифрирования аэрокосмических снимков автоматизировано; решение задач ГИС-картирования результатов дешифрирования снимков автоматизировано.

Технологические характеристики: принципы построения инфраструктуры и структуры системы ГЛОМАС-ЛЕС дают возможность ее дальнейшего развития, модернизации и совершенствования.

Требования к составу задач Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС). Состав задач первой очереди Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС) полностью соответствует составу задач ДЗЗ (раздел лесного хозяйства), представленному в «Концепции развития российской космической системы ДЗЗ на период до 2025 года» [4]. В общем числе задач ДЗЗ раздел задач лесного хозяйства самый представительный, он включает 29 задач. Тематически задачи лесного хозяйства разбиты на 8 групп. У каждой группы задач свои, отличные от других требования к характеристикам космической информации. Эти требования различны к разрешающей способности (пространственной и радиометрической), к спектральному диапазону, к периодичности и к оперативности получения информации.

Максимально ускорить достижение конкурентоспособности на мировом рынке российских систем аэрокосмического мониторинга можно, если одновременно с улучшением их потребительских качеств улучшить и технические показатели за счет использования высококачественных снимков, полученных с зарубежных космических аппаратов. Для этого необходимо создание систем аэрокосмического мониторинга, использующих снимки, полученные как с отечественных космических аппаратов, так и с зарубежных. В дальнейшем, по мере запуска и ввода отечественных космических аппаратов с улучшенными техническими характеристиками, начнется замещение зарубежных космических аппаратов отечественными.

Концептуальная структура системы ГЛОМАС-ЛЕС

Глобальная мониторинговая аэрокосмическая система леса (ГЛОМАС-ЛЕС) структурно представляет собой единую отраслевую сеть связанных между собой (через Интернет)

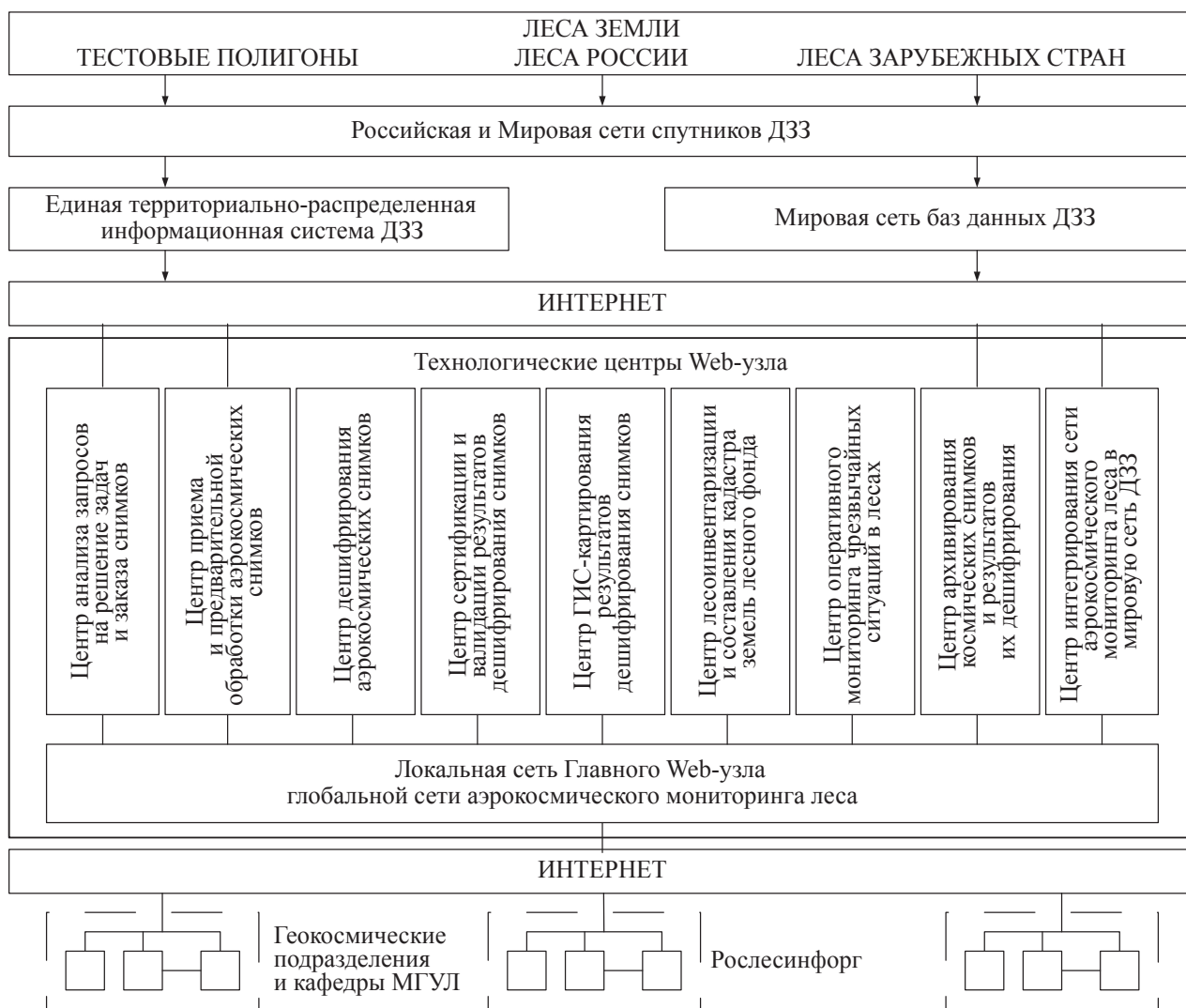


Рис. 1. Структура главного Web-Узла

функциональных центров аэрокосмического мониторинга леса: Главного Центра и Региональных Центров (в составе соответствующих региональных филиалов Рослесинфорга).

Каждый функциональный Центр состоит из технологических центров (приема/передачи снимков, первичной обработки, дешифрирования снимков, ГИС-картирования тематических карт, валидации и сертификации, архивирования снимков и результатов их дешифрирования). Глобальная мониторинговая аэрокосмическая система леса будет интегрирована в Мировую сеть аэрокосмического мониторинга Земли.

На рис. 1 представлена структура главного Web-Узла Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса, состоящего из технологических центров.

Ниже рассмотрено назначение технологических Центров. Каждый центр соответствует определенной фазе технологического процесса аэрокосмического мониторинга леса.

Центр анализа запросов на решение задач и заказа снимков. Для каждого вида задач аэрокосмического мониторинга леса требуются «свои» снимки, получаемые с различных космических аппаратов. Запросы по каждому виду задач должны быть приведены к определенному (для «своего» вида формату).

Центр приема и предварительной обработки аэрокосмических снимков. Принимаемые аэрокосмические снимки в первоначальном виде не пригодны для тематического дешифрирования. Снимки должны быть предварительно обработаны и приведены к определенному формату.

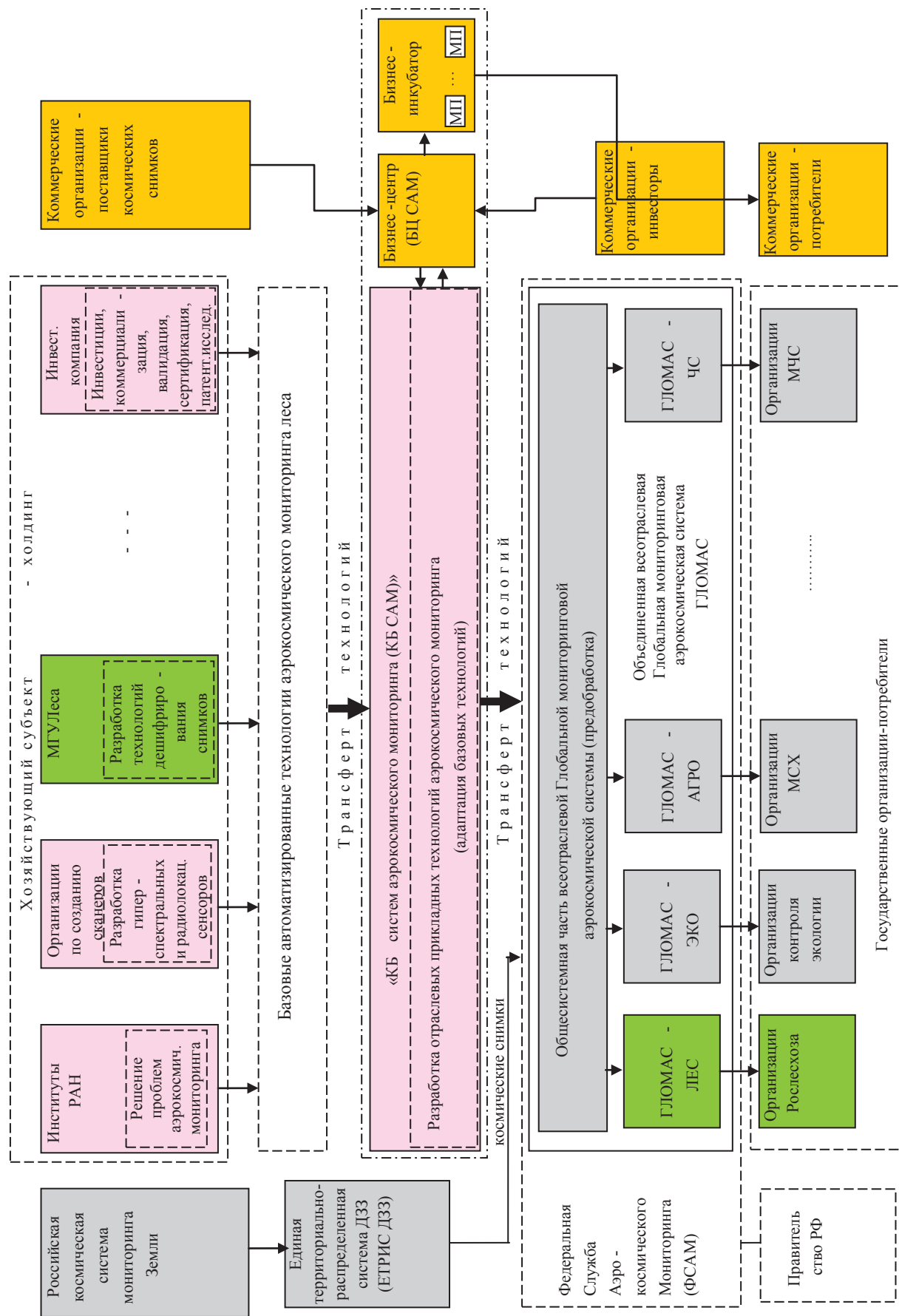


Рис. 2. Структурная схема интеграции системы ГЛОМАС-ЛЕС в систему ГЛОМАС

Центр дешифрирования аэрокосмических снимков. В Центре производится тематическое дешифрирование снимков. Каждой задаче соответствуют свои программы. Одно из главных направлений развития Центра обработки снимков – разработка методов и средств максимально возможной программной автоматизации дешифрирования снимков. В перспективе необходимо все работы по дешифрированию снимков переложить на программы.

Центр сертификации и валидации результатов дешифрирования снимков. Центр подспутниковой валидации предназначен для экспериментальных наземных измерений и высокоточных измерений авиафотосъемкой исследуемых участков. Для валидации снимков и результатов их дешифрирования отводятся полигоны с характерными типами ландшафтов. В качестве таких полигонов будут использованы учебные леспромхозы МГУЛ, расположенные в Щелковском и Пушкинском районах. Для привязки снимков к координатам Земли используются средства ГЛОНАСС.

Центр ГИС-картирования результатов дешифрирования снимков. В Центре результаты дешифрирования снимков переводятся в стандартные ГИС-формы, принятые в лесном хозяйстве. Формы совместимы с лесными ГИС (ЛЕСИС, ЛЕСГИС, ТОРОЛ).

Центр космической лесоинвентаризации. Задача инвентаризации лесов относится к функционально-тематическим задачам, но в силу ее важности создается отдельный центр. Государственная инвентаризация лесов основана на сочетании использования наземных средств и дистанционных аэрокосмических методов.

Центр оперативного мониторинга чрезвычайных ситуаций в лесах. В отраслевом Центре собирается и обрабатывается вся информация о чрезвычайных ситуациях в лесах (пожары, лесопатология, радиационные загрязнения и др.).

Центр архивирования снимков и результатов их дешифрирования. Архивирование снимков необходимо для оценки состояния лесов и динамики изменения этого состояния на заданном протяженном интервале времени.

Центр интегрирования системы ГЛОМАС-ЛЕС в мировую сеть ДЗЗ. Интеграция в мировую сеть позволит более эффективно использовать мировые информационные ресурсы баз данных космических снимков.

Интеграция отраслевой Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС) в объединенную Глобальную мониторинговую аэрокосмическую систему (ГЛОМАС)

Структурная схема интеграции Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС) в объединенную Глобальную мониторинговую аэрокосмическую систему (ГЛОМАС) представлена на рис. 2.

Структурно всеотраслевая Глобальная мониторинговая аэрокосмическая система (ГЛОМАС) представляет собой объединение всех отраслевых систем аэрокосмического мониторинга в единую систему. В эту систему входят отраслевые системы: ГЛОМАС-ЛЕС (лесное хозяйство), ГЛОМАС-АГРО (сельское хозяйство), ГЛОМАС-ЭКО (экология), ГЛОМАС-ЧС (чрезвычайные ситуации) и все другие. Все отраслевые мониторинговые аэрокосмические системы унифицированы по принципам построения, но специализированы по тематическим задачам.

Отраслевые системы аэрокосмического мониторинга унифицированы по программной платформе, по базовым математическим методам тематического дешифрирования, составляющим библиотеку программ.

Каждая отраслевая система аэрокосмического мониторинга имеет «свои», специфические именно для нее линейные признаки.

Общесистемная часть Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы является общей для всех отраслевых аэрокосмических систем. Общесистемная часть осуществляет предобработку снимков, приводит их к виду, пригодному для последующего тематического дешифрирования.

Промышленная версия программного обеспечения всей системы ГЛОМАС и отраслевых систем должна разрабатываться государственным предприятием «КБ систем аэрокосмического мониторинга». Разработка же математических методов дешифрирования

осуществляется при непосредственном участии предприятий, вузов, представляющих соответствующую отрасль. Математические методы, алгоритмы дешифрирования и вся технология аэрокосмического мониторинга леса разрабатываются предприятиями и вузами, представляющими лесное хозяйство. Для достижения наибольшей эффективности процесса разработки эти организации объединяются в холдинги, как показано на рисунке.

Для проведения коммерческих работ создаются соответствующие Бизнес-центр, Бизнес-инкубатор и сеть малых предприятий, ориентированных на отдельные направления работ в области аэрокосмического мониторинга леса.

Ресурсное обеспечение и организация работ по созданию Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС)

Каждая отраслевая мониторинговая аэрокосмическая система состоит из сегментов: космического, наземного, природоохозяйственного и когнитивного.

Космический сегмент является общим для всех отраслевых систем, его развитие определено действующей Федеральной космической программой и осуществляется в соответствии с «Концепцией развития российской космической системы ДЗЗ на период до 2025 года». Финансирование работ по развитию космического сегмента осуществляется из Федеральной космической программы.

Природоохозяйственные сегменты должны соответствовать требованиям и задачам «своих» отраслей, их состав и структура не должны претерпеть каких-либо серьезных изменений при создании и внедрении системы ГЛОМАС в практику обязательного использования аэрокосмического мониторинга в этих отраслях.

Наземные сегменты, выполняющие роль калибровки, сертификации, верификации и валидации результатов аэрокосмического мониторинга, имеют общие принципы построения, поэтому сравнительно легко переносятся из одной отрасли в другую.

Наибольшие трудности возникнут при разработке когнитивных сегментов. Для каждой отрасли при многих общих методах, алгорит-

мах тематического дешифрирования космических снимков есть много «своих» линейных признаков, а поэтому и много «своих» специфических методов дешифрирования космических снимков. Несмотря на то, что в каждой отрасли уже имеются наработки в области аэрокосмического мониторинга, предстоит большая работа по систематизации и обобщению уже имеющихся методов, алгоритмов тематического дешифрирования и по созданию новых методов и алгоритмов. Эта работа имеет научный характер и будет выполняться как отраслевыми НИИ, так и профильными для каждой отрасли вузами, опираясь на фундаментальные исследования академических институтов РАН, работающих в этом направлении.

В разработке объединенной всеотраслевой системы ГЛОМАС будут участвовать многие отрасли, поэтому наиболее эффективным методом разработки системы ГЛОМАС является программно-целевой метод. Для этого нужна Федеральная целевая программа создания Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы (ГЛОМАС). При этом, в силу масштабности и большой сложности системы ГЛОМАС, вся целевая Программа по созданию должна быть разбита на подпрограммы, для каждой отрасли «своя» подпрограмма.

Для лесного хозяйства будет разработана система ГЛОМАС-ЛЕС («Глобальная мониторинговая аэрокосмическая система для лесного хозяйства»). В разработке системы ГЛОМАС-ЛЕС будут участвовать организации Роскосмоса (космический сегмент), организации Рослесхоза (лесоохозяйственный сегмент) и вузы лесного профиля (когнитивный и наземный сегменты).

Результаты работы всеотраслевой Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы (ГЛОМАС) используются многими отраслями, поэтому ее работу целесообразно сделать независимой от любой отрасли, от любого ведомства. Всеотраслевая Глобальная мониторинговая аэрокосмическая система (ГЛОМАС) должна выполнять функцию абсолютно объективной информационной системы, а в ряде задач функцию государственного контроля.

Для обеспечения полной независимости работы всеотраслевой Глобальной

мониторинговой аэрокосмической системы (ГЛОМАС) целесообразно создать Федеральную службу аэрокосмического мониторинга и подчинить ей всеотраслевую Глобальную мониторинговую аэрокосмическую систему (ГЛОМАС) со всеми входящими в нее отраслевыми Глобальными мониторинговыми аэрокосмическими системами. При такой организации никакая отраслевая Глобальная мониторинговая аэрокосмическая система не будет зависеть от отрасли, для которой она решает задачи. При этом будут учтены все пожелания каждой конкретной отрасли в части улучшения работы соответствующей ей отраслевой Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы.

Максимальный эффект от использования результатов космической деятельности в народном хозяйстве можно получить исключительно при максимально широких масштабах использования и максимальной глубине переработки космической информации. Достичь этого можно только путем индустриализации и автоматизации всех процессов получения, обработки и использования результатов космической деятельности. Однако сложность техническая и организационная, масштабы и затраты на решение задачи сплошной индустриализации космической деятельности очень большие, особенно это относится к мониторинговым аэрокосмическим системам.

Минимизация общих затрат на создание отраслевых мониторинговых аэрокосмических систем и максимизация эффективности использования результатов их работы возможны при создании объединенной всеотраслевой Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы (ГЛОМАС), состоящей из отраслевых мониторинговых систем.

В работе предложена эффективная структура системы ГЛОМАС-ЛЕС. Показано, что Глобальная мониторинговая аэрокосмическая система леса (ГЛОМАС-ЛЕС) структурно представляет собой единую отраслевую сеть связанных между собой (через Интернет) функциональных центров аэрокосмического мониторинга леса: Главного Центра и Региональных Центров (в составе

соответствующих региональных филиалов Рослесинфорга). Каждый функциональный Центр состоит из технологических центров (приема/передачи снимков, первичной обработки, дешифрирования снимков, ГИС-картирования тематических карт, валидации и сертификации, архивирования снимков и результатов их дешифрирования). Глобальная мониторинговая аэрокосмическая система леса будет интегрирована в Мировую сеть аэрокосмического мониторинга Земли.

Разработана структурная схема интеграции Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС) в объединенную Глобальную мониторинговую аэрокосмическую систему (ГЛОМАС). Отраслевые системы аэрокосмического мониторинга унифицированы по программной платформе, по базовым математическим методам тематического дешифрирования, составляющим библиотеку программ. Каждая отраслевая система аэрокосмического мониторинга (в том числе и ГЛОМАС-ЛЕС) имеет «свои», специфические именно для нее линейные признаки.

Библиографический список

1. Урличич, Ю.М. О приоритетах практической реализации развития космической системы дистанционного зондирования Земли / Ю.М. Урличич, В. Селин, К.С. Емельянов // Интернет-ресурс: www.gisa.ru/file/file2154.doc, 13.01.2012 («Аэрокосмический курьер» 6(78)'2011)
2. Санаев, В.Г. Ускоренное инновационное развитие технологий аэрокосмического мониторинга леса средствами российской космической системы ДЗЗ и вывод их на лидирующие позиции в мире: решение проблемы / В.Г. Санаев, И.М. Степанов, В.И. Запруднов, В.И. Панферов и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – М.: МГУЛ. – 2012. – № 4(87).
3. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники и перечня критических технологий Российской Федерации».
4. Документ: «Концепция развития российской космической системы ДЗЗ на период до 2025 года». Интернет-ресурс: www.gisa.ru/file/file766.doc
5. Крапивин, В.Ф. Оценка состояния лесной экосистемы по данным эпизодического мониторинга в условиях информационной неопределенности / В.Ф. Крапивин, В.С. Шалаев, В.Д. Бурков, И.Л. Букатова и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 7. – 2013. – С. 31–41.

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В ЗАДАЧЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ СЕТИ ИНТЕРНЕТ

К.А. ЛЕМЕСЕВ, *асп. каф. прикладной математики и математического моделирования МГУЛ*
lemesev.kirill@gmail.com

На сегодняшний день существуют задачи, решение которых основывается на автоматической обработке больших массивов информации. Примерами таких задач могут быть прогнозирование погоды, мониторинг природных катаклизмов, исследования предложений и спроса на рынках товаров по всему миру. Исходные данные для решения этих задач есть в Интернете и регулярно обновляются. В настоящей работе речь идет о способах, основанных на построении однозначного соответствия между элементами начального и конечного состояния информации [1, 2].

Данная работа посвящена задачам извлечения информации из сети Интернет, для которых потребности в объемах вычислительных ресурсов меняются во времени. Такие задачи обычно связаны с несистематическими запросами по сбору и анализу информации. Например, при анализе причин и последствий природных катаклизмов, аномалий на рынках и прочих непредвиденных ситуаций, требуется быстро собрать данные из многих источников. Невозможно заблаговременно сделать прогноз о необходимости такого анализа и заранее выделить необходимый объем вычислительных ресурсов. Для таких задач становится актуальной проблема управления вычислительными ресурсами с целью повышения эффективности обработки данных.

Обеспечить такого рода масштабирование с гибким выделением ресурсов на сегодняшний день может особый способ организации вычислений – так называемые облачные вычисления. Будем понимать под этим термином следующее: программная система работает в вычислительных центрах поставщиков платформ облачных вычислений («в облаке»), пользователю детально не известны ресурсы, которые использует система; при необходимости объем этих ресурсов может быть оперативно, «на ходу», увеличен или уменьшен.

Рассмотрим задачи, возникающие при адаптации системы извлечения структурированных данных из сети Интернет для использования в облачной инфраструктуре.

Динамическое выделение ресурсов и распределение заданий

Масштабируемость системы подразумевает использование нескольких компьютеров. В литературе описаны реализации систем извлечения структурированных данных на одном компьютере [2–6]. Как в таком случае распределить составные части системы по разным компьютерам? Количество каких компьютеров нужно увеличивать (или уменьшать) в зависимости от нагрузки?

В литературе [7] широко распространена схема системы извлечения структурированных данных «медиатор – обертки». Суть заключается в том, что обертки сами по себе не представляют большой ценности, так как каждая обертка способна получить данные только из одного ресурса. В задачах реального мира, при использовании систем извлечения структурированных данных, необходимо получать структурированные данные из разных источников. В дополнение к этому полученные данные необходимо «согласовывать» (например, заменять разные значения в словарях, обозначающие одно и то же) и объединять в единый массив данных для дальнейшей обработки. Для этих целей вводят специальный компонент – медиатор.

На рис. 1 схематично изображено устройство системы извлечения структурированных данных, использующей медиатор для обслуживания входящих запросов и управления обертками.

Один из вариантов использования множества компьютеров – запускать медиатор и обертки на разных компьютерах. При увеличении числа оберток можно увеличи-

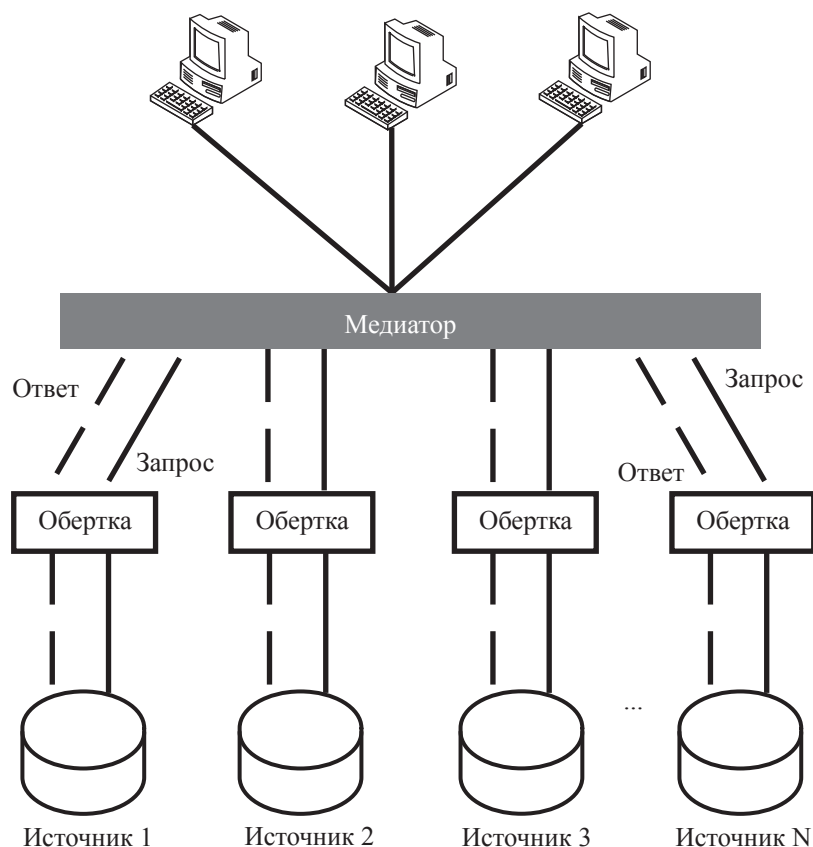


Рис. 1. Схема «медиатор – обертки»

вать количество компьютеров, на которых они обрабатываются. Так можно поддерживать постоянный уровень производительности системы и обеспечить масштабируемость. Если медиатор будет не только управлять обертками, но и компьютерами (регулировать количество компьютеров), на которых они выполняются, получится система с автоматическим масштабированием.

В целом процесс работы системы таков: медиатору поступает задание – извлечь структурированные данные на основе какой-либо обертки. Медиатор должен принять следующие решения.

Достаточное ли число компьютеров используется в качестве процессоров оберток. Если число компьютеров недостаточное или избыточное, необходимо скорректировать количество компьютеров.

Какой компьютер должен обработать поступившее задание?

Для каждой из этих задач существуют типовые решения, а для второй задачи существуют несколько решений: случайное

распределение заданий, последовательное распределение заданий, распределение заданий на наименее загруженный компьютер и т.д. Совокупность решения задач 1 и 2 назовем алгоритмом управления ресурсами для извлечения структурированных данных из сети Интернет. Получается, что существует множество алгоритмов, подходящих для решения задачи. Как выбрать наилучший способ управления ресурсами?

Методика выбора способа управления ресурсами

При обработке заданий извлечения структурированных данных существует некоторый входной поток заданий, требующих обработки. Этот поток могут формировать несколько лиц (или одно лицо), заинтересованных в результатах обработки заданий. С точки зрения такого лица (по сути, это лицо является конечным пользователем для подобного рода систем) можно выделить два существенных аспекта процесса обработки заданий:

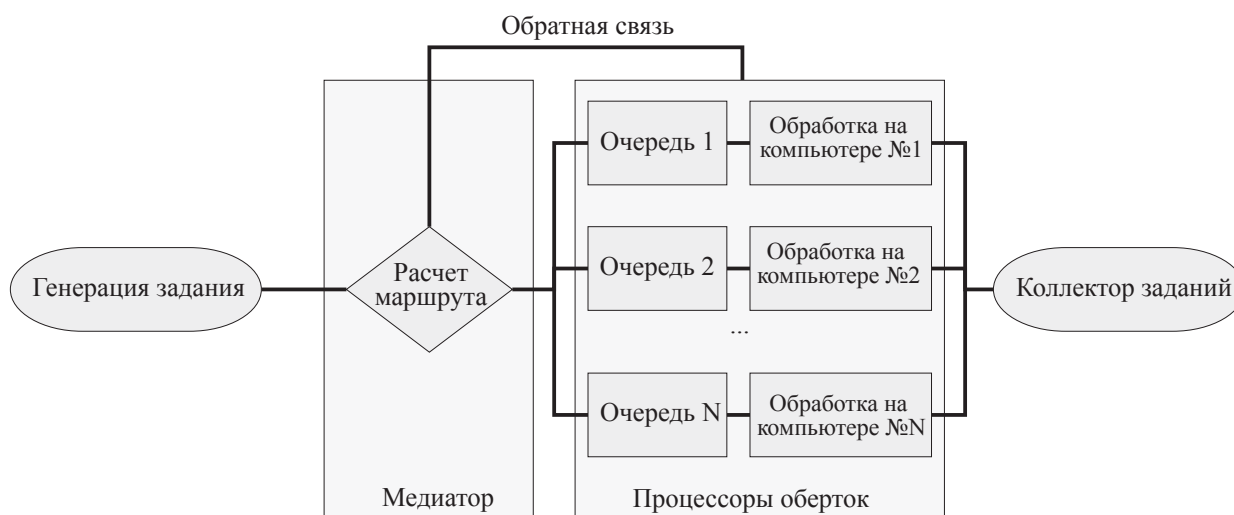


Рис. 2. Общая структура модели (сплошные линии – направления движения заданий; курсивная линия – движение информации о загрузженности компьютеров)

- Необходимо уменьшить затраты на машинное время (и прочие накладные расходы), которое было использовано при обработке заданий пользователя. Чем меньше значение этого параметра, тем «дешевле» обойдется пользователю обработка заданий.

- Сократить время обработки всех заданий пользователя с момента отправки заданий на обработку до момента завершения последнего задания.

Конечного пользователя интересуют эти аспекты в совокупности. В зависимости от обстоятельств относительная ценность (вес) каждого из этих пунктов может меняться. Для некоторых пользователей время обработки может быть более критично, чем вычислительные ресурсы. Для некоторых – наоборот: время обработки может не иметь значения, однако вычислительные ресурсы могут быть крайне ценны.

Более формально

T_c – время работы всей системы (с);

t – текущее время (в секундах,

$0 \leq t \leq T_c$);

α – полные затраты (руб.);

$k(t)$ – количество компьютеров как функция времени (шт.);

c – стоимость единицы времени одного компьютера (руб.);

P – полное количество заданий;

Δt_i – время выполнения i -го задания ($1 \leq i \leq P$)

$$\alpha = \int_0^{T_c} c \cdot k(t) \cdot dt \quad (1)$$

Время обработки всех задач равно

$$\beta = \sum_{i=1}^P \Delta t_i \quad (2)$$

Ценность решения задачи извлечения информации из сети Интернет, как правило, тем выше, чем быстрее получен результат. Возможность ускорения решения за счет подключения дополнительных компьютеров определяется характеристиками входного потока заданий A . Критерием эффективности решения задачи можно считать время обработки всех заданий β с поправкой на полные денежные затраты α

$$\varphi(A) = k\alpha + p\beta \quad (3)$$

Здесь k и p – весовые функции размерности 1/руб. и 1/сек.

Требуется разработать алгоритм «подключения/отключения» компьютеров и распределения заданий на «подключенные» компьютеры в зависимости от текущего состояния, дающий минимальное значение функции (3).

Эта функция будет принимать различные значения в зависимости от параметров входного потока A . При наличии возможности получить значения функции для различных потоков A можно оценить каждый алгоритм работы системы.

Для оценки значения функции при использовании различных алгоритмов уп-

равления вычислительными ресурсами создана модель, позволяющая провести такую оценку. Рассматриваемая задача описывает поведение реальной системы. Рассматриваемая модель описывает поведение реальной системы.

Модель можно классифицировать как многоканальную систему массового обслуживания (СМО) с очередями, переменным числом устройств и пороговыми значениями их подключения и отключения [8]. Подобные системы известны и были аналитически исследованы в литературе, например, в [9].

Согласно [10], необходимым условием для возможности аналитического анализа СМО является выполнение ряда требований относительно потоков событий этой СМО. Все потоки должны быть стационарными пуассоновскими.

Постановка задачи (управление вычислительными средствами в зависимости от текущей загрузки) не предполагает обязательного соблюдения этих требований. Предполагается что интенсивность входящего потока заявок будет меняться со временем. Также нет ограничения на ординарность потока. Согласно [10] и [11], лучшей альтернативой для исследования такой СМО является имитационное моделирование.

Для исследования таких задач хорошо подходят методы имитационного моделирования [5].

На вход модели поступают задания для обработки – обертки, на основании которых должны быть извлечены структурированные данные из сети Интернет. Модель имитирует обработку заданий на переменном числе компьютеров. В зависимости от частоты и «сложности» поступающих заданий модель может увеличивать или уменьшать число компьютеров для обработки заданий.

В работе модель использует алгоритмы управления вычислительными ресурсами: для изменения числа компьютеров используется алгоритм изменения числа компьютеров; для распределения поступающих заданий по компьютерам используется алгоритм распределения заданий.

Модель реализована в среде MATLAB Simulink. Модель позволяет проводить эксперименты, используя любой из возможных алгоритмов управления ресурсами. После проведения каждого эксперимента модель автоматически высчитывает значение критерия эффективности.

Проводя эксперименты, есть возможность оценить эффективность каждого возможного алгоритма управления ресурсами.

Библиографический список

1. Crescenzi, V. and Mecca, G. 2004. Automatic information extraction from large websites. *J. ACM* 51, 5, 731-779.
2. Лемесев, К.А. Модели и методы извлечения структурированной информации из сети Интернет / К.А. Лемесев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. – С. 113–115.
3. Crescenzi, V., Mecca, G., and Merialdo, P. 2001. Roadrunner: Towards automatic data extraction from large web sites. In *VLDB '01: Proc. of the 27th International Conference on Very Large Data Bases*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 109–118.
4. Zhao, H. 2007. Automatic wrapper generation for the extraction of search result records from search engines. Ph.D. thesis, State University of New York at Binghamton, Binghamton, NY, USA. Adviser-Meng, Weiyi.
5. Crescenzi, V. and Mecca, G. 2004. Automatic information extraction from large websites. *J. ACM* 51, 5, 731-779.
6. Gatterbauer, W. and Bohunsky, P. 2006. Table extraction using spatial reasoning on the css2 visual box model. In *AAAI '06 Proc. of the 21st national conference on Artificial intelligence*. AAAI Press, 1313–1318.
7. Lee W. M. 2004. An Approach to Data Integration and Mediation with XML and XQuery. Malaysia University of Science and Technology, Petaling Jaya, Selangor Darul Ehsan, Malaysia.
8. Иванешкин А. И. Многоканальная система массового обслуживания с переменным числом устройств и пороговыми значениями их подключения и отключения // Зв'язок. – Киев, 2009. – №3.
9. Иванешкин А. И. Оптимизация режима подключения устройств в многоканальной системе обслуживания с бесконечным буфером. // Зв'язок, Киев, 2011, №4
10. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология // Наука. – М., 1988.
11. Таха, Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – М.: Вильямс, 2005.

ИНВЕСТИЦИОННАЯ И ИННОВАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТРАСЛЕЙ

Н.И. КОЖУХОВ, *проф. каф. мировой экономики МГУЛ, д-р экон. наук, академик РАН*,
А.Д. ЖИЛИН, *зам. руководителя Федерального агентства лесного хозяйства*

kozhukov@mgul.ac.ru

Федеральный закон «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» (3 39-ФЗ от 25 февраля 1999 г.) определяет правовые и экономические основы инвестиционной деятельности на территории Российской Федерации, а также устанавливает гарантии равной защиты прав субъектов инвестиционной деятельности независимо от форм собственности. Закон устанавливает порядок взаимодействия органов государственной власти РФ и ее субъектов в инвестиционной деятельности, при этом роль субъектов РФ значительно возрастает в вопросах создания благоприятных условий для развития инвестиционной деятельности на их территории.

Разработанные в 2003 г. межведомственной рабочей группой Совета Безопасности РФ «Основы инновационной политики Российской Федерации на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу» определяют важнейшие цели, задачи и направления государственной инновационной политики по осуществлению прямого и косвенного регулирования деятельности, направленной на выпуск и реализацию конкурентноспособной высокотехнологичной продукции как на внутреннем, так и на мировом рынках.

В качестве государственной инновационной политики этим документом провозглашено формирование благоприятных макроэкономических условий для развития предпринимательской инициативы в РФ для успешного перехода к инновационной экономике государства, преодоления на этой основе экспортно-сырьевой зависимости и обеспечения стабильно высокой динамики экономического роста страны.

В лесном секторе экономики России отрасли, выпускающие продукцию с высокой долей добавленной стоимости (целлюлозно-

бумажная, фанерная, мебельная, лесопильно-деревообрабатывающая промышленность), имеют достаточно стабильный приток инвестиционных средств. Лесное хозяйство и лесозаготовительная промышленность, как правило, находятся в более сложном положении.

Однако технологическая взаимосвязь и даже взаимозависимость в системе лесного сектора предопределяет необходимость формирования механизма межотраслевого баланса инвестиционных средств в инновационную экономику лесного сектора.

Лесное хозяйство и лесозаготовительная промышленность, осуществляя неразрывный воспроизводственный процесс, создают базу для успешного функционирования всех других отраслей лесного сектора.

Создание ряда эффективно работающих вертикально интегрированных лесных корпораций в РФ показало один из возможных путей решения проблемы притока инвестиционных средств для развития лесного хозяйства, а также лесозаготовительной промышленности в многолесных регионах России.

Но есть немало субъектов РФ, в которых не ведется интенсивная лесопромышленная деятельность, а леса выполняют преимущественно защитные функции окружающей природной среды. Тем не менее, и в этих условиях имеется немало инвестиционно привлекательных направлений деятельности для бизнеса.

Так, например, леса Московской области в соответствии со статьей 10 Лесного кодекса РФ (ЛК) по целевому назначению отнесены к защитным лесам [4]. При этом п.4 статьи 10 ЛК РФ четко определяет, что «Защитные леса подлежат освоению в целях сохранения средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических, оздо-

Характеристика лесных ресурсов Российской Федерации по федеральным округам, млн м³

Регионы	Общий запас	Спелые и перестойные	из них: хвойные	Годичный прирост	Расчетная лесосека
Российская Федерация	82130	44320	34222	994	635
Центральный федеральный округ	3828	876	259	78	40,4
Северо-Западный федеральный округ	10093	5966	4565	133	117,5
Южный федеральный округ	784	387	119	10	3,5
Приволжский федеральный округ	5546	2021	971	110	69,9
Уральский федеральный округ	7959	4056	2785	100	81,9
Сибирский федеральный округ	33346	19166	15467	353	227,4
Дальневосточный федеральный округ	20574	11848	10056	210	94,4

Динамика производства основных видов лесобумажной продукции ЛПК России

Наименование продукции	1990г.	1995г.	2000г.	2007г.	2008г.	2009г.	2010 г.	2011г.	2012 г.	2012г. к 2011г. в
Заготовка древесины, млн м ^{3*}	304,0	150,0	165,9	207,0	167,4	158,8	175,5	196,7	202,2	102,8
Пиломатериалы, млнм ³	75,0	26,5	20,0	24,3	21,6	17,2	19,1	20,3	20,5	101,0
Фанера, тыс.м ³	1597,0	939	1484,0	2776,8	2592	2127,6	2686,5	3002,7	3216,0	107,1
ДСП, тыс. усл. м ³	5568,3	2206	2334,8	5500,8	5750,7	4598,9	5465,9	6634,0	7164,0	108,0
ДВП, млн усл. м ²	418,2	234	292,2	480,6	479,2	372,5	397,7	441,6	466,0	105,5
Целлюлоза товарная, тыс. т.	2770	1801	2036	2420,6	2285,3	2176,0	2221,5	2300,0	2392,0	104,0
Бумага и картон, тыс. т	8325,0	4074	5312,0	7581,4	7699,7	7307,6	7582,8	7604,0	7765,0	102,1
Мебель, млрд руб.	5,8	12,2	18,2	83,6	104,9	78,4	89,5	107,2	117,0	109,1

ровительных и иных полезных функций лесов с одновременным использованием лесов (если это совместимо с целевым назначением защитных лесов)». То есть эта статья ЛК РФ говорит о том, что не следует забывать и о древесном ресурсе при комплексном использовании лесов, о не древесном лесопользовании, при котором вовлекаются в хозяйственный оборот пищевые, лекарственные и другие ресурсы леса, а также рекреационные виды лесопользования.

Земли лесного фонда Московской области занимают 2 млн га. Из них на лесопарковую зону приходится 30 % площади, а на зеленую зону – 52 %. Расчетная лесосека по области равна 2 млн м³, но полностью не осваивается, главным образом по мягколиственному хозяйству. Ежегодный прирост древесной массы в этих лесах достигает 6 млн м³, но, как и в большинстве регионов РФ (табл.1), расчетная лесосека значительно ниже этой величины.

В целом же по России, при величине расчетной лесосеки в 635 млн м³, объем

ежегодной заготовки древесины в последние годы находится на уровне 200 млн м³.

Приведенные в табл. 2 данные о динамике производства лесобумажной продукции России говорят о том, что лесопромышленные отрасли лесного сектора в основном преодолели последствия мирового финансово-экономического кризиса. В то же время дальнейший рост объемов производства лесобумажной продукции сдерживается недостатком инвестиционных средств на модернизацию производственных процессов, создание инновационной экономики лесного сектора [2].

Общий размер инвестиционных средств, вложенных в развитие лесопромышленного комплекса (ЛПК) РФ, в 2008 г. достигал 81 млрд руб., в т.ч. в лесозаготовительную промышленность – 8,5 %, лесопильно-деревообрабатывающую промышленность – 50 %, целлюлозно-бумажную промышленность – 36,6 %.

К началу 2012 г. размер ежегодных инвестиционных вложений в ЛПК почти

сравнялся с докризисным уровнем – 78,3 млрд руб. [3]. При этом доля инвестиционного капитала в целлюлозно-бумажную промышленность выросла до 45,7 %, а в лесозаготовительную (7,7 %) и лесопильно-деревообрабатывающую (43,2 %) – снизилась.

Передача значительной части полномочий в области лесных отношений субъектам РФ в большинстве регионов оказала положительное влияние на улучшение инвестиционной среды для всех отраслей лесного сектора. Растет уровень инвестиционной привлекательности и лесного хозяйства как базовой отрасли всего лесного сектора экономики страны.

Так, передача полномочий в области лесных отношений Правительству Московской области с 1 июля 2012 г. в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 4 мая 2012 г. № 721-р, проявила значительное влияние на улучшение инвестиционного климата даже на коротком отрезке времени. Например, в 2011 г. размер арендной платы за 1 га лесной площади для целей рекреационного лесопользования находился в пределах 90 тыс. руб. В результате грамотной организации дел в сфере повышения доходности лесного хозяйства области, стремления к балансу интересов общества и бизнеса, арендная плата в сфере рекреационного лесопользования в 2012 г. выросла в 2 раза [5]. За аренду 6 040 га лесов для рекреационных целей было получено 1 млрд руб. (всего было заключено 1 648 договоров).

В части 1 статьи 25 ЛК РФ перечислены 16 возможных видов использования лесов. По меньшей мере 15 из них в большей или меньшей степени имеют место в Московской области. Следует подчеркнуть, что леса Подмосковья – это уникальный объект для их хозяйственного освоения.

ЛК РФ четко, однозначно сделал акцент именно на освоении лесов. Следует отметить, что леса в развитых странах мира именно освоены, так как они служат людям, их берегут и получают взамен много пользы: экологической, эстетической, экономической (так называемое Правило трех Э).

В Москве, области и соседних территориях очевиден огромный спрос на отдых в выходные дни (после напряженной трудовой недели) – и это круглый год.

Лесное хозяйство Германии, Франции, Швеции, Финляндии и многих заморских стран получает огромные доходы от рекреационного лесопользования. С 1 га лесной площади в ФРГ получают до 15 раз больше финансовых средств при рекреационной лесопользовании по сравнению с древесным использованием лесом, а некоторых штатах США еще больше [2].

Прижизненное пользование лесом на хорошо освоенных территориях – это инновационный путь лесного хозяйства Московской области. Конечно, и урожай древесной массы – спелого (в техническом смысле) леса нужно в свое время также использовать на благо как развития лесного хозяйства, так и проживающих в регионе людей.

В табл. 3 представлена информация о лесорекреационном потенциале Московской области и расчетной потребности в лесах для рекреационных целей.

В лесном плане Московской области, утвержденном Федеральным агентством лесного хозяйства 24 января 2011 г., было отмечено, что планируется к 2018 г. передать в аренду для рекреационных целей около 200 тыс. га. Однако величина спроса на рекреационные услуги леса уже в 2008 г. (по результатам маркетингового исследования рынка рекреационных услуг леса Московской области) превышала эту цифру (табл. 3).

Но не следует оставлять в тени и защитные услуги леса: здесь большой потенциал не задействованных до сих пор инновационных проектов. Как известно услуг бесплатных не бывает, следует лишь понять, кто реально их оплачивает.

Собственник лесов (а граждане доверили это право федеральным органам) не требует в прямой форме продавать эти услуги. Но не запрещено привлекать инвесторов для софинансирования по тем объектам, которые необходимы, например, фермеру, автодорожным организациям, предприятиям водоснабжения, рыбоводства и т.д.

Лесорекреационный потенциал Московской области и расчет потребности в лесах рекреационного назначения

Наименование показателей	2008	2010	2012
Лесная площадь, находящаяся в гослесфонде по Московской области, тыс. га	1 593,0	1 984,0	2 000,0
Площадь лесов, переданных в аренду под рекреационное лесопользование, га	4 730,9	5 863,7	6 040,0
Рекреационная нагрузка, чел./час. в год на га	1 814,4	1 854,0	1 900,0
Численность постоянно проживающих граждан в г. Москве и Московской области, тыс. чел.	17 143,0	17 655,0	17 695,0
Расчетная площадь лесов под рекреационное использование, необходимая для удовлетворения потребности населения, га	207 863,8	214 069,6	214 980,9

Лесохозяйственные организации призваны Лесным кодексом РФ инициировать инвестпроекты и вести поиск потенциальных инвесторов [4], а не только бесстрастно констатировать, регистрировать и ждать, что инвестор сам придет в лесничество или другую организацию.

Наличие в области 8-ми водохранилищ, таких рек, как Ока, Москва-река, Руза, Клязьма, Воря и др., озер Сенеж, Торбеево, Глубокое (всего водоемов около 4 тыс.) – это залог успеха рекреационного лесопользования, а также формирования рынка услуг рекреационно-туристического профиля и крупных инвестпроектов инфраструктурного типа.

В этой связи необходимо формировать кластеры специализированного типа:

- с рекреационно-туристическим и отчасти спортивным уклоном;
- с культурно-образовательным, развивающим уклоном;
- с оздоровительно-социальной спецификой (экотуризм);
- рыболовно-охотничьего и собирательного (грибы, ягоды, орехи) профиля.

Дело в том, что в каждом типе инфраструктурного обеспечения имеются свои особенности, хотя более половины инфрасистемы кластера будут иметь типовой, совместимый для всех проект.

Не исключено, что бизнес-структуры могут создать целевые инфраструктурные кластеры региона, обслуживающие такие элементы инфрасистемы, как транспортная,

кредитно-финансовая, консалтинговая, сервисная, логистическая и др.

Можно сформулировать те предпосылки стабильной инвестиционной привлекательности лесного комплекса Московской области, которые четко проявились в сфере рекреационного лесопользования.

1. Высокий уровень спроса на рекреационные услуги леса.
2. Значительное число рекреантов, готовых платить за рекреационные услуги.
3. Относительно низкие расходы на доставку рекреанта к месту отдыха и низкие цены.
4. Возможность круглогодичного функционирования организаций по оказанию рекреационных услуг.
5. Достаточно высокий уровень инфраструктурного обеспечения и значительное разнообразие рекреационных услуг леса.

В то же время имеется ряд проблем, решение которых позволяет усилить инвестиционную активность в сфере рекреационного лесопользования, защитных услуг леса и недревесной продукции леса:

1. Низкий уровень правового обеспечения предпринимательской деятельности и налоговых льгот и активности в сфере рекреационного лесопользования, защитных услуг леса и недревесной продукции леса.
2. Недостатки сервисного обслуживания рекреантов (в отдельных его сегментах).
3. Слабая рекламная деятельность в этой сфере, недостатки в создании благоприятного инвестиционного климата.

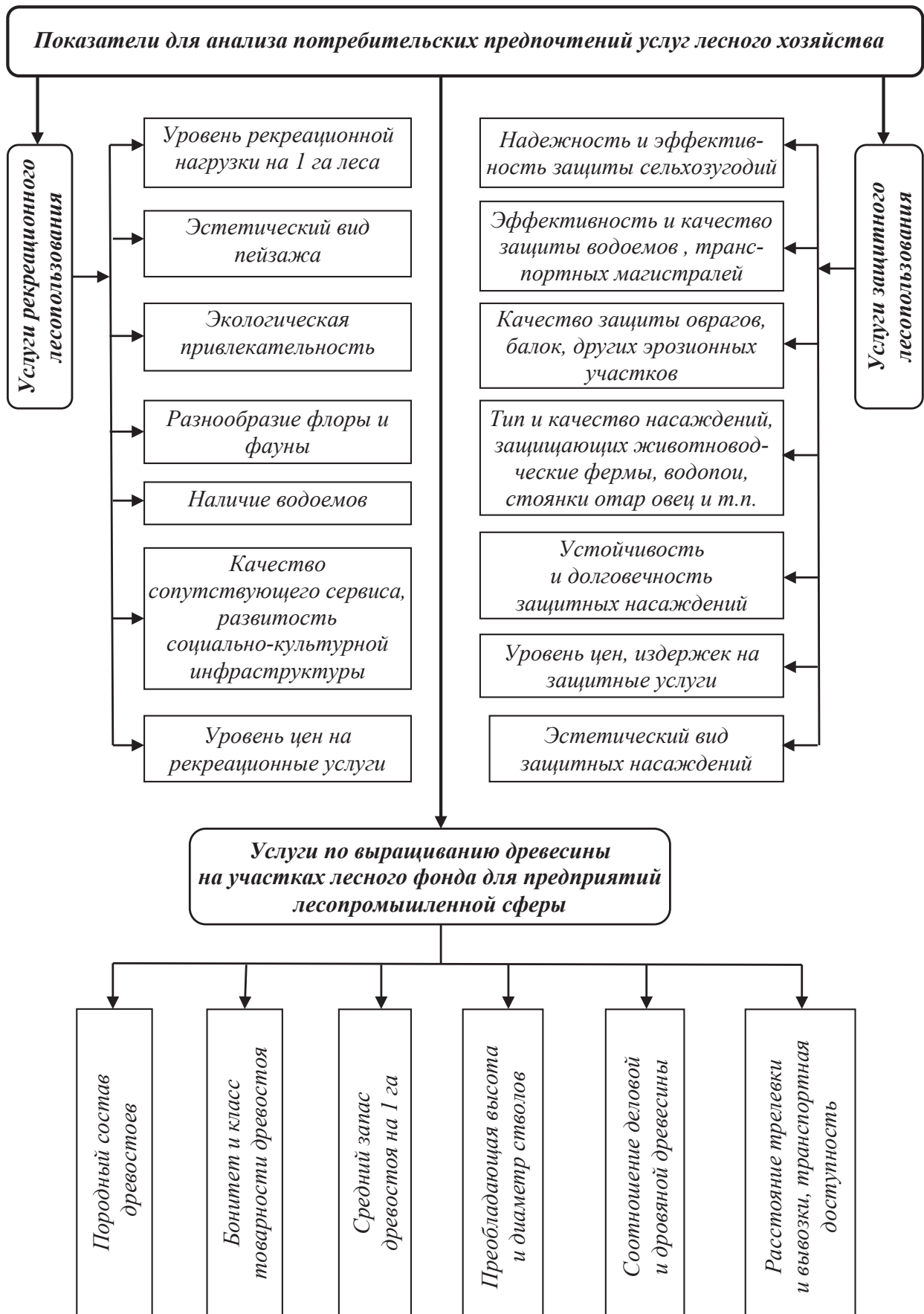


Рис. 1. Блок-схема анализа потребительских предпочтений при выборе услуг лесного хозяйства

4. Недостаток маркетинговых исследований рынка рекреационных и защитных услуг лесов Подмосковья.

5. Недооценка роли и значения недревесных ресурсов леса в условиях рыночной экономики и слишком малые темпы в преодолении этого фактора.

Для условий Московской области функционирующих на базе действующего уже седьмой год Лесного кодекса РФ предпринимателей достаточно проявили себя те направления инвестиционной активности в сфере лесного бизнеса, которые более всего имеют инновационную компоненту.

Конечно, не следует обходить вниманием сферу сырьевого и, прежде всего, древесного потребления теми товаропроизводителями, которые поставляют на местные рынки пиломатериалы, тару, древесные плиты, топливную щепу и т.п. В этой сфере инвестиционная деятельность идет по обычным путям циклического развития с учетом современных финансово-экономических тенденций.

Естественно, что в предлагаемых жизненно обстоятельствах древесная масса (а в Московской области это около 1 млн м³), в т.ч. так называемых малоценных древесных пород, полученных в процессе ухода за лесом и санитарных рубок, порубочных остатков и т.п., бизнес-структуры будут использовать и для производства биотоплива, древесного угля, компоста, удобрений, кормовых добавок. Проблема только в ценовом подходе для стимулирования, желательного, безотходного способа ведения хозяйства в лесу.

На рисунке представлена блок-схема анализа потребительских предпочтений при выборе услуг лесного хозяйства [1].

Эта схема была использована при маркетинговом анализе использования лесного потенциала в системе регионального экономического пространства Центрального федерального округа. Среди всех субъектов, входящих в состав ЦФО, Московская область заметно выделяется по эффективности рек-

реационного лесопользования, хотя и здесь свой потенциал лесное хозяйство использует лишь в незначительной мере.

В этой связи целесообразно обратиться к статье 91 ЛК РФ «Государственный лесной реестр». И хотя реестр не является документом планирования, но закладывает базис для формирования прогнозов и принятия управленческих решений, в т.ч. инвестиционного типа.

Арендаторы лесных участков, предоставляя сведения для госреестра, позволяют создать базу данных о реализуемых инвестиционных проектах, что необходимо учитывать при анализе используемого потенциала и разработке стратегии привлечения новых инвестиций в лесное хозяйство.

Первый раздел реестра «Леса и лесные ресурсы» и второй раздел «Использование лесов» – это и есть та наиболее значимая часть документа, которая является наиболее информативной для привлечения инвесторов.

В заключение можно с уверенностью отметить, что лесной сектор экономики России действительно привлекателен как для российских, так и для зарубежных инвесторов.

Библиографический список

1. Кожухова, Л.И. Социально-экономические проблемы устойчивого развития лесного хозяйства российских регионов / Л.И. Кожухова. – М.: МГУЛ, 2003. – 174 с.
2. Кожухов, Н.И. Оценка инвестиционной привлекательности предприятий лесного сектора / Н.И. Кожухов, П.И. Шагин. – М.: МГУЛ, 2006. – 154 с.
3. Кондратюк, В.А. Инвестиционные процессы в лесопромышленном комплексе Российской Федерации / В.А. Кондратюк, Н.П. Кожемяко, А.В. Кондратюк // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 4. – С. 51–56.
4. Лесной кодекс российской Федерации. Комментарии. – М.: ВНИИЛМ. 2007 – 856 с.
5. Отчет о результатах работы Комитета лесного хозяйства Московской области по реализации полномочий в области лесных отношений за период с 1 июля 2012 г. по 1 июля 2013 г. – Красногорск, 2013. – 28 с.

РЕАЛЬНОСТЬ БЕЗУМЦА В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ ДЖЕЙМСА Г. БАЛЛАРДА

А.А. КОСАРИНА, филологический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова,

А.Е. ФЕДОТОВА, филологический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова

alex7979@yandex.ru

Произведения американского писателя XX века Джеймса Грэма Балларда насыщены психологическим подтекстом, важным элементом которого является безумие героя и его видение реальности. Вероятно, интерес к подобным темам связан с тем, что в молодости Баллард учился на медицинском факультете в Кембридже, намереваясь стать психиатром. Автора интересуют не столько простые описания человеческого характера, сколько созданные с детальной точностью психологические портреты героев с подробным анализом мыслей, ожиданий и страхов. Учитывая специфический тон произведений Балларда, можно утверждать, что он специализируется на глубокой прорисовке психологического портрета безумца.

В сочинении и «Во что я верю» [*What I believe in*] Баллард говорит о безумии следующее:

Я верю в безумие, в истину необъяснимого, в здравый смысл камней, в безрассудство цветов, в ту болезнь, что приберегли для человечества астронавты «Аполлона». [I believe in madness, in the truth of inexplicable, in the common sense of stones, in the lunacy of flowers, in the disease stored up for the human race by the Apollo astronauts].

Тем самым писатель дает понять, что не видит в безумии ничего дурного. Впоследствии на примере его рассказов мы уви-

дим, что автор расценивает безумие как своего рода силу, направляющую человека, меняющую его взгляды. Следует особенно отметить, что у Балларда стираются границы между безумием и нормой, в ряде случаев безумие и становится этой самой нормой.

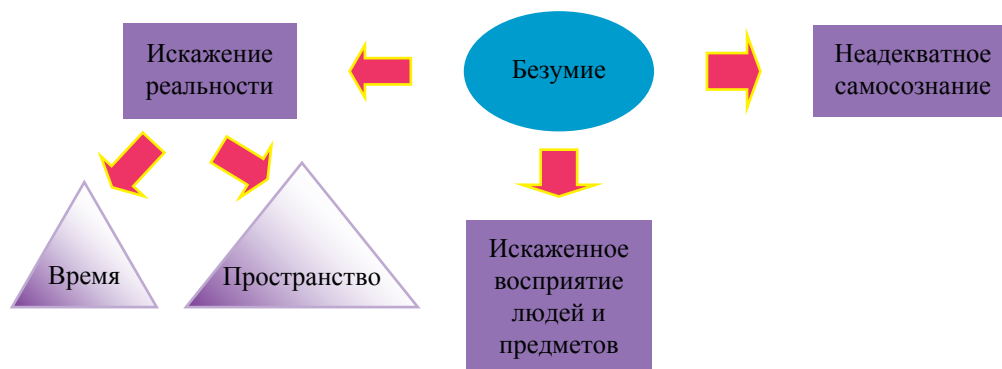
Баллардовское безумие многогранно и затрагивает практически все, что связано с героем, а именно:

- меняет восприятие реальности (потеря во времени и в пространстве);
- меняет отношение к другим людям;
- приводит к потере осознания себя в мире (выход за рамки человеческих способностей).

Безумец Балларда считает, что выходит за рамки человеческих способностей, но читатель не может точно сказать, изменилась ли реальность в сознании человека или в рассказе показан альтернативный мир, напоминающий наш, но в котором действительно возможно то, во что верит герой.

Основные «законы» пространства и времени баллардовского героя – замкнутость и цикличность. Человек постоянно движется по кругу или попадает во временные или пространственные петли, теряя направление, и именно в этом проявляется его сумасшествие – или именно это сумасшествие вызывает.

Так, в рассказе «The Concentration City» главный герой попадает во временную



и пространственную петлю в полностью созданном человеком пространстве – городе, который считается бесконечным. В сознании главного героя возникает идея полета, для которого необходимо открытое пространство, но, не зная о существовании неба, он, пытаясь найти достаточно большую комнату, едет не зная куда, пересаживаясь с поезда на поезд. Он чувствует себя стесненным в замкнутом пространстве. Но М. (его имя не называется) проводит в дороге три недели, двигаясь только вперед, и возвращается назад не только в то место, но и в то время, в котором был – мотив замкнутости переходит в мотив цикличности, а герой, пытаясь вырваться, просто прошел круг. Действительно ли прошли эти три недели или они уложились в несколько секунд в сознании безумца, каким М. посчитал психиатр – сказать невозможно.

Другой пример замкнутого пространства – «The Enormous Space», где главный герой сознательно решает не выходить из дома и полностью прекратить взаимодействие с внешним миром и даже питаться только «светом и пространством» комнат. В рассказе показано развитие сумасшествия – сначала герой удивляется, что мир остался прежним, затем замечает, что комнаты стали больше, начинает бояться огромного пространства, и, в конце концов, его разум оказывается поглощен увеличившимся домом.

Специфическое восприятие безумцем времени можно выявить на примере рассказа «Now Zero» (авт. перевод «Сейчас! Ноль»). Главный герой начинает вести дневник и внезапно обнаруживает, что написанное им вскоре происходит, и те люди, чьи смерти он описывает, умирают в реальной жизни. Сначала он начинает осознавать себя как часть великой силы, видит себя инструментом, выполняющим функцию, порученную чем-то высшим, однако вскоре бросается и в иную крайность: он предполагает, что никакой Силы на самом деле нет, что он всего лишь «каким-то волшебным образом опережал время на 24 часа и просто писал о событиях, которые уже произошли». [*was I in some fantastic way twentyfour hours ahead of time when I described the deaths, simply a recorder of events that had already taken place*]

Взбодраженное сознание героя заставляет его сомневаться в том, что он живет сегодняшним днем. События, описанные в рассказе, создают иллюзию бесконечного цикла, из которого нельзя вырваться: герой совершает четыре убийства, из которых три происходят неподалеку от места его работы в точности согласно его указаниям. Одна и та же атмосфера напряжения, неполное понимание происходящего, одни и те же встревоженные лица коллег – все это медленно сводит героя с ума, сначала наталкивая его на мысль о потере чувства времени, а потом заставляя идти на еще более радикальные эксперименты из-за осознания собственного всемогущества. Не осознавая себя, безумец не осознает и свое место в общечеловеческой линии времени.

Иным примером неадекватного восприятия временного хода может стать рассказ «*Time of passage*» (авт. перевод «*Пора в путь*»). Здесь мы сталкиваемся с несколько иной ситуацией. Если в рассказе «*Now: Zero*» один человек неадекватно воспринимает время, хотя на самом деле его ход не нарушен, то в «*Time of passage*» время идет как бы наоборот. Как писал Кайзер: «*Свобода повествователя выражается по большей части уже в том, что он переворачивает временной порядок*», чем и воспользовался Баллард. Рассказ начинается с описания могилы, которую раскапывают и достают тело главного героя. Затем его привозят домой, и жизнь героя идет в обратном порядке: он оживает и постепенно молодеет. Таким образом, старость становится началом его пути, своеобразным «рождением», а рождение, наоборот, шагом, отделяющим его от смерти. Более того, это знает не только сам герой, но и все его окружение, в частности, сестра, знакомые и друзья, его жена. И все они не придают значению особого значения, воспринимая все происходящее как норму. Можно ли сказать, что в рассказе безумцами являются все? Алогичность, искаженное восприятие времени вокруг них, они все живут с этим, однако пока никто не обратил на это внимание. Следовательно, в данном обществе безумие становится нормой. И, вероятно, норма стала бы безумием.

Город в «The Concentration City» – еще один пример того, как человеческое сознание и

общественный договор могут менять понятие нормы и саму реальность. Традиционно антиутопический мотив – пространство, в котором люди закрывают сами себя – достигает высшей точки; в полностью самоуправляющемся городе нет ни животных, ни растений, ни даже неба. У Города нет истории – обыватели уверены, что он существовал всегда и всегда будет существовать – “the City is as old as time and continuous with it”. Считается, что Город не имеет границ, так как он «не может просто плавать в середине Ничего» – отрицается не просто необходимость выходить за стену, но и существование самой стены вокруг Города. Человечество заперто в самом себе, и право на жизнь имеет только то, что общество одобряет. Так, идея свободы и полета им незнакома, как и стремление к открытому пространству, и М., с точки зрения читателя нормальный, если не гениальный, человек, здесь считается сумасшедшим. Рассказ заканчивается инструкцией:

«Take a westbound Green to 298th street, cross over at the intersection and get a Red elevator up to Level 237. Walk down to the station on Route 175, [change to a 438 suburban and go down to 795th street]. Take a Blue line to the Plaza, get off at 4th and 275th, turn left at the roundabout and –

You’re back where you first started from.

Следуйте в западном направлении по Зеленой к 298 улице, пройдите перекресток и поднимитесь на красном лифте до уровня 237. Идите по направлению к станции по дороге 175 [...] Сядьте на голубую ветку и доберитесь до Плазы, выйдите из метро на 4-ом и на 275- ом, поверните налево, обернитесь и –

Вы вновь там, где начался ваш путь.

\$Hell * 10ⁿ».

Боллард выводит «формулу» пространства, тем самым признавая, что город действительно живет по законам обитателей, и даже физика подчиняется человеческому сознанию.

В восприятии героя «The Eloquent Space» реальность – всего лишь «голограмма», он понимает, что немаловажную роль играет в ней именно коллективное сознание, и своим поступком отказывается от этого коллективного восприятия. Боллард снова играет с читателем – возможно, мир действительно

так велик, каким видит его герой, но общество договорилось видеть его маленьким.

Безумие баллардовского героя сильно меняет его отношение к людям и предметам. Хорошим примером является рассказ “The Smile” (авт. перевод «Улыбка»). С первых строк нам дается детальное описание женщины, в которую, очевидно, влюблен главный герой. Лишь через несколько абзацев читатель понимает, что это не живая женщина, а *«искусно сделанный манекен, настоящий шедевр кукольного искусства, созданный виртуозом»*. Важно отметить, что у манекена есть имя – Серена, которое герой прочел на бирке. Настоящее безумие героя начинается с момента покупки манекена. Он привозит Серену домой и начинает видеть ее как свою жену, наделяя неживой предмет всеми наилучшими качествами, присущими женщинам. Интересна реакция окружения героя, его друзей. В рассказе говорится, что: *«Все мои друзья были очарованы иллюзией и поздравили меня со столь неожиданным поворотом событий. Их жены, конечно же, смотрели на Серену с подозрением и считали ее элементом мальчишеской шалости»*. Из этого можно сделать вывод, что взор прочих персонажей не затуманен, они видят перед собой неживое существо, но решают не говорить об этом герою, чем невольно способствуют развитию его безумия. Они воспринимают Серену *«как должное»*.

Интересно отметить, что безумие героя в этом плане идет параллельно с его здравомыслием. Так, он ни на секунду не забывает, что Серена неживая, что она – манекен. Он восхищается ее легкостью, детальностью проработки, не раз отдает дань неизвестному гению, создавшему ее. И наряду с этим сходит с ума, находя ее идеальной, совершенной, влюбляясь в нее все больше и больше, начиная ревновать ее, видеть изменения на ее лице, отражающие смену ее характера. Видя кризис в их «отношениях», он заводит роман на стороне, выгоняет из дома ее «любовника» и, в конце концов, начинает бояться ее, подозревая, что она затаила планы мести. И, постоянно помня, что она манекен, что он может уничтожить ее, герой все равно боится, считая, что в ней сидит злое живое нутро. *«Включив систему обогрева, я, возможно, смогу избавиться от*

нее через несколько недель, но я никогда не смогу сделать этого. Одна только ухмылка меня останавливает» – говорит он.

Таким образом, реальность безумца в рассказах Дж. Г. Болларда в высшей степени субъективна – важно не столько то, в каком мире живет герой и что происходит вокруг него, сколько то, как герой видит ту реальность. Герои хотят выбраться на свободу, но они не знают, в чем эта свобода заключается, и поэтому теряются в своей реальности.

Как пример мы приведем анализ отрывка рассказа «The Enormous space» и два перевода, с учетом сумасшествия героя и без него.

Above all, I am no longer dependant on *myself*. I feel no obligation to **that** person **who** fed and groomed **me**, **who** provided **me** with expensive clothes, **who** drove **me** about in **his** motor-car, **who** furnished *my* mind with intelligent books and exposed **me** to interesting films and art exhibitions. Wanting none of these, I owe **that** person, *myself*, no debts. I am free at last to think only of the essential elements of existence – the visual continuum around *me*, and the play of air and light. The house begins to resemble an advanced mathematical surface, a three-dimensional chessboard. The pieces have yet to be placed, but I feel them forming in *my* mind.

«Помимо прочего, я уже не завишу от **себя**. Я не чувствую, что должен что-то **тому**, **кто** кормил **меня** и ухаживал за **мною**, **кто** покупал **мне** дорогую одежду, **кто** возил **меня** в своей машине, **кто** украсил **мой** разум умными книгами и показал интересные фильмы и выставки. Не желая ничего из этого, я ничего этому человеку, **себе**, не должен. Наконец я свободен и могу думать лишь о сокровенной сути существования – о видимости пространства вокруг *меня*, об игре воздуха и света. Дом начинает напоминать высшую математическую поверхность, объемную шахматную доску. Фигуры еще не на местах, но я чувствую, как они рождаются в *моей* голове.»

«Помимо всего прочего, я больше не завишу от **своего** **прежнего** «я». Я не испытываю никакого чувства долга по отношению к **тому себе**, **который** ел и рос, носил дорогую одежду, катался на машине, читал умные книжки, ходил на интересные фильмы и художественные

выставки. Теперь я не хочу всего этого, и потому передо **мною** прежним у *меня* нет долгов. И теперь я наконец-то могу подумать лишь о необходимых элементах существования, как-то, о том, что *меня* окружает, или об игре света, или о дуновении ветра. *Мой* дом начинает казаться *мне* объемной шахматной доской, проработанной математической плоскостью. На доску еще нужно поставить фигуры, но пока они существуют лишь в *моем* воображении».

Рассмотрим особенности английского текста и первого перевода: полужирным шрифтом отмечено обращение к себе как к другому человеку, курсивом – как к себе нынешнему. В оригинальном тексте 15 выделений полужирным на 8 курсивом – герой почти в два раза чаще думает о своей личности как о другом человеке (в переводе соотношение примерно сохранено: 11 на 7), причем антитеза, как и необычность ситуации, подчеркивается двойным употреблением слова «myself», «себя» (здесь налицо неадекватное самосознание). Безумец только что решил, что не будет поддерживать никакую связь с внешним миром, и поэтому он чувствует свободу, что видно даже на фонетическом уровне: он будто напевает – «essential elements of existence», аллитерируя звуки «e» и «s». Его восприятие времени и пространства уже начинает искажаться, еще метафорически, ведь настоящее сумасшествие впереди.

В переводе же стилизованном, во-первых, меняется суть «альтер-эго» героя (оно уже не отдельная личность, а просто воспоминание), во-вторых, не сохраняется аллитерация. Фигуры на доске рождаются не «в голове», а «в воображении» – более точная формулировка убирает оттенок того, что в дальнейшем превратится в неадекватное восприятие окружающего мира. Таким образом, фрагмент переведен так, что сглажены все намеки на сумасшествие героя, и это означает, что своеобразие языка Болларда передано неверно.

Библиографический список

1. Косарина, А.А. Прием деперсонификации и олицетворения в произведениях англоязычных писателей конца XIX и начала XXI века на примере произведений Ч. Диккенса, Дж. Г. Болларда и Ч. Де Линта / А.А. Косарина, А.Е. Федотова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 5. – 2013. – С. 143-147.

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОЛОГИИ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОГО ОБЩЕСТВА НА ПРИМЕРЕ ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ ГРАММАТИКЕ

В.П. МАЙКОВА, доц. каф. философии МГУЛ, канд. филос. наук,
J. МАРИНА, проф., Университет у Нишу, Сербия

valmaykova@mail.ru marinajanjicvr@yahoo.com

Методологический аспект формирования целостности общественного сознания напрямую связан с методологией учебной деятельности, которая частично перекликается с педагогикой и с педагогической психологией, однако имеет свой четкий предмет – она рассматривает процесс учения со стороны его организации.

Если исходить из классификации педагогической деятельности по целевой направленности (рис. 1), то можно говорить о:

– методологии игровой деятельности [1] (имея в виду, в первую очередь, детскую игру);

– методологии учебной деятельности;
– методологии трудовой, профессиональной деятельности.

Организовать деятельность означает упорядочить ее в целостную систему с четко определенными характеристиками, логической структурой и процессом ее осуществления.

Методология, созданная в современном стиле постиндустриального общества, способствующая эффективности достижения знаний, называется **проблемным обучением**. Оно является типичным примером Я-концепции.

Проблемное обучение основано на творческой деятельности учащихся в решении грамматических проблем. Но перед каждой проблемой существует препятствие, поэтому возникает необходимость в инновационности и находчивости в достижении цели. Проблемная задача отличается от простой задачи тем, что ее нельзя решать на основе прежде применяемого несколько раз образца и прежних рутинных операций.

Особенности проблемного обучения [2]:
– необходимость поиска неизвестных или недостающих данных, которые требуется связать с приведенными данными;

– использование различных путей решения грамматической задачи;

– сложность создания проблемной задачи;

– инновационность в работе;

– развитие когнитивных структур и мыслительной способности.

Проблемная задача находится внутри проблемной ситуации, чьи составные части:

1. Неизвестное знание или способ решения.

2. Когнитивная потребность, которая развивает мыслительную деятельность.

3. Интеллектуальные способности, предварительные знания, опыт и творческие способности.

Проблемная ситуация должна иметь и мотивационный компонент. По Махмутову [3] проблемная ситуация возможна при:

– встрече учащихся с жизненными явлениями;

– организации практики учащихся;

– анализе жизненного явления, которое отличается от их ранних представлений;

– формулировании гипотез;

– попытке обобщить новые факты;

– исследовательских задачах.

Проблемное обучение подразделяется на три уровня: научное творчество, практическое творчество и художественное творчество. Первый уровень проблемного обучения практикуется на теоретических уроках, когда приобретаются грамматические (общие линг-



Рис. 1. Классификация педагогической деятельности по целевой направленности

вистические) знания. Второй уровень подразумевает функциональную грамматику, т.е. воспитание культуры речи и способности устных и письменных выражений учащихся. Третий уровень проблемного обучения охватывает художественные языковые содержания (литературу и искусство выступления на сцене). Самые лучшие результаты в обучении грамматике достигаются при комбинировании этих трех уровней проблемного обучения.

Проблемное обучение грамматике часто рассматривается как организационная форма обучения, которая предполагает индивидуальную творческую деятельность учащихся. Современные методологии обучения грамматике формируют в детях бездеятельность и способствуют лишь развитию подражательных эмоций. Проблемное обучение грамматике освобождено от механического стиля и догматического механизма [4] и предполагает постановку исследовательских задач самими учащимися и педагогами, вместо подражания учительским требованиям [5].

В системе проблемного обучения учащимся может быть разрешена частичная или полная самостоятельность в решении задач по грамматике [6], сформулированных по принципу индуктивно-дедуктивного метода (от близкого к дальнему). Эти задания должны быть направлены на пытливость ума учащихся, провоцировать к самостоятельной творческой работе. Учащиеся шаг за шагом, от легкого к сложному осваивают новый материал до окончательного его понимания. Задачи должны быть поучительными, интересными, содержательными, чтобы было интересно их решать. Этот способ улучшает технику самостоятельного изучения языковых явлений, создает положительное отношение и к языку и к обучению. П. Лиляна [7] говорит, что проблемное обучение открытое и развивающее, потому что представляют собой стимул к решению высшего и неизвестного.

Эта система очень ценна в мире, и поэтому в мировой литературе на нее смотрят как на самую рациональную систему методов обучения, которая обеспечивает более высокий уровень мыслительной деятельности учащихся. Методисты русского языка про-

блемное обучение связывают с эвристическим методом и считают его наилучшим. Для него характерно открытие знаний через решение проблемно-исследовательских задач, что требует разработки дидактических ситуаций, которые приводят учащихся к микрооткрытиям. Результат этого – критичность в мышлении и продуманность в действии. Исследовательская и творческая стороны проблемного обучения воодушевляют ребят, придают им уверенность, развивают пытливость ума, самостоятельность в мышлении и в творчестве. Конечно, проблемные задачи должны быть приспособлены к реальным типам учащихся, их общим и специальным способностям.

При традиционном обучении грамматике язык предстает как структурированный, линейный способ, который преследует деконтекстуальное упражнение содержания [8]. Учащиеся осваивают языковую теорию, но не приобретают языковые компетенции. Проблемная методология обучения основана на конструктивистской точке зрения, которая ставит задачу построения знаний, а не простое их приобретение, в отличие от традиционной бихевиористской. Учащиеся должны осваивать грамматику в контексте реального мира. Когнитивный подход к обучению содержит положение об учащих, которые активны в применении теоретического знания в живой коммуникации и обратно – примеры из языковой практики связывают с теоретическими определениями.

В системе проблемного обучения психофизиологическая цель развития человека позволяет достичь единства двух противоположных поведенческих стратегий человека – пассивной и активной, т.е. влияние любого объекта системы на другие объекты (даже на один) приводит к изменению всех объектов на уровне их систем управления (СУ), при этом меняется и сам объект (его система управления), воздействующий на другие объекты. Причем взаимовлияние – нелинейное. Схема взаимодействия внешнего воздействия и объекта показана на рис. 2 [9, 10].

В результате внешнего воздействия поступает сигнал (1) на систему управления (СУ) объекта, как результат – сигнал на сам объект (2). Отклик объекта (3) – обрат-



Рис. 2. Схема взаимодействия внешнего воздействия и объекта: 1 – внешнее воздействие; 2 – передача СУ (системой управления объекта) внешнего воздействия на объект; 3 – отклик объекта (воздействие) на внешнюю среду (**линейный отклик**); 4 – отклик объекта (воздействие) на свою СУ в результате внешнего воздействия (**нелинейный отклик**)

ная связь с внешним воздействием, т.е. воздействие субъекта на среду, которая создала внешнее воздействие. Эта связь – **линейная**, которая в образовании дополняется связью 4 – влияние внешнего воздействия на СУ (на отклик внешнего воздействия). Связь 4 – **нелинейная**. Конечно же, под системой управления (СУ) подразумевается свойство самого объекта (алгоритм) ответа на конкретное воздействие. Это может быть уже известный алгоритм (линейная система), либо усвоенный в процессе обучения (в общем случае – нелинейная система), т.е. рассматривается адаптивная система управления (СУ).

Схема, показанная на рис. 2 [11], соответствует процессу любого образования (обучения). Использование нелинейной связи 4 – это и есть основа обучения, когда изменяется сама СУ объекта.

Схема на рис. 2 показывает связи, возникающие при целостном образовании. Внешнее воздействие само представлено в виде объекта (объект В), которое оказывает влияние на объект А. Основное отличие двух схем состоит во взаимном влиянии двух объектов (объекты А и В), когда в результате одного воздействия (внешнее независимое воздействие) в схеме (рис. 2) меняется и сам объект воздействия и объект, который производил воздействие (изменяются их системы управления (СУ)).

Схема (рис. 3) показывает, что всегда существует взаимовлияние двух объектов (объект, который производит воздействие, в результате меняется и сам).

Представленная схема легко обобщается на взаимодействие трех и более объектов. Таким образом, можно сформулировать основной принцип взаимодействия большого количества объектов.

Влияние любого объекта системы на другие объекты (даже на один) приводит к изменению всех объектов на уровне их систем управления (СУ), при этом меняется и сам объект (его система управления), воздействующий на другие объекты. Причем взаимовлияние – нелинейное.

Таким образом, в образовании необходимо учитывать любой внешний объект как фактор, как нелинейное воздействие, влияющие на учащегося. Нелинейное, творческое отношение к миру означает открытие возможности сделать себя творимым – «позволить нелинейной ситуации или другому человеку влиять на себя» [11].

Подобно тому, как игра постепенно зарождается в подражании, так и вооруженность человека знаниями и умениями постепенно зарождается внутри проблемной задачи, которая, в свою очередь, находится внутри проблемной ситуации, в ней же начинают проявляться и реализоваться человеческие социальные и идеальные потребности. Вооруженность знаниями (образование) начинается в школе и может сопровождать человека всю жизнь. Но и сама проблемная ситуация, в детстве ярко проявляющаяся в игре, и дальше не покидает человека, выступая в новых сложных и сложнейших формах. Проблемное обучение грамматике

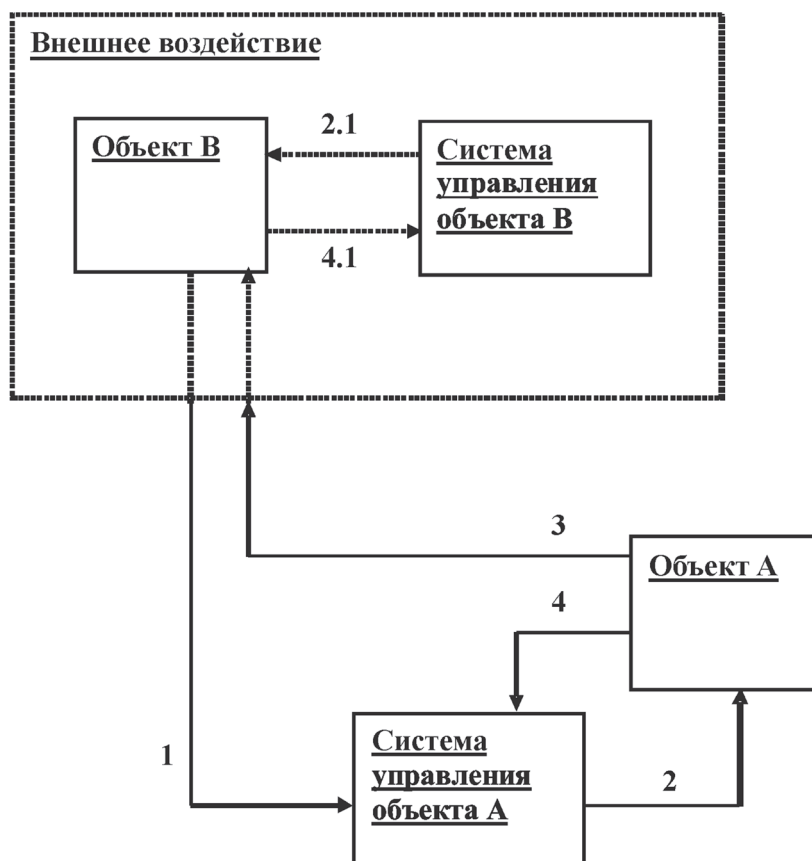


Рис. 3. Схема взаимодействия внешнего воздействия и объекта: 1 – внешнее воздействие; 2 – передача СУ (системой управления объекта А) внешнего воздействия на объект А; 3 – отклик объекта (воздействие) на внешнюю среду (**линейный отклик**) – в то же время воздействие на объект В; 4 – отклик объекта А (воздействие) на свою СУ в результате внешнего воздействия (**нелинейный отклик**); 2.1 – передача СУ (системой управления объекта В) воздействия от объекта А (внешнее по отношению к объекту В) на объект В; 4.1 – отклик объекта В (воздействие) на свою СУ в результате внешнего по отношению к объекту В воздействия (**нелинейный отклик**)

можно рассматривать как один из факторов развития творческого мышления – основы природного, экологического сознания.

Библиографический список

- Новиков А.М. Введение в методологию игровой деятельности / А.М. Новиков. – М.: Эгвес, 2006. – 48 с.
- Львов, М.Р. Методика преподавания русского языка в начальных классах / М.Р. Львов, В.Г. Горецкий, О.В. Сосновская. – М: Образовательно-издательский центр Академии. – 345 с.
- Махмутов, М.И. Организация решения задач в начальной школе / М.И. Махмутов. – М.: Наука, 1989. – 290 с.
- Милатович, В. Методические вопросы грамматики (на сербском)/ В. Милатович. – Белград: Школьные учебники, 1999. – 250 с.
- Милли, Н. Методика преподавания сербского языка и литературы (на сербском)/ Н. Милли. – Белград: Институт учебников и учебных пособий. 1992. – 370 с.
- Илич, П. Сербский язык и преподавание литературы в теории и практике – методики преподавания (на сербском) / П. Илич. – Нови-Сад: Змай, 1998. – 164 с.
- Лилиана, П. Синтаксис сербского языка и литературы (на сербском) / П. Лилиана. – Нови-Сад: Змай, 2000. – 234 с.
- Майкова, В.П. Экология образования / В.П. Майкова, М. Янич // Глобалистика как область научных исследований и сфера преподавания. Серия «Библиотека факультета глобальных процессов МГУ». – М., 2009. – Вып. 3. – С. 399–407.
- Майкова, В.П. Гносеологические и методологические проблемы формирования общественного сознания в постиндустриальную эпоху: монография / В.П. Майкова. – М: МГУИ, 2012. – 173 с.
- Майкова, В.П. Целостно-синкретическая стратегия освоения мира / В.П. Майкова // Соц.-гум. знания, 2012. – № 6.
- Майкова, В.П. Социально-философский анализ динамики общественного сознания в современной философии / В.П. Майкова. – М., 2013 – 197 с.

ИСТОРИЯ И БУДУЩЕЕ НАУЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СБОРНЫХ КОМАНД РОССИИ (к 80-ти летнему юбилею ВНИИФК)

А.А. НОВИКОВ, проф. ФГБУ «Федеральный научный центр (ВНИИФК)», д-р пед. наук

info@vniifk.ru



Я более 60 лет работаю во ВНИИФКе. Имел счастье трудиться с выдающимися учеными, внесшими большой вклад в развитие методологии подготовки спортсменов сбор-

ных команд страны, успешно выступавших в зимних и летних олимпийских играх и на других крупнейших международных соревнованиях. Это Г.В. Васильев, Н.Г. Озолин – директор института, В.М. Дьячков, С.А. Савин, Н.А. Бернштейн, Д.Д. Донской, В.М. Абалаков, М.П. Иванова, А.В. Коробков, В.В. Кузнецов, С.П. Летунов, Н.Д. Граевская и многие, многие другие.

Фундаментальные труды ученых ВНИИФК стали основой для построения новых технологий спортивной подготовки ВКС.

Рассвет института, его «золотой период», был с 1972 г. – Летних олимпийских игр Мюнхена по 1992 г. – Летних олимпийских игр в Барселоне, т.е. на протяжении 20 лет. В это время советские спортсмены были первыми, вторыми – спортсмены ГДР, страны с сильнейшим научно-методическим обеспечением (НМО) процесса спортивной подготовки, и третьими, а иногда вторыми – спортсмены США. В этот период во ВНИИФК работало более 1000 научных сотрудников, обеспечивающих подготовку сборных команд страны, а сейчас чуть более 100. Тогда во главе физкультурно-спортивного движения стоял Спорткомитет СССР, сейчас Минспорт Российской Федерации.

После 1972 г. в комплексных научных группах (КНГ) по видам спорта работало 9–12 сотрудников, ученых и специалистов различных научных направлений: педагоги,

биомеханики, биохимики, психологи, медики, физиологи, группы инженеров по обслуживанию стендов и научной аппаратуры. Для работы в основных сборных командах, сборных командах Москвы и ближайшего резерва (юниорские и молодежные составы) привлекались аспиранты, внештатные сотрудники, в КНГ было до 20–25 специалистов. Многие из этих специалистов выезжали на учебно-тренировочные сборы и соревнования. Руководители КНГ выезжали на соревнования, в том числе, за рубеж, т.к. тренеру во время соревнований фиксировать оцениваемую соревновательную деятельность объективно невозможно. Сегодня же только одного специалиста могут командировать для работы на соревнованиях и только внутри страны.

Функционировал полигон по зимним видам спорта. В легкоатлетическом манеже работали по уникальным методикам. Все оборудование в 90-х гг. было фактически уничтожено, в том числе уникальные научно-методические специализированные стенды по видам спорта.

В годы Великой Отечественной войны в этом легкоатлетическом манеже из числа спортсменов готовили отряды специального назначения для диверсионной работы в тылу врага.

На страницах методических материалов, монографий и других изданий сохранились эти уникальные научно-методические стенды, специализированные тренажеры, технические устройства, и сегодня все еще остается возможность выйти на уровень «золотого периода».

В полуподвале легкоатлетического манежа располагались стенды по биатлону, лыжным гонкам, причем стенды моделировали профиль рельефа гоночных трасс, на которых предстояло соревноваться. Кроме того, были стенды по стрельбе и т.д.

В центральном корпусе по ул. Казакова 18 стояли стенды по спортивным единоборствам, были прекрасный восстановительный центр, борцовские ковры, боксерские ринги, фехтовальные дорожки, различные тренажеры. В корпусе по Елизаветинскому переулку был бассейн, в котором функционировал водный тредбан.

Как я уже отметил, в «золотой период» была предложена новая концепция управления подготовкой сборных команд страны – трехуровневая система. Суть этой концепции состоит в следующем: необходимо рассматривать соревновательную деятельность, мастерство спортсменов и системы организма не фрагментарно с позиции отдельной научной дисциплины, а комплексно, на стыке наук, и не по отдельным тестам, а на научно-методическом стенде, моделирующем соревновательную деятельность высококвалифицированных спортсменов в конкретном виде спорта, и не в разные сроки, а практически одновременно. Такой подход даст возможность специалистам КНГ одновременно оценивать с позиций трехуровневой системы спортсменов сборных команд страны и своевременно разрабатывать методики коррекции подготовки.

Сегодня необходимо усовершенствовать опыт работы по управлению подготовкой сборных команд РФ.

1. На территории ВНИИФК построить 9-ти этажный корпус для полигонов 9 групп видов спорта, как это организовано в МЧС, вооруженных силах и других организациях.

2. По 6 группам видов спорта оборудовать залы для тренировок, в том числе с соревновательной интенсивностью. Разместить стенды, моделирующие соревновательную деятельность, комплексные тренажеры и другие устройства.

3. Подготовить разнообразные варианты восстановительных комплексов в зависимости от особенностей утомления.

4. Организовать фильмо-видео центр, в том числе с историей науки и спорта.

5. Создать экспериментальные группы, на которых изучаются новации, прежде чем вводить в сборные команды.

6. Возобновить обмен опытом с иностранными институтами, учеными, специалистами КНГ, например США, Китая, Англии, Германии, Болгарии, как это было с 1972 по 1992 гг.

7. Создать передвижные лаборатории, которые должны функционировать на учебно-тренировочных сборах, в том числе перед выездом спортсменов на соревнования.

8. Разрабатывать целевые комплексные программы на два Олимпийских цикла подготовки, а не на один, как это делается сегодня.

9. Открыть бесплатные детско-юношеские школы олимпийского резерва для детей из малоимущих семей.

10. Все материалы, связанные со сборными командами страны, снабдить грифом «для служебного пользования» как минимум.

Впереди Игры XXXI Олимпиады 2016 г. в г. Рио-де-Жанейро (Бразилия), к которым крайне важно форсировать решение изложенных проблем. Необходимо догонять по НМО такие страны, как Китай, США, Англия, Германия. Промедление может грозить серьезными последствиями. Важно как можно быстрее вернуть положительный опыт «золотого периода» научно-методического обеспечения сборных команд страны, науки в целом и решить вопрос выхода в ближайшие два года на уровень, который был в тот период, и пойти дальше.

Теодоронский В.С., Санаева Т.С. О ВОЗМОЖНОСТЯХ СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ТРАВЯНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОБЪЕКТАХ ОЗЕЛЕНЕНИЯ (УЛИЦЫ И МАГИСТРАЛИ Г. МОСКВЫ).

В статье обосновывается возможность озеленения объектов, прилегающих к магистралям, путем создания устойчивых травяных покрытий из травянистых растений местной флоры. Предлагаются возможности использования видов *Polygonum aviculare* и *Potentilla anserine* как наиболее перспективных в условиях урбанизированной среды

Ключевые слова: травяные покрытия, мониторинг, сообщество, оценка, городские магистрали.

Teodoronski V.S., Sanaeva T.S. ABOUT APPLICATION FEATURES OF SOME MEASURES FOR SCOTCH *POLYGONUM AVICULARE* И *POTENTILLA* HEALTH APPRAISAL IN TERMS OF MOSCOW CITY URBAN PARKS.

The necessity of perfecting of health-appraisal for is vindicated in this article. Corrections and additions to health-appraisal for *Polygonum aviculare* и *Potentilla* is offered.

Key words: monitoring, cenosis, appraisal, street, city urban.

Макуев В.А., Панферов В.И., Шамарин Ю.А., Корнеев В.М. ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ФИРМЕННОГО СЕРВИСА ЛЕСНОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ.

В статье рассмотрены вопросы международной практики машиностроения, связанные с повышением качества и других потребительских свойств выпускаемой продукции. Рассмотрены основные функции дилерского центра при организации фирменного сервиса лесной и сельскохозяйственной техники. На основании анализа зарубежного и отечественного опыта предложены наиболее эффективные формы создания систем фирменного сервиса для лесной и сельскохозяйственной техники с учетом специфики их работы.

Ключевые слова: диагностика, дизель, лесозаготовительные машины, топливная аппаратура, сельскохозяйственная техника.

Makuev V.A., Panferov V.I., Shamarin Y.A., Korneev V.M. BASICS OF CREATING ORIGINAL SERVICE SYSTEM FOR FOREST AND AGRICULTURAL MACHINES

The article studies foreign experience of international mechanical engineering in the field of product quality and other customer features of products. Basic functions of dealer center in the process of organization of original service system for forest and agricultural machines are studied. Based on Russian and foreign experience analysis the most effective ways of creating original service systems for forest and agricultural machines are offered taking into account specific features of its operation.

Key words: diagnostics, diesel, forest logging machines, fuel devices.

Сиротов А.В., Макуев В.А., Корнеев В.М., Шамарин Ю.А., Селиванов К.В. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ВНОСИМЫХ КОНСТРУКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ СТЕНДОВ, НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВОПОДАЧИ.

В статье приведены результаты производственных и лабораторных исследований эксплуатационных характеристик стендов для измерения параметров топливоподачи дизельной топливной аппаратуры (ДТА) технологических машин. Рассмотрены достоинства и недостатки известных стендов. Представлен анализ погрешностей измерений при использовании различных методов. Показано преимущество предлагаемого метода и стенда для контроля параметров топливоподачи ДТА лесных и сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: диагностика, дизель, лесозаготовительные машины, топливная аппаратура, сельскохозяйственная техника.

Siroto A.V., Makuev V.A., Korneev V.M., Shamarin Y.A., Selivanov K.V. ERROR ANALYSIS MADE BY CONSTRUCTIVE ELEMENTS OF STANDS ON ACCURACY OF FUEL DELIVERY PARAMETERS MEASUREMENTS.

The article provides results of industrial and laboratory researches of stands operating characteristics for fuel delivery parameters measurements in diesel fuel devices of technological machines. Error measurement analysis while using different methods is given. Advantages of suggested method and stand while controlling parameters of fuel delivery in diesel fuel devices of forest and agricultural machines are provided.

Key words: diagnostics, diesel, forest logging machines, fuel devices, agricultural background.

Сиротов А.В., Тарлаков Я.В., Селиванов К.В. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ МАШИН И ТРАКТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ЛЕСОЗАГОТОВКАХ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ.

В статье приведены результаты анализа показателей работы дизеля, выбраны основные параметры, по которым можно оценить работоспособность и эффективность работы дизельной топливной аппаратуры (ДТА) машин и тракторов, используемых на лесозаготовках. Приведены результаты применения метода диагностирования ДТА лесных машин с использованием разработанного экспериментального образца устройства для определения параметров процесса топливоподачи, а также алгоритм управления техническим состоянием ДТА лесозаготовительной техники.

Ключевые слова: диагностика, дизель, лесозаготовительные машины, топливная аппаратура.

Siroto A.V., Tarlakov Y.V., Selivanov K.V. RESULTS OF NEW DIAGNOSTIC METHOD APPLICATION OF DIESEL FUEL SYSTEM IN MACHINES AND TRACTORS OPERATING AT LOGGING SITES OF VLADIMIR REGION.

The article lists the results of diesel operation parameters analysis, where general parameters were chosen to evaluate efficiency and performance of diesel fuel device operation in machines and tractors used at logging. The article studies results of diagnostic method application of diesel fuel system in forest machines using elaborated experimental sample unit to identify fuel delivery process parameters as well as algorithm of technical condition management on diesel fuel devices of forest machines.

Key words: diagnostics, diesel, forest logging machines, fuel devices.

Коваленко Т.В., Калинин С.Ю. ТРАНСПОРТНОЕ ОСВОЕНИЕ ФРАГМЕНТИРОВАННЫХ АРЕНДНЫХ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ.

В статье рассматриваются основные принципы транспортного освоения фрагментированных лесосырьевых баз лесозаготовительных предприятий с учетом влияния климатических факторов. Предложено математическое описание данной задачи и расчетные зависимости по учету климатических параметров.

Ключевые слова: лесные дороги, транспортная сеть, климат, оптимизация.

Kovalenko T.V., Kalinin S.U. TRANSPORT DEVELOPMENT OF THE FRAGMENTED RENT FORESTS TAKING INTO ACCOUNT INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS.

In article the basic principles of transport development of the fragmented forests of the logging enterprises taking into account influence of climatic factors are considered. The mathematical

description of this task and settlement dependences according to the accounting of climatic parameters is offered.

Key words: forest roads, transport network, climate, optimization.

Камусин А.А., Кондрашова Е.В., Левушкин Д.М., Бурмистров В.А. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕМОНТА И СОДЕРЖАНИЯ УЧАСТКОВ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.

В статье описана модель управления запасами, которая позволит снизить затраты на ремонтные работы по отношению к существующему положению не менее, чем на 13...14 %, обеспечит за пять лет экономический эффект 3674,2 тыс. р., что подтверждает целесообразность внедрения данной модели в практику планирования ремонтных мероприятий участков лесных автомобильных дорог. Реализация предложенной модели управления запасами возможна при управлении запасами расходных материалов в любой сфере деятельности, когда необходимо учитывать изменение транспортных затрат по причине увеличения объема поставляемой партии. При оптимизации системы управления запасами эффект обеспечивается снижением затрат на приобретение, транспортировку и хранение материалов и инструментов при этом установлено, что основным элементом, обеспечивающим указанный эффект, является скидка, представляемая поставщиком, но увеличение объема поставляемой партии приводит к возрастанию затрат на транспортировку и хранение, а представляемая скидка должна обеспечивать компенсацию этих дополнительных затрат.

Ключевые слова: ресурсное обеспечение, лесная автомобильная дорога, управление запасами, ремонтные мероприятия.

Kamusin A.A., Kondrashova E.V., Levushkin D.M., Burmistrov V.A. RESOURCE SUPPORT THE PROCESS OF CONSTRUCTION, REPAIR AND MAINTENANCE OF AREAS OF FOREST ROADS.

The paper describes a model of inventory management that will reduce the cost of repairs in relation to the existing situation is not less than 13 ... 14% , will provide a five-year economic impact .. 3674.2 thousand rubles , which confirms the feasibility of this model in planning maintenance activities areas of forest roads. The implementation of the proposed model of inventory control is possible with inventory management of supplies in any business, when you need to take into account the change in transport costs due to increased supply lot. When optimizing inventory management cost reduction effect is provided for the purchase , transport and storage of materials and tools is thus established that the main element of ensuring this effect is represented by the supplier discount , but the increase in supply lot leads to an increase in the cost of transportation and storage, and provides discounts shall provide compensation for these additional costs.

Key words: resource provision , forest road , inventory management , repair activities.

Герасимов В.С., Соловьев Р.Ю., Игнатов В.И. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ.

В работе дается обоснование и сформулированы основные задачи и направления по созданию комплексной системы утилизации сельскохозяйственной и лесной техники. Подробно изложены принципы развития системы утилизации техники в странах Европейского Союза. Наглядно представлены нормативно-законодательные документы ЕС в вопросах обращения с отходами. Сформулированы задачи по ответственности за управление утилизацией техники и отходов на различных уровнях (федеральном, региональном, муниципальном).

Ключевые слова: рециклинг, утилизация, отходы, компоненты, ресурсы, экология, сельскохозяйственная и лесная техника, парк машин.

Gerasimov V.S., Soloviev R.U., Ignatov V.I. RATIONALE FOR THE DEVELOPMENT OF A RECYCLING SYSTEM OF AGRICULTURAL AND FORESTRY MACHINERY.

This paper presents the rationale and basic tasks and directions of comprehensive utilization of agricultural and forestry equipment. Detail the principles of development of the system of utilization of machinery in the countries of the European Union. Illustrating the legislative documents of the EU in the issues of waste management. Set the tasks for responsibility for running the utilization of technology and waste management at various levels (federal, regional, municipal).

Key words: recycling, disposal, waste, components, resources, ecology, agricultural and forestry machinery, the machinery park.

Тулузакон Д.В., Подрубалов М.В., Подрубалов В.К. К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ ПО ПРОФИЛЯМ ПУТИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН ЛЕСНОГО И ЛЕСОПАРКОВОГО ХОЗЯЙСТВ.

Приведен анализ новых международных стандартов по вибрации. Показана необходимость получения базы данных для оценки характеристик кинематических возбуждений от лесных фонов. Разработаны рекомендации по методам их регистрации и статистической обработке.

Ключевые слова: вибрация, лесные фоны, мобильные машины, режим движения, параметры профиля.

Tuluzakov D.V., Podrubalov M.V., Podrubalov V.K. TO A QUESTION OF A TECHNIQUE OF DEFINITION GIVEN ON PROFILES OF A WAY OF MOBILE CARS OF FOREST AND FOREST-PARK FARMS.

The analysis of new international standards on vibration is provided. Need of receiving a database for an assessment of characteristics of kinematic *vozbuzhdeniye* from forest backgrounds is shown. Recommendations about methods of their registration and statistical processing are developed.

Key words: vibration, forest backgrounds, mobile cars, movement mode, profile parameters.

Ларионов В.Я., Левушкин Д.М. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ.

В статье рассмотрены этапы совершенствования методов расчета нежестких дорожных одежд.

Ключевые слова: дорожная одежда, инструкция, методы расчета.

Larionov V.Ya., Levushkin D.M. STAGES OF DEVELOPMENT OF METHODS FOR THE CALCULATION OF NON-RIGID SURFACES OF ROADS.

The article describes the steps to improve methods for the calculation of non-rigid road surfacing.

Key words: surfaces of roads, instruction, methods of calculation.

Кольниченко Г.И., Сиротов А.В., Тарлаков Я.В. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ДЭС, РАБОТАЮЩИХ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ЕВРОСТАНДАРТАМ.

В статье на основе анализа нынешнего этапа развития Единой электроэнергетической системы России рассмотрены причины, стимулирующие отказ все большего числа потребителей электроэнергии от централизованного электроснабжения и переход к автономному электроснабжению. В связи с этим в рамках развития малой распределенной энергетики изложен способ определения рациональных режимов дизельных электростанций с учетом экологических ограничений EURO-IV

Ключевые слова: биотопливо, биодобавки, дизельные электростанции (ДЭС), малая распределенная энергетика (МРЭ).

Kolnichenko G.I., Siroto A.V., Tarlakov Y.V. THE CHOICE OF DIESEL POWER PLANT RATIONAL MODES OPERATING ACCORDING WITH RESTRICTIONS OF ECOLOGICAL EUROPEAN STANDARDS.

On the basis of the current state of Russian unified energy system analysis the article studies the reasons stimulating customers' choice of autonomous energy supply instead of centralised.

Due to this fact the article states the way how to identify rational modes of diesel power plant taking into consideration ecological restrictions EURO IV within the framework of small distributed energy systems.

Key words: biofuel, bio additives, diesel power plants, small distributed energy system.

Котов А.А. УПРУГИЕ И ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ.

Дано описание экспериментов по определению зависимости угла отклонения оси стволика древесного растения от величины изгибающего момента. Определены зависимости угловых и линейных упругих и остаточных деформаций растений от нагрузки. Результаты экспериментов представлены в графической форме.

Ключевые слова: статический изгиб, корневая система, ствол, береза, упругая деформация, остаточная деформация.

Kotov A.A. ELASTIC AND RESIDUAL DEFORMATIONS OF WOOD PLANTS AT THE STATIC BEND.

The description of experiments by definition of dependence of a corner of a deviation of an axis stipes a wood plant from size of the bending moment is given. Dependences of angular and linear elastic and residual deformations of plants on loading are determined. Results of experiments are submitted in the graphic form.

Key words: static bend, root system, stipes, birch, resilience, permanent deformation.

Кузнецов Е.Ю., Торопов А.С., Шарапов Е.С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ КРУГЛЫМИ ПИЛАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ.

Статья посвящена проблеме повышения точности пиления древесины на круглопильных станках. Представлены методика и результаты экспериментальных исследований точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих. Разработаны регрессионные зависимости точности пиления древесины с электромагнитными направляющими.

Ключевые слова: боковая сила, отклонение, работа резания, точность пиления, электромагнитная направляющая, экспериментальные исследования.

Kuznetsov E.Y., Toropov A.S., Sharapov E.S. EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF SAWING ACCURACY OF WOOD BY CIRCULAR SAWS WITH APPLICATION ELECTROMAGNETIC GUIDES.

The paper deals with a problem of increasing accuracy of circular saw machine. A technique and results experimental investigations of sawing accuracy of wood by circular saws with application electromagnetic guides are provided. Regression equations sawing accuracy of wood with electromagnetic guides are elaborated.

Key words: transverse load, circular saw, displacement, cutting work, sawing accuracy, electromagnetic guide, experimental investigations.

Полосухина О.И. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАБОТКИ ЗАГОТОВОК С ДОПУСТИМЫМ ОБЗОЛОМ ИЗ НЕОБРЕЗНЫХ И ОБРЕЗНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ.

В статье показано путем эксперимента и расчетов, что коэффициент выхода сырых заготовок при их выработке из необрезных досок при допущении предельного обзола может быть повышен до 7%; а при их выработке из обрезных досок можно повысить коэффициент выхода сырых заготовок из бревна до 9%.

Ключевые слова: раскрой пиломатериалов на заготовки, коэффициент выхода.

Polosukhina O.I. EFFICIENCY OF WORKPIECES WITH A VALID WANE OF EDGING AND TRIMMING LUMBER.

This article is shown by experiment and calculation, that the value yield raw of the workpieces for their development of the edging boards assuming wane limit can be increased to 7%; and in their development of the edging boards can increase the value yield of raw workpieces from the log up to 9%.

Key words: cutting of timber for workpieces, value yield.

Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю. МНОГОФОРМОВЫЙ ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ДРЕВЕСИНЫ.

Древесина способна проявлять многоформовый эффект памяти. Проведено моделирование изменения напряженно-деформированного состояния древесины при многоформовом эффекте памяти. Представлены результаты экспериментального исследования и визуализации многоформового эффекта памяти древесины.

Ключевые слова: умные материалы, многоформовый эффект памяти древесины, моделирование свойств древесины, визуализация свойств древесины.

Ugolev B.N., Gorbacheva G.A., Belkovskiy S.Yu. THE MULTI-SHAPE MEMORY EFFECT OF WOOD.

Wood possesses the multi-shape memory effect. The simulation of stress-strain state changing for the multi-shape memory effect is performed. The results of experimental research and visualization of the multi-shape memory effect are presented.

Key words: smart materials, multi-shape memory effect of wood, wood properties simulation, wood properties visualization.

Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ДРЕВЕСИНЫ.

В статье приводятся результаты экспериментального исследования показателей эффекта памяти формы древесины для различных древесных пород и видов шпона. Показано различие показателей R_r (доля обратимых деформаций) и R_f (доля фиксированных (сет) деформаций) в направлениях вдоль и поперек волокон древесины.

Ключевые слова: умные материалы, эффект памяти формы древесины, количественная оценка эффекта памяти.

Ugolev B.N., Gorbacheva G.A., Belkovskiy S.Yu. EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE WOOD MEMORY EFFECT QUANTITIES

Results of experimental research of the quantities of memory effect for some wood species and types of veneer are presented. The difference of wood memory effect quantities (strain recovery rate R_r and strain fixity rate R_f) in direction along and across the grain is shown.

Key words: smart materials, shape memory effect of wood, a quantitative assessment of the memory effect.

Тюленева Е.М. ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ В ДРЕВЕСИНЕ.

На основании анализа полученных автором экспериментальных данных по сжатию древесины в радиальном направлении, делается вывод о наличии необратимых остаточных деформаций. Предлагается реологическая модель древесины как упруго-пластически-эластического тела.

Ключевые слова: древесина, реология, упругость, эластичность, вязкость, пластичность, реологическое уравнение.

Tuleneva E.M. PLASTIC DEFORMATION OF WOOD.

Having got the analysis of experimental data of wood compression in the radial direction, the authors made the conclusion that there existed non-reverse residual deformations. They suggested a rheologic model of wood being an elastic, plastic, flexible body.

Key words: wood, rheology, elasticity, flexibility, viscosity, plasticity, rheologic equation.

Косарин А.А., Курышов Г.Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ БЕРЕЗОВЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ.

Для определения эффективности импульсной сушки пиломатериалов на универсальной опытно-экспериментальной сушильной камере вместимостью 1,5 м³ условного пиломатериала было проведено две опытные сушки обрезных березовых пиломатериалов с поперечными размерами 50×160мм. Первая сушка – импульсная, вторая – непрерывная по стандартным режимам при равном количестве подведенной тепловой энергии. Для этого определяли среднюю температуру процесса в цикле при импульсной сушке и эта же температура поддерживалась при непрерывной сушке. Экономия электроэнергии при импульсной сушке составила 53 %. Анализ нормируемых показателей качества сушки позволяет отнести качество стандартной сушки ко II категории, а импульсной сушки – к I категории.

Ключевые слова: импульсная сушка, показатели качества сушки, экономия электроэнергии.

Kosarin A.A. Kuryshov G.N. THE DEFINITION OF THE EFFECTIVENESS OF THE IMPULSE DRYING OF BIRCH TIMBER IN EXPERIMENTAL DRYING TUNNEL.

For the defining of the effectiveness of the impulse drying of timber with the universal experimental drying tunnel for 1,5 m³ of conventional timber fitting two experimental cycles of drying of square-sawn timber with crosscut measurement of 50x160 mm. The first cycle was or impulse drying, the second - seaseless on standard regimes with the same amount of heat energy. For this reason the medium temperature was defined during the cycle and the same temperature was cept during seaseless drying. The power economy during the impulse drying was up to 53%. The analysis of the normal numbers of the quality of drying lets us say that the quality of standard drying goes to the II category, and the impulse drying - to the first category

Key words: impuls drying, dryind quality data, power economy.

Фомин А.А., Гусев В.Г. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕГМЕНТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГОРБЫЛЯ.

Обоснованы геометрические модели горбыля, которые необходимы при проектировании эффективного технологического оборудования. Разработана методология построения эффективной механической обработки горбыля, позволяющей получать отделочную продукцию из отходов древесины, снизить затраты на электроэнергию и повысить производительность процесса.

Ключевые слова: горбыль, крупные отходы лесопиления, механическая обработка, система автоматического управления.

Fomin A.A., Gusev V.G. THE USE OF A GEOMETRIC MODEL OF SLAB WHEN DEVELOPING EFFECTIVE MACHINING.

The slab machining indicators which are necessary at designing of the effective technological equipment are proved. The methodology of slab effective machining construction is developed, allowing to receive finishing production from a wood waste, to lower expenses for the electric power and to raise a process productivity.

Key words: slab, large wood waste, machining, automatic control system.

Фомин А.А., Гусев В.Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ПРОФИЛЬНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ КРУПНЫХ ОТХОДОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ.

Определены функциональные связи мощности резания с независимыми факторами процесса профильного фрезерования, характеризующими режущий инструмент, режим резания, время обработки заготовки. Полученные зависимости позволяют выполнять проектные расчеты мощности при разработке оборудования для профильного фрезерования крупных отходов лесопиления.

Ключевые слова: мощность резания, профильное фрезерование, фасонная фреза, режим резания, приращение припуска, крупные отходы лесопиления, моделирование.

Fomin A.A., Gusev V.G. PROFILE MILLING CAPACITY MODELLING OF LARGE WOOD WASTE ON THE BASIS OF THE VOLUME FORMULA.

Functional communications of cutting capacity with independent factors of the profile milling process, describing cutting tool, a cutting mode, processing time are defined. The received dependences allow to do design calculations of capacity at working out of the equipment for large wood waste profile milling.

Key words: cutting capacity, profile milling, a shaped mill, a cutting mode, an allowance increment, a large wood waste, modeling.

Шарапов Е.С., Чернов В.Ю. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕРЛЕНИЮ.

Проведены сравнительные исследования методик определения плотности древесины при использовании рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению; выявлены взаимосвязи величин мощности при микросверлении древесины ($W=12\%$) и плотности древесины (ρ_{12}) при использовании рентгеновского излучения по трем породам: сосна (*Pinus sylvestris*), бук (*Fagus sylvatica*), ясень (*Fraxinus excelsior*).

Ключевые слова: плотность древесины, внутрикольцевая плотность древесины, свойства древесины, рентгеновская денситометрия, мобильное устройство для диагностики состояния древесины, резистограф, микросверление, дендрохронология.

Sharapov E.S., Chernov V.I. COMPARATIVE ANALYSIS OF WOOD DENSITY TECHNIQUES DETERMINATION WITH USING X-RAY RADIATION AND DEVICE FOR DRILLING RESISTANCE MEASUREMENTS.

Comparative researches of wood density techniques determination with using the x-ray radiation and the device for drilling resistance measurements are presented; correlations of microdrilling wood power values with normalized moisture content and wood density values (ρ_{12}) with using the x-ray radiation and three wood species: pine (*Pinus sylvestris*), beech (*Fagus sylvatica*) and ash (*Fraxinus excelsior*) are detected.

Key words: wood density, annual ring density, wood properties, x-ray densitometry, mobile device for wood quality diagnostics, Resistograph, microdrilling, dendrochronology.

Шарапов Е.С., Королев А.С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОДОЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ И ПИЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА.

Статья посвящена изучению процессов продольного цилиндрического фрезерования и пиления термически модифицированной древесины дуба (*Quercus robur*). Разработан измерительный шлейф на основе устройства сбора данных (УСД) «National Instruments» USB-6008, позволяющий наглядно и с высокой точностью определять энергосиловые параметры процессов обработки древесины. Представлены результаты экспериментальных исследований процессов продольного цилиндрического фрезерования и пиления термически модифицированной древесины дуба.

Ключевые слова: термически модифицированная древесина (ТМД), пиление круглыми пилами, цилиндрическое фрезерование, измерительный шлейф, устройство сбора данных.

Sharapov E.S., Korolev A.S. EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THERMALLY MODIFIED OAK LONGITUDINAL CILINDRICAL MILLING AND CIRCULAR SAWING.

The article is devoted to the study of the longitudinal cylindrical milling and circular sawing of thermally modified oak (*Quercus robur*). Measuring loop on the basis of data acquisition (DAQ) «National Instruments» USB-6008 has developed. Measuring loop makes it possible to raise visualization and accuracy of wood processing power parameters detection. Experimental results of longitudinal cylindrical milling and circular sawing of thermally modified oak (*Quercus robur*) presented.

Key words: thermally modified timber (TMT), cylindrical milling, circular sawing, data acquisition (DAQ).

Королев В.И., Васильев М.И. РАСЧЕТ СТРУНЫ ГИТАРЫ АРТ. 386 МЕТОДОМ СИЛ.

В статье показано раскрытие статической неопределенности струны гитары арт.386 методом сил. Приведены полученные расчетом диаметр струны и скорость звука в материале, соответствующие третьей форме колебаний с частотой 220 Гц.

Ключевые слова: статическая неопределенность, метод сил, диаметр струны, скорость звука в материале, третья форма колебаний.

Korolev V.I., Vasiliev M. I. CALCULATION OF A STRING OF A GUITAR ART.386 METHOD OF FORCES.

In article disclosure of static indefinability of a string of a guitar art.386 is shown by a method of forces. Are provided, diameter of a string and sound speed received by calculation in a material, corresponding to the third form of fluctuations with a frequency of 220 Hz.

Key words: static indefinability, method of forces, diameter of a string, sound speed in a material, third form of fluctuations.

Обливин А.Н., Лопатников М.В. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ДРЕВЕСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЯХ.

В статье рассмотрены вопросы, связанные с теоретическим подходом к прогнозированию изменения физических свойств композита во времени, как на стадии изготовления, так и на стадии его дальнейшей эксплуатации, а также теоретический подход к расчету адгезионных и когезионных характеристик полимера и прочностных характеристик композита.

Ключевые слова: длительная прочность, композиционные материалы, адгезия, когезия.

Oblivin A.N., Lopatnikov M.V. THEORETICAL BASES OF FORMING OF COMPOSITE MATERIALS ON THE WOOD FILLERS.

The article considers the issues related to the theoretical approach to the forecasting of changes in the physical properties of the composite in time and health, both at the stage of manufacture, so,

and on the stage of its further ex-exploitation, as well as a theoretical approach to the calculation of adhesive and cohesive properties of the polymer and strength characteristics of the composite.

Key words: long-term strength, composite materials, adhesion, cohesion.

Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗМА МОДИФИКАЦИИ ФЕНОЛО- И КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ КЛЕЕВ ШУНГИТОВЫМИ СОРБЕНТАМИ.

Снижение токсичности фанеры и ДСП является одним из наиболее важных задач исследователей в области клеев. В качестве модификаторов для карбаминоформальдегидных смол используется шунгитовый сорбент, который снижает эмиссию формальдегида и ускоряет процесс склеивания. Содержание свободного формальдегида в фенолоформальдегидной смоле уменьшается от 0,18 до 0,04 % и мочевиноформальдегидной от 0,18 до 0,03%. Лучшие результаты достигаются при размере частиц 0,2 мм шунгитов. Наличие изменений в характере процесса отверждения клея показал спектральный анализ. Известно, что свойства природных сорбентов зависят от их пористости и удельной поверхности. Исследования с использованием сканирующей электронной микроскопии показали, что шунгиты – углеродистое вещество темно - серого цвета и имеет высокую пористость.

Ключевые слова: феноло- и карбаминоформальдегидные смолы, модификация, шунгитовые сорбенты.

Varankina G.S., Chubinsky A.N. JUSTIFICATION OF THE MECHANISM OF PHENOL – AND UREA – FORMALDEHYDE GLUE MODIFICATION BY SHUNGITE SORBENTS.

The reducing the toxicity of plywood and particle board is one of the most important tasks of researchers in the field of adhesives. High absorption capacity sorbents have shungite. His addition to the adhesive reduces the emission of formaldehyde and accelerates the process of gluing. The experimental results show that shungites not only reduce the content of free formaldehyde in the glue, but it accelerates hardening. The free formaldehyde content in phenol-formaldehyde resin decreases from 0,18 to 0,04 % and urea-formaldehyde adhesive from 0.18 to 0.03%. The best results are achieved at a particle size of 0.2 mm shungites. Investigation of the influence of shungite sorbents curing adhesive spectral analysis showed the presence of changes in the nature of the process. It is known that the properties of natural sorbents depends on their porosity and specific surface. Studies using scanning electron microscopy showed that the carbonaceous substance schungites dark - gray color has a high porosity. Application shungites as modifiers of urea-formaldehyde and phenol-formaldehyde resins to reduce their toxicity is due to the composition , structure and adsorption properties of this natural material.

Key words: phenol –and urea-formaldehyde resin, modification, shungite sorbents, veneer, plywood.

Тарасов С.М., Азаров В.И., Иванова А.М. МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АМИНО-АЛЬДЕГИДНЫЕ ОЛИГОМЕРЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕКОРАТИВНОЙ БУМАГИ ДЛЯ БУМАЖНО-СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ.

В данной статье представлены результаты испытаний декоративной бумаги, полученной с использованием карбаминоформальдегидных олигомеров, модифицированных силикатом натрия, меламином, катионным крахмалом и поверхностно-активными веществами. Приведены основные свойства данных олигомеров. Доказана перспективность использования модифицированных карбаминоформальдегидных олигомеров при производстве декоративной бумаги для древесно-слоистых пластиков.

Ключевые слова: декоративная бумага, карбаминоформальдегидный олигомер, силикат натрия, поверхностно-активные вещества, катионный крахмал, древесно-слоистый пластик.

Tarasov S.M., Azarov V.I., Ivanova A.M. THE MODIFIED AMINE-ALDEHYDIC OLIGOMERS IN THE PRODUCTION OF DECORATIVE PAPER FOR THE PAPER-LAMINATED PLASTICS.

In given article results of the tests of the decorative paper produced with the use of carbamide-formaldehyde oligomers modified by the sodium silicate, melamine, cationic starch and surfactants are presented. The main characteristics of these oligomers are given. The prospect of the use of modified carbamide-formaldehyde oligomers in the production of the decorative paper for paper-laminated plastics is proved.

Key words: decorative paper, carbamide-formaldehyde oligomer, sodium silicate, surfactants, cationic starch, paper-laminated plastics.

Газеев М.В. АЭРОИОНИЗАЦИОННЫЙ СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДРЕВЕСИНЕ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛАХ.

Пленкообразование лакокрасочных покрытий на древесине происходит за счет испарения растворителей и химических реакций. Существуют различные способы ускорения этих процессов. В настоящее время широко распространен метод искусственного «оживления» воздуха, который получил название аэроионизация. В статье рассмотрены возможности и особенности применения аэроионизационного способа для повышения скорости сушки лакокрасочных покрытий на древесине. Предложен передвижной стеллаж для сушки лакокрасочных покрытий на щитовых и поганажных деталях на древесине.

Ключевые слова: пленкообразование, аэроионизация, сушка лакокрасочных покрытий, лакокрасочные материалы, древесина, древесные материалы.

Gazeev M.V. AERO IONIZATION WAY OF THE INTENSIFICATION OF FILM-FORMATION OF PAINT COATINGS ON WOOD FINISH AND WOOD MATERIALS.

Film-forming materials used for wood finish form film due to both solvent evaporation and chemical reactions. There is several ways to influence both of them. Nowadays the technique of artificial revivifying of air called air ionization is widely used. Operating parameters of air ionization technique affecting its performance are considered in the article. A mobile rack for advanced film-forming process is offered.

Key words: film-forming, air ionization, drying of paint and varnish coverings, paint and varnish materials, lacquer and paint coatings on wood, wood, wood materials.

Федотов А.А., Угрюмов С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФУРАНОВЫМ ОЛИГОМЕРОМ, НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ.

Предложено применение олигомеров фуранового ряда для модификации фенолформальдегидных смол, применяемых в плитном производстве, с целью повышения эксплуатационных свойств готовой продукции. Приведены результаты оценки физико-механических характеристик плит на основе лиственных и хвойных пород древесины при использовании фенолформальдегидного клея с различной долей добавки фурфурацетонного мономера ФА.

Ключевые слова: олигомеры, фенолформальдегидные смолы.

Fedotov A.A., Ugrymov S.A. RESEARCH OF INFLUENCE PHENOL FORMALDEHYDE RESIN, MODIFIED WITH FURAN OLIGOMER ON PARTICLE BOARD PROPERTIES.

Application of oligomers of an furan series for modification of the phenolformaldehyde resin used in particleboard manufacture for increase of running ability of finished product is proposed.

Results of an estimation of physicommechanical characteristics of particleboards based on softwoods and hardwoods with use phenol-formaldehyde resin with a various share of the furfurolaceton monomer FA are adduced.

Key words: oligomers, phenolformaldehyde resin.

Бурков В.Д., Харитонов Н.А., Демин А.Н. АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА.

Рассмотрены возможности создания волоконно-оптических датчиков электрического тока на основе цельного оптического волокна и магнитооптических кристаллов. Проанализированы их оптические системы. На основе теоретического анализа и экспериментальных исследований определено, что оптимальным вариантом является однопроходная система волоконно-оптического датчика.

Ключевые слова; волоконно-оптический датчик, электрический ток, магнитооптический материал, модуляция, измерение.

Burkov V.D, Kharitonov N.A., Demin A.N. ANALYSIS AND CHOISE OPTIMAL OPTICAL-FIBER SYSTEM TRANSDUSER OF ELEKTRICAL CURRENT.

Opportunity making for design fiber-optical electrical sensors on magnetooptical crystals is consored. Its optical systems are analyzer. On the base theoretical analysis and experimental research are standing that one line fiber-optical electrical sensors is optimal in discussed branch.

Key words: fiber-optical transduser, electrical current, magnetooptical material, measurements.

Мышенков В.И., Мышенкова Е.В. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ВЫЕМКЕ И МЕЖДУ ДВУМЯ ТЕЛАМИ.

На основе уравнений Навье – Стокса рассматривается вихревое течение газа в выемке и между двумя телами при числах Рейнольдса $1 \leq Re_{\infty} \leq 100$ и числах Маха набегающего потока $0.3 \leq M_{\infty} \leq 2$. Задачи решаются численно посредством двухшаговой схемы Лакса – Вендроффа. Приводятся полученные распределения давления и числа Нуссельта на поверхностях рассматриваемых тел.

Ключевые слова: вихревое течение, число Нусельта, давление, теплообмен, числа Маха и Рейнольдса.

Myshenkov V.I., Myshenkova E.V. NUMERICAL STUDY OF GAS FLOW IN THE RECESS AND BETWEEN THE TWO BODIES.

On the basis of the Navier - Stokes equations is considered vortex gas flow in the recess and between two bodies when Reynolds numbers $1 \leq Re_{\infty} \leq 100$ and Mach numbers incoming flow of $0.3 \leq M_{\infty} \leq 2$. Tasks are solved numerically by means of the two-step scheme of Lax - Wendroff. Are received pressure distribution and the number of Nusselt on surfaces considered of bodies.

Key words: vortex gas flow, the number of Nusselt, pressure, heat transfer, the Mach and Reynolds numbers.

Санаев В.Г., Степанов И.М., Запруднов В.И., Панферов В.И. СОЗДАНИЕ ОТРАСЛЕВОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ МОНИТОРИНГОВОЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛЕСА (ГЛОМАС-ЛЕС) – ПРОРЫВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ.

В статье предлагается создание единой отраслевой Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС) как составной части единой всеотраслевой Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы (ГЛОМАС). Предлагается эффективная структура Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС). Предлагается принцип

интеграции системы ГЛОМАС-ЛЕС в систему ГЛОМАС. Рассматриваются вопросы обеспечения конкурентоспособности системы ГЛОМАС-ЛЕС на внутреннем и внешнем рынках услуг аэрокосмического мониторинга леса. Рассматриваются вопросы ресурсного обеспечения и организации работ по созданию Глобальной мониторинговой аэрокосмической системы леса (ГЛОМАС-ЛЕС).

Ключевые слова: аэрокосмический мониторинг леса, глобальная мониторинговая аэрокосмическая система леса, ГЛОМАС-ЛЕС.

Sanayev V. G., Stepanov I.M. Zaprudnov V. I. Panferov V.I. CREATION OF BRANCH GLOBAL MONITORING SPACE SYSTEM OF THE WOOD (GLOMAS-LES) – THE BREAKTHROUGH DIRECTION OF CRITICAL TECHNOLOGIES.

In article creation of uniform branch Global monitoring space system of the wood (GLOMAS-LES) as component of uniform industry-wide Global monitoring space system (GLOMAS) is offered. The effective structure of Global monitoring space system of the wood (GLOMAS-LES) is offered. The principle of integration of system of GLOMAS-LES in GLOMAS system is offered. Questions of ensuring competitiveness of system of GLOMAS-LES in the internal and external markets of services of space monitoring of the wood are considered. Questions of resource providing and the organization of works for creation of Global monitoring space system of the wood (GLOMAS-LES) are considered.

Key words: aerospace monitoring of forests, global monitoring aerospace systems for forests, GLOMAS-LES.

Лемесев К.А. УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В ЗАДАЧЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ СЕТИ ИНТЕРНЕТ.

Различные приложения, основанные на данных из Интернета, таких как мониторинг и сравнение цен, требуют получения данных, распределенных по множеству веб-сайтов. В настоящей статье рассмотрено применение существующих инструментов для получения данных в контексте облачной инфраструктуры. Показана необходимость использования облачной инфраструктуры. Показана необходимость в поиске эффективного алгоритма управления ресурсами. Введена функция эффективности. Описана имитационная модель, позволяющая оценить значение функции для различных алгоритмов.

Ключевые слова: извлечение информации, структурированные данные, обертка, эффективность, облачная инфраструктура.

Lemesev K.A. MANAGEMENT OF COMPUTING RESOURCES IN THE PROBLEM OF EXTRACTION OF STRUCTURED INFORMATION FROM THE INTERNET.

Various web applications such as online price comparisons and competition monitoring require retrieval of distributed information from the Internet. This paper examines the use of existing tools for data extraction in the context of the cloud infrastructure. The necessity of finding an efficient algorithm for management of resources is presented. The function of efficiency is defined. The simulation model is described in order to assess the value functions for different algorithms.

Key words: data extraction, structured data, wrapper, efficiency, cloud infrastructure.

Кожухов Н.И., Жилин А.Д. ИНВЕСТИЦИОННАЯ И ИННОВАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТРАСЛЕЙ.

Лесной сектор экономики России становится все более привлекательным для отечественных и зарубежных инвесторов. В статье показаны новые сегменты рынка лесных товаров и услуг, которые имеют высокую инновационную значимость и представляют интерес для бизнес-среды.

Ключевые слова: лесной сектор, инновации, инвестиционная привлекательность, рекреационные и защитные услуги леса.

Kozhukhov N.I., Zhilin A.D. INNOVATION AND INVESTMENT PROSPECTS OF FORESTRY AND FOREST SECTOR.

Forest sector of the Russian economy becomes more attractive for domestic and foreign investors. The article shows the new segments of the forest goods and services market that are highly innovative importance and interest to the business.

Key words: forestry sector, innovations, investment prospects, recreational and protective forest services.

Косарина А.А., Федотова А.Е. РЕАЛЬНОСТЬ БЕЗУМЦА В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ ДЖЕЙМСА Г. БАЛЛАРДА.

В данной статье рассмотрены особенности поэтики рассказов Дж. Г. Балларда на примере сумасшествия героя. Рассматривается также проблема восприятия реальности героем Балларда и наиболее часто встречающиеся виды и особенности безумия героя; также приведены два варианта перевода фрагмента рассказа с анализом.

Ключевые слова: Баллард, сумасшествие, психологизм, перевод

Kosarina A.A. Fedotova A.E. REALITY OF THE MADMAN IN JAMES G. BALLARD'S WORKS.

This article describes the features of the poetics of J. G. Ballard's stories through the example of the character's madness. The problem of the characters' perception of reality is developed, common types and characteristics of the characters' insanity are described, two versions of the translation of a fragment with the analysis are shown.

Key words: Ballard, insanity, translation, psychologism

Майкова В.П., Марина Ж. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОЛОГИИ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОГО ОБЩЕСТВА НА ПРИМЕРЕ ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ ГРАММАТИКЕ.

В работе рассматриваются методологические проблемы постиндустриального общества в процессе формирования экологического мировоззрения. Раскрываются принципы методологии как учения об организации учебной деятельности. Даются разработанные автором схемы связей, возникающих в любом образовательном процессе и, в частности, целостном. Показано, что в образовании необходимо учитывать любой внешний объект как фактор, как нелинейное воздействие, влияющий на учащегося.

Ключевые слова: методология, мировоззрение, принципы деятельности, целостное обучение.

Maykova V, Janjic M. FEATURES OF THE METHODOLOGY OF POST-INDUSTRIAL SOCIETY BY THE EXAMPLE OF PROBLEM PROBLEM TEACHING GRAMMAR.

The paper deals with the methodological problems of post-industrial society in the process of formation of ecological Weltanschauung. Principles of teaching methodology as the organization of training activities are revealed. Schemes developed by the author ties arising in any educational process, are presented. It is shown that in education must take into account any external object as a factor, as the non-linear effect, which affects the student.

Key words: methodology, Weltanschauung, activity principles, holistic learning.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Обливин Александр Николаевич, профессор, доктор технических наук, академик РАЕН и МАНВШ, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Президент МГУЛ, профессор кафедры процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств Московского государственного университета леса
e-mail: prezident@mgul.ac.ru

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Никишов Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, академик РАЕН, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Московского государственного университета леса
e-mail: nikishov.08@mgul.ac.ru

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Бемманн Альбрехт, профессор, доктор технических наук, Дрезденский дендрологический университет, директор Института профессуры для стран Восточной Европы, Германия; Albrecht Bemann, Dr. Dr. h.c., Professor
e-mail: albrecht.bemann(at)forst.tu-dresden.de

Залесов Сергей Вениаминович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе, заведующий кафедрой лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета
e-mail: zalesov@usfeu.ru

Запруднов Вячеслав Ильич, профессор, доктор технических наук, проректор по научной работе, заведующий кафедрой геодезии и строительного дела Московского государственного университета леса
e-mail: zaprudnov@mgul.ac.ru

Исаев Александр Сергеевич, академик Российской академии наук, Председатель Научного совета по лесу РАН, член Совета «Совет РАН по космосу», Президент-сопредседатель Международного института леса, иностранный член Болгарской академии наук
e-mail: isaev@cepl.rssi.ru

Карелайнен Тимо, профессор университета Восточной Финляндии г. ЙОЭНСУУ, лесной НИИ «Метла», Финляндия; Karjalainen, Timo D.Sc. (Agr. & For.), Professor
e-mail: timo.karjalainen@metla.fi

Кожухов Николай Иванович, профессор, академик РАСХН, доктор экономических наук, заведующий кафедрой Мировой экономики Московского государственного университета леса
e-mail: kozhukov@mgul.ac.ru

Комаров Евгений Геннадиевич, профессор, доктор технических наук, проректор по экономической и финансовой деятельности, заведующий кафедрой информационно-измерительных систем Московского государственного университета леса
e-mail: komarov@mgul.ac.ru

Корольков Анатолий Владимирович, профессор, доктор физ.-мат. наук, декан факультета электроники и системотехники, профессор кафедры прикладной математики и математического моделирования Московского государственного университета леса
e-mail: korolkov@mgul.ac.ru

Кох Нильс Элерс, профессор, доктор агрономии в области лесной политики, Президент IUFRO, Генеральный директор Центра лесного и ландшафтного планирования университета г. Копенгаген, Дания
e-mail: nek@life.ku.dk

Кротт Макс, профессор, специализация Лесная политика, Георг-Аугуст-Университет, Геттинген
e-mail: mkrott@gwdg.de

Липаткин Владимир Александрович, профессор, кандидат биологических наук, декан факультета лесного хозяйства, заведующий кафедрой экологии и защиты леса Московского государственного университета леса
e-mail: lipatkin@mgul.ac.ru

Майорова Елена Ивановна, профессор, доктор юридических наук, кандидат сельскохозяйственных наук, декан гуманитарного факультета, заведующий кафедрой права Московского государственного университета леса
e-mail: mayorova@mgul.ac.ru

Мартынюк Александр Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат биологических наук, директор ФБУ ВНИИЛМ, советник Российской академии естественных наук, Заслуженный лесовод РФ
e-mail: info@vniilm.ru

Моисеев Николай Александрович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик Россельхозакадемии, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный лесовод РФ, иностранный член (академик) Шведской королевской академии сельского и лесного хозяйства, Финской академии наук и письменности, Итальянской лесной академии, почетный доктор Дрезденского технического университета Санкт-Петербургской ГЛТА, член Совета по развитию лесного комплекса при Правительстве РФ, член научно-экспертного совета при председателе Совета Федерации, член научно-технического Совета Рослесхоза, заведующий кафедрой экономики и управления Московского государственного университета леса

e-mail: moiseev@mgul.ac.ru

Редькин Анатолий Константинович, профессор, доктор технических наук, академик РАЕН, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленного производства Московского государственного университета леса

e-mail: redkin@mgul.ac.ru

Рыкунин Станислав Николаевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии деревоперерабатывающих производств Московского государственного университета леса

e-mail: rikunin@mgul.ac.ru

Рубцов Михаил Владимирович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАСХН, заслуженный лесовод Российской Федерации, Председатель секции «Лесоводство» Научного совета по проблемам леса РАН, член президиума Российского общества лесоводов, руководитель лаборатории лесоводства и биологической продуктивности Института лесоведения РАН

e-mail: root@ilan.ras.ru

Семенов Юрий Павлович, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры электротехники, теплотехники и энергоснабжения предприятий лесного комплекса Московского государственного университета леса

e-mail: semenov@mgul.ac.ru

Стрекалов Александр Федорович, Первый вице-президент РКК «Энергия», Генеральный директор ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия», действительный член Российской Академии космонавтики им. Циолковского, кандидат технических наук

e-mail: mail@rscc.ru, post@rscc.ru, boris.harlov@rscc.ru

Теодоронский Владимир Сергеевич, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАЕН, член Союза архитекторов России, член правления Московского объединения ландшафтных архитекторов (МОЛА), профессор кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства Московского государственного университета леса

e-mail: teodoronskiy@mgul.ac.ru

Тулузаков Дмитрий Владимирович, доцент, кандидат технических наук, проректор по учебной работе, заведующий кафедрой технической механики Московского государственного университета леса

e-mail: tuluzakov@mgul.ac.ru

Уголев Борис Наумович, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, академик ИАВС, почетный член РАЕН, профессор кафедры древесиноведения Московского государственного университета леса

e-mail: ugolev@mgul.ac.ru

Федоренчик Александр Семенович, кандидат технических наук, член-корреспондент Международной академии технического образования, академик Белорусской инженерной академии, член учебно-методического совета России по специальности «Лесоинженерное дело», член научно-технического совета Министерства лесного хозяйства, член двух учебно-методических объединений высших учебных заведений Республики Беларусь: по химико-технологическому образованию и образованию в области лесного хозяйства и природопользования, член президиума: Научно-методического совета при Министерстве образования; Республиканского товарищества дружбы «Беларусь - Финляндия»; председатель учебно-методического совета БГТУ профессор кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок Белорусского государственного технологического университета

e-mail: root@bstu.unibel.by

Цветков Вячеслав Ефимович, профессор, доктор технических наук, академик РАЕН, заведующий кафедрой технологии древесных плит и пластиков Московского государственного университета леса

e-mail: tsvetkov@mgul.ac.ru

Чубинский Анатолий Николаевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии лесопиления и сушки древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова

e-mail: tfsd@inbox.ru

Шимкович Дмитрий Григорьевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой теории и конструирования машин Московского государственного университета леса

e-mail: shimkovich@mgul.ac.ru