



ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК

Научно-информационный журнал

**2011 г. № 3(79)**

**Координационный  
совет журнала**

**Главный редактор**  
А.Н. ОБЛИВИН

**Зам. главного редактора**  
В.Д. НИКИШОВ

**Члены совета**  
В.В. АМАЛИЦКИЙ  
М.А. БЫКОВСКИЙ  
В.И. ЗАПРУДНОВ  
Н.И. КОЖУХОВ  
А.В. КОРОЛЬКОВ  
В.А. ЛИПАТКИН  
Е.И. МАЙОРОВА  
М.Д. МЕРЗЛЕНКО  
А.К. РЕДЬКИН  
А.А. САВИЦКИЙ  
Ю.П. СЕМЕНОВ  
Д.В. ТУЛУЗАКОВ  
В.А. ФРОЛОВА  
В.С. ШАЛАЕВ

**Ответственный секретарь**  
Е.А. РАСЕВА

**Редактор**  
В.Б. ИВЛИЕВА

**Набор и верстка**  
М.А. ЗВЕРЕВ

**Электронная версия**  
Н.К. МЕДВЕДЕВА

Журнал издается при поддержке  
Научно-образовательной  
ассоциации лесного комплекса

Журнал зарегистрирован Министерством  
РФ по делам печати, телерадиовещания и средств  
массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-12923 от 17.06.2002

Журнал входит в перечень утвержденных  
ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей  
ученых степеней

Материалы настоящего журнала могут быть  
перепечатаны и воспроизведены полностью или  
частично с письменного разрешения издательства.

Редакция журнала принимает к рассмотрению не публиковавшиеся ранее статьи объемом 5–10 страниц, включая рисунки и таблицы. Требования к представлению материалов приведены в конце номера.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, не принимаются; статьи, отклоненные редакцией, не возвращаются.

© ГОУ ВПО МГУЛ, 2011

Подписано в печать 04.05.2011.  
Тираж 500 экз.  
Заказ № 379  
Объем 27 п. л.

Издательство Московского государственного университета леса  
141005, Мытищи-5, Московская обл.,  
1-я Институтская, 1, МГУЛ. (498)687-41-33  
les-vest@mgul.ac.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

### Лесное хозяйство

Рыбальченко Н.Г., Цареградский П.В.	<i>Сплошные рубки и лесовосстановительный процесс на вырубках</i> .....	4
Обыдёнников В.И., Тибуков А.В., Тишина Т.А.	<i>Последствия сплошных рубок с использованием агрегатной техники в ельниках (по результатам 20-летних стационарных исследований)</i> .....	7
Ерусалимский В.И., Власенко А.А.	<i>Рост и состояние рукотворных массивных дубрав засушливой степи</i> .....	11
Кашпор Н.Н., Мартынюк А.А., Желдак В.И., Сидоренков В.М., Трушина И.Г., Кудряшов П.В., Солонцов О.Н.	<i>Схема лесного районирования Российской Федерации</i> .....	17
Чижов Б.Е., Харлов И.Ю., Козинец В.А., Агафонов Е.Ю.	<i>Зонально-типологические особенности естественного возобновления сосняков Западной Сибири</i> .....	25
Захарова А.А.	<i>Сравнительная успешность роста чистых по составу культур пихты сибирской и пихты бальзамической при их интродукции на Смоленско-Московской возвышенности</i> .....	30
Петухов И.Н.	<i>Лесоводственная эффективность создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой в условиях Костромской области</i> .....	33
Бессчетнова Н.Н.	<i>Сравнительная оценка клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной по темпам водопотери хвои</i> .....	36
Пристова Т.А., Хабибулина Ф.М., Виноградова Ю.А., Мельник П.Г.	<i>Формирование лесной подстилки лиственных насаждений средней тайги Республики Коми</i> .....	41
Захарова Е.И.	<i>Содержание запасных питательных веществ в тканях однолетних побегов древесно-кустарниковых представителей семейства бобовые (Fabaceae Lindl.), интродуцированных в Нижегородскую область</i> .....	46
Васильева К.А., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю.	<i>Состояние пигментного комплекса ассимиляционного аппарата клена остролистного (Acer platanoides L.) в условиях загрязнения</i> .....	51
Радостева Э.Р., Фаизова Л.И., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю.	<i>Процесс микоризации Pinus sylvestris L. в отвальных почвогрунтах Кумертауского бурогольного разреза (Республика Башкортостан)</i> .....	55
Скок А.В., Глазун И.Н., Самошкин Е.Н.	<i>Воздействие хронического ионизирующего излучения на митотическую активность и хромосомные aberrации сосны обыкновенной в Южном Нечерноземье РФ</i> .....	58
Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Солдатов В.Ю., Шалаев В.С.	<i>Нанотехнологии и проблемы экологического мониторинга</i> .....	62
Майорова Е.И., Анисочкин Г.В., Илий П.К., Хороленкова Л.В.	<i>Правовой режим лесоустройства и государственной инвентаризации лесов: сходство, различия, пути совершенствования</i> .....	69

### Лесоинженерное дело

Алябьев А.Ф.	<i>Зависимость качественных показателей работы оборудования для расчистки вырубок от его параметров</i> .....	74
Пискунов М.А., Воронова А.М.	<i>Исследование и классификация действительных схем размещения волоков на лесосеке при сортиментной технологии заготовки леса</i> .....	77
Сорокин М.А., Комяков А.Н.	<i>Транспортные качества мобильных гидротехнических сооружений наполняемого типа в условиях безграничного потока и мелководья</i> .....	81
Афоничев Д.Н.	<i>Обоснование протяженности лесовозного уса</i> .....	85

Афоничев Д.Н.	<i>Имитационное моделирование нагружения лесных почво-грунтов конструктивными элементами сборно-разборных дорожных покрытий</i> .....	89
Иванова М.Э.	<i>Исследование и планирование развития лесной транспортной сети</i> .....	91
Иванов Г.А., Котов А.А.	<i>Коэффициент жесткости корневой системы дерева при статическом изгибе</i> .....	98
Тулузаков Д.В., Лапшин Ю.Г., Подрубалов В.К., Подрубалов М.В.	<i>Характеристики воздействий от эталонных искусственных треков для испытаний мобильных машин</i> .....	102
Шамарин Ю.А., Панферов В.И., Селиванов К.В., Корнеев В.М.	<i>Проблемы диагностирования топливной аппаратуры дизелей лесных машин</i> .....	107
Подрубалов М.В.	<i>Формирование функции цели при оптимизации системы виброзащиты транспортного агрегата мотоблока</i> .....	110
Зеликов В.А.	<i>Механизм для виброзаглушения рабочих органов культиватора КЛБ-1,7: методика и результаты моделирования</i> .....	114
<b>Деревообработка</b>		
Косарин А.А., Расев А.И.	<i>Режимы импульсной сушки пиломатериалов</i> .....	118
Рыбин Б.М., Завражнова И.А.	<i>К вопросу нормативных показателей блеска защитно-декоративных покрытий на древесных подложках</i> .....	122
Шарапов Е.С., Разумов Е.Ю., Королев А.С., Попов Д.А.	<i>Экспериментальные исследования процесса резания термически модифицированной древесины березы</i> .....	125
Попов В.М., Иванов А.В., Посметьев В.В.	<i>Моделирование процесса склеивания древесины при воздействии на клей постоянным магнитным полем</i> .....	128
Куницкая О.А.	<i>Моделирование различных способов пропитки древесины полимерами</i> .....	131
Кононов Г.Н., Дроздова В.С., Фаньковская А.А.	<i>Влияние механической и химической обработки МБС на свойства получаемого волокнистого полуфабриката</i> .....	136
Щепкин В.Б.	<i>Исследование клееных пиломатериалов из секторов</i> .....	140
Торопов А.С., Шарапов Е.С., Кузнецов Е.Ю.	<i>Обоснование параметров электромагнитной направляющей в круглопильных станках</i> .....	144
<b>Математическое моделирование</b>		
Санаев В.Г., Полещук О.М., Комаров Е.Г.	<i>О применении методов нечеткого анализа для прогноза поведения древесины, прошедшей гидротермическую обработку</i> .....	148
Бурков В.Д., Перминов С.В., Капранов Ю.С.	<i>Волоконно-оптическая система передачи информации</i> .....	157
Бурков В.Д., Черемисин М.В.	<i>Перспективы использования перебазируемого комплекса телеметрических измерений «Селена ИТ» при приеме и обработке данных ДЗЗ в системе мониторинга природных процессов</i> .....	170
Кондрашин М.А., Скорняков В.А.	<i>Методы предварительной фильтрации при выявлении космических объектов, представляющих угрозу столкновения с орбитальными летательными аппаратами</i> .....	179
Рожков М.И.	<i>К вопросу построения ортогональных систем двоичных функций с использованием регистра сдвига</i> .....	180
Лось А.Б.	<i>О предельном распределении максимума процесса скользящего суммирования (частичных сумм Эрдеша–Реньи)</i> .....	185
<b>Экономика</b>		
Симановский Ф.И.	<i>Жизненный цикл бизнес-модели</i> .....	189
<b>Философия</b>		
Майкова В.П.	<i>Философия, СМИ и будущее культуры человека: проблема взаимных отношений</i> .....	195
Майкова В.П.	<i>Массовая коммуникация и межличностное общение в формировании общественного сознания</i> .....	199

## СПЛОШНЫЕ РУБКИ И ЛЕСОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС НА ВЫРУБКАХ

Н.Г. РЫБАЛЬЧЕНКО, *зав. лаб. лесопользования, канд. с.-х. наук,*  
П.В. ЦАРЕГРАДСКИЙ, *Федеральное агентство лесного хозяйства Рослесхоз*

*vniilm@mail.ru*

При ускоренном выращивании целевых насаждений ресурсного назначения для получения определенных сортиментов (сырья для деревоперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности) должно быть соблюдено требование – рост насаждения с максимальной интенсивностью с момента его возникновения. При соблюдении этого условия технически спелое насаждение может быть выращено в максимально возможный короткий срок.

Одним из решающих факторов, определяющих рост и продуктивность насаждений, как известно, являются почвенные условия. Для выращивания целевых насаждений подбирают участки с высокопроизводительными условиями произрастания для выращиваемой породы. Однако при сплошной рубке, предшествующей созданию целевого насаждения, не удается сохранить лесорастительные свойства почвы в состоянии до рубки. С одной стороны, действует естественный процесс ухудшения физико-химических свойств почвы в результате резкого изменения микроклиматических условий, с другой стороны, на почву воздействует лесозаготовительная техника, перемешивая, уплотняя верхние почвенные горизонты, ухудшая их структуру и лесорастительные свойства. Этот фактор нельзя не учитывать при подборе участков для целевого выращивания культур ели. В некоторых случаях при необходимости целесообразно проводить мероприятия по восстановлению нарушенных при лесозаготовках лесорастительных свойств почвы.

Влияние лесозаготовительной техники на лесоводственно-экологическое состояние лесных площадей изучено достаточно хорошо [1; 2; 4; 6; 7; 8; 9 и др.]. Исследованиями ВНИИЛМ прошлых лет подтверждено, что лесозаготовительная техника при интенсив-

ном воздействии ее движителей на верхние горизонты почвенного покрова ухудшает водно-физические и химические свойства почвы. Восстановление их до исходного состояния протекает длительный период. Однако, как показали наши исследования, это касается определенной группы повреждений почвенного покрова и типов почв суглинистого механического состава, которые характерны для ельников.

Известно несколько классификаций повреждений почвы лесозаготовительной техникой [3; 5;]. Они основаны на оценке повреждений растительного слоя почвы: учитывается глубина колеи, образованной движителями трактора, абсолютная или относительно почвенных горизонтов; степень перемешивания горизонтов почвы и включения порубочных остатков; степень минерализации почвы.

Исследования на вырубках зоны хвойно-широколиственных лесов и южной тайги позволили получить достоверные данные для обоснования классификации повреждений почвенного покрова по степени изменения лесорастительных свойств почвы.

Все многообразие повреждений почвенного покрова на вырубках можно разделить на три класса по степени поврежденности верхних горизонтов почвы: 1 – повреждения слабой степени, не ведущие к изменениям в сложении почвенных горизонтов; такие повреждения не требуют проведения мероприятий по восстановлению лесорастительных свойств почвы; 2 – повреждения средней степени, не ведущие к существенным изменениям водно-физических свойств почвы, они устранимы при создании лесных культур с предпосадочной обработкой почвы; 3 – повреждения сильной степени, ведущие к существенным изменениям водно-физических свойств почвы – образованию водоупор-

ного горизонта, глубоких колеи, изменяющих микрорельеф поверхности, к обнажению минеральных горизонтов с их уплотнением и других. Размеры повреждений сильной степени должны ограничиваться в допустимых пределах. Для устранения отрицательных последствий повреждений почвы сильной степени, ускорения процесса восстановления лесорастительных свойств поврежденной почвы требуется проведение специальных мероприятий.

Классификация обоснована не только величинами показателей водно-физических и химических свойств поврежденной почвы, но и данными, характеризующими интенсивность возобновительного процесса, рост и продуктивность насаждений на вырубках на последующих возрастных этапах. Рост и продуктивность насаждений является интегральным показателем добротности условий произрастания и более полно характеризует степень ухудшения лесорастительных условий на вырубках лесозаготовительной техникой, чем показатели водно-физических и химических свойств почвы.

Различия в последствиях, связанных со степенью повреждений почвы разных видов, выражающиеся в продуктивности древостоев последующего возобновления, как показывают исследования ряда ученых [А.В. Побединский, 1980; В.С. Шумаков, В.Н. Кураев, 1983; и др.] и наши исследования, объясняются отрицательными изменениями в лесорастительных свойствах почв, сохраняющимися в течение различных по продолжительности периодов в зависимости от степени поврежденности почвы.

Повреждения сильной степени, как установлено, приурочены, в основном, к местам

интенсивного движения лесозаготовительной техники – технологическим элементам лесосеки: магистральным и пасечным волокам, лесовозным дорогам, погрузочным площадкам, местам базирования техники и складов ГСМ. В таких местах даже через 30 лет, как следует из приведенных результатов исследований на вырубках района хвойно-широколиственных лесов, сохраняются визуальные признаки повреждений почвы сильной степени и проявляются их последствия, выраженные в низком качестве формирующихся в этих местах насаждений. Поэтому при оценке вырубок, подбираемых для целевого выращивания насаждений как искусственного, так и естественного возобновления, одним из основных показателей степени пригодности вырубки для целевого выращивания определяется фактическая доля площади технологических элементов в общей площади лесосеки после ее разработки.

Расчеты, выполненные на основе материалов исследований на вырубках района хвойно-широколиственных лесов, позволили разработать шкалу динамики продуктивности насаждений на вырубках по запасу и их бонитета в зависимости от площади технологических элементов в общей площади вырубки [6], приведенную в таблице.

При подборе вырубок для целевого выращивания насаждений по шкале можно устанавливать, какие потери в продуктивности будущего насаждения возможны на данной вырубке, и судить о целесообразности включения вырубки в фонд целевого выращивания или о необходимости проведения мероприятий, направленных на восстановление лесорастительных свойств почвенного покрова на вырубке.

Т а б л и ц а

**Снижение продуктивности насаждений основных лесобразующих пород на вырубках района хвойно-широколиственных лесов в зависимости от доли площади технологических элементов в площади вырубки**

Показатели	Значения показателей					
	0	20	40	60	80	100
Доля площади технологических элементов в общей площади вырубки, %	0	20	40	60	80	100
снижение запаса, %	–	16	31	46	62	76
снижение класса бонитета	–	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8

Измененные при лесозаготовках почвенные условия оказывают существенное влияние на рост культур ели, создаваемых на вырубках.

Исследования последствий влияния почвенных условий поврежденного в сильной степени почвенного покрова на приживаемость и рост культур ели проведены на вырубках в хвойно-широколиственных лесах в ельниках и сосняках сложных, черничниках свежих. Для исследований взяты культуры I-II классов возраста, посаженные ручным и механизированным способами в обработанную почву и без обработки. Установлено, что при повреждении сильной степени почвы суглинистого механического состава снижается как сохранность культур ели, так и интенсивность их роста. Так, на вырубках в ельнике сложном широколиственном сохранность культур ели, посаженных без агротехнической обработки почвы на трассах лесовозных дорог с уничтоженными верхними почвенными горизонтами и разрушенной почвенной структурой (кв. 73 Хомяковского лесничества, кв. 5 Сергиево-Посадского лесничества Сергиево-Посадского лесхоза), сохранность саженцев составила менее 20 %.

На погрузочных площадках с сильными повреждениями почвы в первый год после посадки сохранилось только 45–50 % высаженных саженцев ели. Отпад саженцев на погрузочных площадках и лесовозных дорогах продолжался и в последующие годы (кв. 25 Хотьковского лесничества Сергиево-Посадского лесхоза). Интенсивность роста сохранившихся саженцев в местах средней и сильной степени повреждения почвы в 1,5–2 раза слабее, чем в местах с неповрежденной почвой или при слабом ее повреждении.

Способы предпосадочной обработки поврежденной в сильной степени почвы без интенсивного рыхления верхних уплотненных горизонтов не приводят к положительному лесоводственному эффекту. На вырубке в условиях типа леса ельника широколиственного (кв. 79 Хомяковское лесничество Сергиево-Посадский лесхоз) после сплошной рубки с неупорядоченной трелевкой древесины почвенный покров поврежден более чем на

80 % площади. Культуры ели, посаженные лесопосадочной машиной в расчищенные и раскорчеванные полосы без обработки почвы в полосах рыхлительными орудиями, на участках с сильной степенью повреждения почвы в первый год имели сохранность 25 %. Из повторно посаженных на этих участках саженцев через 1–2 года сохранилось только 44–77 %. Прирост по высоте у сохранившихся на участках с сильно поврежденной почвой саженцев составлял всего 5 см и практически не возрастал. Аналогичные данные получены и на других вырубках с культурами, посаженными по раскорчеванным и расчищенным полосам (кв. 118, 41 Хомяковского, кв. 43 Хотьковского, кв. 56 Сергиево-Посадского лесничества) без рыхления верхних уплотненных горизонтов.

В условиях ельника сложного (производный – березняк кисличник) культуры ели, посаженные по образованным плугом ПКЛ-70 пластам, на вырубке после сплошной рубки с применением ВТМ-4 (кв. 81 Пенского лесничества Оленинского лесхоза Тверской области) на участках с сильными повреждениями почвенного покрова через 8 лет после их посадки имели сохранность 55 % и среднюю высоту, равную 66 % высоты культур на участках с неповрежденной почвой.

Положительный эффект дает интенсивная агротехническая обработка поврежденной в сильной степени почвы. Так, культуры ели, посаженные на погрузочной площадке с поврежденным на 80 % ее площади почвенным покровом в раскорчеванные и расчищенные корчевателем полосы с последующим рыхлением на глубину 15–20 см тяжелой дисковой бороной верхних горизонтов среднесуглинистой свежей почвы (кв. 93 Алексеевского лесничества Сергиево-Посадского лесхоза), в возрасте 24 года имели сохранность 83 % и I класс бонитета. Культуры созданы на вырубке после сплошной рубки в типе леса ельник злаково-разнотравный.

При подборе для целевого выращивания уже созданных культур или участков для посадки культур целевого назначения следует, не основываясь на типологическом описании участка лесоустройством, изучить состояние

почвенного покрова на участке, если известно, что на нем когда-то работала лесозаготовительная техника. Если установлено, что почвенный покров на преобладающей части участка поврежден в сильной степени, можно считать, что растительные свойства почвы на нем сильно ухудшены. В этом случае участок или не берут для целевого выращивания культуры ели, или проектируют проведение на нем агротехнических мероприятий, направленных на восстановление лесорастительного потенциала почвы.

При разработке лесосек сплошных рубок следует применять технологии разработки и лесозаготовительную технику, наносящие минимальный ущерб почвенному покрову.

#### Библиографический список

- Исаев, В.И. Влияние механизированных лесозаготовок на изменение водно-физических свойств почвы, сток и возобновление леса. Состояние возобновления и пути формирования молодняков на концентрированных вырубках северо-запада европейской части СССР / В.И. Исаев. – Архангельск, 1971. – С. 287–289.
- Исаев, В.И. Лесоводственная оценка техники и технологии лесосечных работ / В.И. Исаев, А.В. Побединский. – М.: Гослесхоз СССР, 1977. – 15 с.
- Обыденников, В.И. Методика лесоводственной оценки современной лесозаготовительной техники и технологии при сплошных рубках в разрезе динамической типологии леса: Вопросы лесоведения и лесоводства / В.И. Обыденников. – М.: МЛТИ, 1985. – Вып. 16. – 4 с.
- Обыденников, В.И. Динамика типов вырубков и леса в связи с применением агрегатной техники / В.И. Обыденников. – М.: МЛТИ, 1990. – 75 с.
- Побединский, А.В. Изучение лесовосстановительных процессов / А.В. Побединский. – М.: Наука, 1966. – 56 с.
- Рыбальченко, Н.Г. Эколого-лесоводственные последствия механизированных рубок главного пользования в лесах России: Обзорная информация / Н.Г. Рыбальченко, Н.Е. Проказин, А.М. Межибовский. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. – Вып. 10. – 14 с.
- Шумаков, В.С. Охрана почв при работе многооперационной лесозаготовительной техники / В.С. Шумаков, В.Н. Кураев // Изменение свойств лесных почв при хозяйственной деятельности в лесах: сб. науч. тр. – М., 1983. – С. 3–18.
- Цареградский, П.В. Использование активного эксперимента при лесоводственно-экологической оценке лесохозяйственной техники / П.В. Цареградский, О.Г. Климов // Лесохозяйственная информация. – 2002. – № 2. – С. 37–39.
- Климов, О.Г., Цареградский П.В. Способ организации технологической сети участка леса для машинной технологии рубок ухода.–Патент №2249942 РФ, заявка № 2003121628, зарегистрир. 20.04.2005, бюл.№11.

## ПОСЛЕДСТВИЯ СПЛОШНЫХ РУБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АГРЕГАТНОЙ ТЕХНИКИ В ЕЛЬНИКАХ (По результатам 20-летних стационарных исследований)

В.И. ОБЫДЁННИКОВ, *проф. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ, д-р с.-х. наук,*  
А.В. ТИБУКОВ, *доц. каф. геодезии и строительного дела МГУЛ,*  
Т.А. ТИШИНА, *студентка*

*tibukov\_av@mail.ru*

**Е**стественное возобновление и формирование леса – единый непрерывный процесс [1]. Возобновление леса в связи со сплошными рубками подразделяется на предварительное и последующее. Формирование леса из подростка предварительного или последующего естественного и искусственного возобновления определяется прежде всего исходным типом леса, состоянием подростка под пологом древостоя, степенью сохранности

его в процессе рубки и характером повреждения почвенного покрова.

И.С.Мелехов [2] различал два пути формирования леса после полного удаления древостоя, вызванного сплошными рубками, пожарами или другими стихийными бедствиями. В частности, после сплошных рубок возможно сразу же образование лесного этапа или же формирование леса происходит через безлесный этап – тип вырубки. Первое на-

**Сохранность подроста ели по разным технологиям**

Технология	Период наблюдений	Группы подроста, м; тыс.шт./га / %				Минерализация почвы, %
		До 0,5	0,5–1,5	>1,5	всего	
С сохранением подроста	До рубки	4,0/100	2,2/100	3,8/100	10,0/100	37,5
	После рубки	1,75/43	1,2/54	1,75/46	4,7/47	
Без сохранения подроста	До рубки	2,2/100	3,2/100	4,1/100	9,5/100	79,5
	После рубки	0,85/38	ед,	ед,	0,85/8,9	

правление в динамике леса после сплошных рубок, которое характеризуется формированием леса, минуя безлесный этап, возможно в типах леса с успешным возобновлением главных пород и при условии высокой сохранности подроста в процессе лесосечных работ.

Образование леса через безлесный этап – тип вырубki – наблюдается на участках с исходным типом леса, в которых или подрост отсутствует или же при его наличии под пологом древостоя он был уничтожен во время рубки. Здесь формирование леса зависит от успешности последующего возобновления, который определяется условиями среды и наличием обсеменителей в достаточном количестве. Установлено, что на формирование типа вырубki в еловых лесах южной тайги и зоны смешанных лесов Русской равнины существенное влияние оказывают сохранность подроста, степень минерализации почвы и плотность ее верхних слоев [3].

На вышеприведенной принципиальной научно-методической основе академика И.С.Мелехова многими учеными проведены исследования возобновления и формирования леса после сплошных рубок в разных регионах страны, в т.ч. с использованием агрегатной техники. Особое внимание уделялось формированию типов вырубki и их влиянию на динамику лесной растительности [4]. Однако длительных стационарных исследований условий среды и динамики растительного покрова после сплошных рубок с применением агрегатной техники почти не проводилось.

В течение 20 лет в Щелковском учебно-опытном лесхозе МГУЛ нами изучались лесоводственно-экологические последствия сплошных рубок с применением агрегатной техники: валочно-пакетирующей машины ЛП-19 и трелевочной машины ЛТ-157.

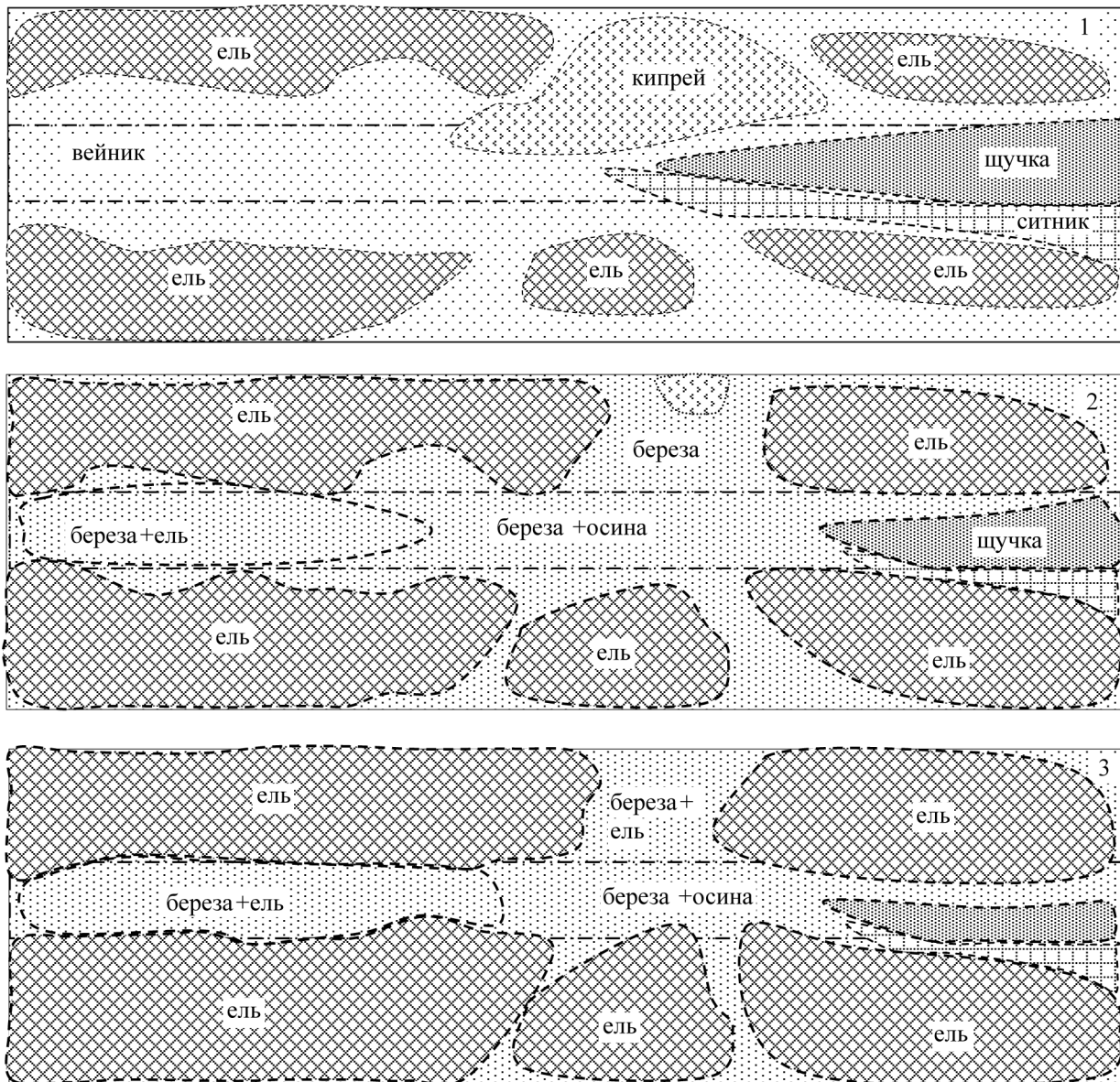
Исходный тип леса – ельник черничный свежий (по И.С.Мелехову), почва дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая. Состав древостоя 9Е1С+Б,Ос; бонитет I, полнота 0.8, запас 350 м<sup>3</sup>/га. Проективное покрытие основных представителей живого напочвенного покрова под пологом леса до рубки: черника (*Vaccinium myrtillus* L.) – 11,5–17,2 %; майник (*Majanthemum bifolium*) – 4,0 %; вейник лесной (*Calamagrostis arundinacea*) – 0,5 %; кислица (*Oxalis acetosella* L.) – 0,5 %. Количество подроста составило 8,5–11,3 тыс. шт./га, встречаемость – 68–75 %, средний возраст – 28 лет, средняя высота и диаметр подроста соответственно 1,5 м и 3,0 см.

Сплошные рубки были проведены по двум технологиям: с сохранением подроста и без сохранения подроста ели. По первой технологии машина ЛП-19 укладывает деревья сзади на волок (ширина 4 м). До разработки лесосеки по периметру прорубается объездной волок для заезда валочной машины на новую пасеку (ширина 14 м). Движение машины во время работы происходит в сторону погрузочной площадки. Согласно второй технологии ЛП-19 двигается челночным способом, укладывая деревья под углом к волоку комлями к погрузочной площадке.

В процессе рубки сохранность подроста ели по первой технологии составила 47 %, по второй – 8,9 % (табл. 1).

После рубки леса по технологии с сохранением подроста наибольшее повреждение почвы наблюдалось на волоках, в местах разворота техники и на магистральном волоке. В местах с сильно уплотненной почвой по дну колеи разрастается ситник развесистый, сменяемый затем щучкой; на волоках и в местах разворота преобладает вейник и кипрей; в местах с неповрежденной почвой без под-





М 1: 300

Рис. 1. Динамика растительного покрова после сплошной рубки по технологии с сохранением подроста (кв.96 Щелковского УОЛХ): 1 – через год после рубки; 2 – через 10 лет после рубки; 3 – через 20 лет после рубки

роста и подлеска формируются фрагменты вейникового типа вырубki. Под пологом сохраненного подроста покров не изменился, однако в течение нескольких лет при увеличении сомкнутости крон сохраненного подроста живой напочвенный покров сменяется мертвым покровом. Последующее возобновление березы, осины и ели приурочено в основном к открытым местам. Динамика численности молодых деревьев этих пород зависит от размеров открытых участков, плотности верхнего слоя почвы и характера разрастания тра-

вянистой растительности на них. Изменение парцелл растительного сообщества за 20 лет после рубки показано на рис. 1. Через 20 лет после рубки в связи с увеличением высоты сохраненного елового подроста, произрастающего по краям волоков, светолюбивые береза и осина стали интенсивно отпадать, рост их замедлился и в настоящее время диаметр на высоте 1,3 м не превышает 8см. Вейниковый тип вырубki на этом участке был представлен мелкими фрагментами, которые сохранились только на магистральном волоке

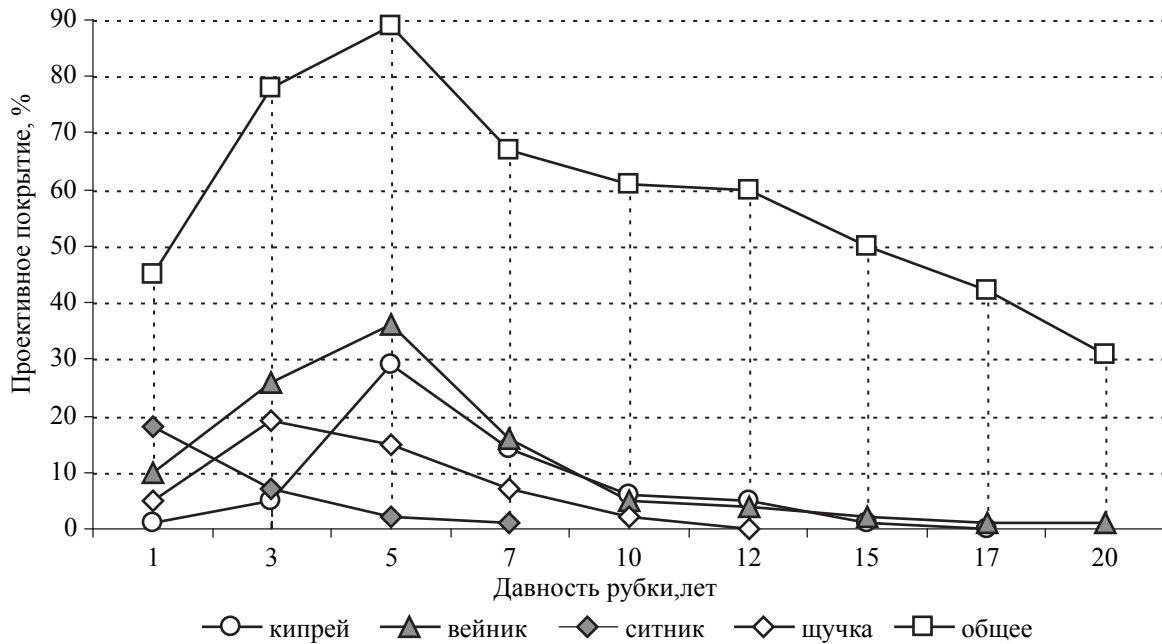


Рис. 2. Изменение проективного покрытия основных видов живого напочвенного покрова после сплошной рубки без сохранения подроста (исходный тип леса – ельник черничный свежий)

Т а б л и ц а 2

**Динамика состава формирующегося древостоя после сплошных рубок по разным технологиям сплошных рубок**

Технология	Состав древостоя с давностью рубки, лет		
	10	15	20
С сохранением подроста	6Е4Ос ед.Б	5Е4Ос1Б	9Е1Ос ед.Б
Без сохранения подроста	7Б1Ос1Е1Д	8Б2Еед.Ос,Д	7Б2Е1Ос ед.Д

(ширина 10 м), однако и там они трансформировались в березняк вейниковый.

Под пологом куртин сохраненного подроста ели живой напочвенный покров практически не изменился, и здесь преобладает черника, однако при дальнейшем увеличении сомкнутости елового полога живой напочвенный покров сменяется мертвым покровом, состоящим в основном из опавшей хвои.

В течение 20 лет после сплошной рубки с сохранением подроста формируется исходный тип леса – ельник-черничник свежий, состав – 9Е1Ос ед.Б, средний диаметр ели – 12,1 см, средняя высота – 13,5 м. Состав подроста – 78Е6Б14Ос2Д, густота – 7,3 тыс.шт./га. Еловый подрост представлен в основном мелкой категорией, более крупный подрост ели отпадает в связи с высокой сомкнутостью древесного полога, сохраненного в процессе рубки подроста ели.

После рубки леса по технологии без сохранения подроста первоначально образовались следующие фрагменты типов вырубок: в местах сильного уплотнения почвы – ситниковый, среднего и слабого повреждения – вейниковый, в местах с перемешанным субстратом – кипрейный, в местах огневой очистки – кипрейно-паловый (рис. 2). В течение нескольких лет под влиянием последующего возобновления березы и осины вейниково-ситниковый тип вырубки сменился березняком вейниковым, под пологом которого происходит последующее возобновление ели, преимущественно групповое, общее количество подроста под пологом березы – 2,74 тыс.шт./га, состав – 68Е21Б8Ос3Д, средняя высота ели 1,12 м, березы – 11,5 м. Встречается ива, но она к настоящему времени сильно отпадает.

Таким образом, в условиях Московской области через 20 лет после рубки без сохранения подроста сформировался березняк

разнотравный с составом 7Б2Е1Ос ед.Д, высота 11,5 м; диаметр – 11,0 см.

Изменение состава древостоя в течение 20 лет представлено в табл. 2. Некоторое снижение доли ели на участке с сохранным подростом связано с выходом в верхний полог быстрорастущих лиственных пород. Затем доля участия ели в составе молодняка увеличивается в связи с изреживанием осины и березы на трелевочных волоках. Преобладание лиственных пород сохраняется на магистральном волоке и в местах разворота техники.

Итак, начальный этап формирования леса после сплошной рубки тесно связан с применяемой технологией, характером повреждения почвы, формированием типа вырубки и степенью сохранности подростка ели [5]. Длительность начального этапа определяется периодом возобновления древесных пород и способностью травянистой растительности удерживать занятую территорию, при этом можно выделить следующие стадии этого процесса: 1 – преобладание злаковой или иной травянистой растительности, определяющей ход последующего естественного возобновления леса; 2 – численно увеличивающаяся совокупность отдельно растущих древесных растений и снижение эдификаторной роли травянистой растительности; 3 – преобладание древесной растительности как целостной совокупности т.е. формирование собственно древостоя – эдификатора внутренней среды лесного биогеоценоза.

Для участков леса, пройденных сплошной рубкой без сохранения подростка,

характерна последовательная смена этих стадий, при этом формируется лиственный молодняк на месте разнотравно-вейниковых, вейниковых и ситниковых типов вырубок. Продолжительность первой стадии зависит от нарушенности почвы, степени минерализации и возможности возобновления древесных пород.

При сохранении подростка ели в процессе сплошной рубки первая и вторая стадии могут отсутствовать или иметь локальное значение на волоках и в местах разворота техники; доминирование третьей стадии обеспечивает формирование исходного типа леса и значительное сокращение выращивания спелого древостоя. Величина сокращения равна среднему возрасту сохраненного подростка ели.

#### Библиографический список

1. Мелехов, И.С. Лесоводство / И.С. Мелехов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 302 с.
2. Мелехов, И.С. Лесная типология / И.С. Мелехов. – М.: МЛТИ, 1976. – 72 с.
3. Обыденников, В.И. Экспериментальные рубки главного пользования на базе агрегатной техники в еловых насаждениях Московской области / В.И. Обыденников, А.В. Тибуков, А.П. Титов // Научные труды. – М.: МЛТИ, 1990. – Вып. 223. – С. 5–10.
4. Обыденников, В.И. Смена растительного покрова в ельниках после сплошных рубок агрегатной техникой / В.И. Обыденников, А.В. Тибуков // Лесоведение. – 1996. – №2. – С. 3–12.
5. Тибуков, А.В. Формирование леса после сплошной рубки агрегатной техникой в ельнике черничном / А.В. Тибуков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2009. – № 3. – С. 48–53.

## РОСТ И СОСТОЯНИЕ РУКОТВОРНЫХ МАССИВНЫХ ДУБРАВ ЗАСУШЛИВОЙ СТЕПИ

В.И. ЕРУСАЛИМСКИЙ, *ведущий научный сотрудник ВНИИЛМ, д-р с.-х. наук,*  
А.А. ВЛАСЕНКО, *асп. Новочеркасской государственной мелиоративной академии*

*vniilm@mail.ru*

История развития степного лесоразведения свидетельствует о том, что особенно остро востребованность создания защитных лесных насаждений возникает, как правило, после неурожайных лет или действия других негатив-

ных факторов. Так, например, после сильнейшей засухи в 1891 г. и последовавшего голода в 26 губерниях России правительством была организована Особая экспедиция под руководством выдающегося ученого В.В. Докучаева.



Мартыновский лесхоз

Распадающееся наследие дуба на каштановых солонцеватых почвах (V бонитет).  
Возраст 45 лет, высота 7,5 м.



Высокопродуктивное наследие дуба  
в возрасте 55 лет, высота 14,5 м

Этой экспедиции было поручено выработать меры борьбы с эпизодически повторяющимися засухами. Основная часть проекта, разработанного Особой экспедицией, заключалась в лесной мелиорации – насаждении леса в степи по водоразделам и наиболее открытым пространствам. Так по проекту экспедиции возник лесной оазис в степи на юге Воронежской области – «Каменная степь», которому суждено было стать эталоном полосного степного лесоразведения.

Усиленное внимание к степному защитному лесоразведению вновь возобновилось в начале 30-х годов прошлого века, снова после нескольких неурожайных лет в 20-х годах. В 1931 г. на Всесоюзной конференции по борьбе с засухой было принято решение о крупномасштабных работах по созданию защитных лесонасаждений. За десятилетие до

начала Великой Отечественной войны было создано несколько сот тысяч таких лесонасаждений. Но недостаточно продуманный ассортимент пород и схемы смешения деревьев, неудовлетворительный уход в военные годы явились причинами значительной гибели этих насаждений.

И когда на фоне послевоенной разрухи вновь наступил неурожайный 1946 год, стало понятно, что нужен новый крупномасштабный план борьбы с засухой. Над таким планом два года работали несколько институтов. В результате этой работы 20 октября 1948 г. вышло партийно-правительственное постановление: «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР».

Это был грандиозный, не имеющий аналогов в мировой практике план. Предусматривалось в течение 1949–1965 гг. создать 5,7 млн гектаров насаждений различного вида и назначения. С учетом масштабов работ и предполагаемого существенного влияния создаваемых насаждений на окружающую среду за этим планом закрепилось название «План преобразования природы».

Главным компонентом плана по значимости и трудоемкости были полезащитные насаждения, куда относились собственно полезащитные лесополосы, приовражно-прибалочные лесополосы, насаждения вдоль водоемов и пескоукрепительные. Особо был выделен новый вид лесонасаждений – широкие (60–100 м) государственные защитные лесополосы, часть которых проектировали создать на крупных водоразделах, а другие – вдоль берегов крупных рек.

В дополнение к этому плану позднее было принято постановление правительства о создании в Волгоградской, Ростовской и Астраханской областях массивных насаждений дуба черешчатого на площади 407 тыс. га, которые были названы в постановлении «дубравами промышленного значения». Позднее эти рукотворные насаждения стали называть просто «массивными дубравами».

Известный лесовод, бывший в то время заместителем министра лесного хозяйства, В.Я. Колданов впоследствии так писал об этом: «По новизне дела, масштабам производства и агротехнической сложности ни одно начинание, предпринимавшееся лесным хозяйством по защитному лесоразведению, не сравнимо с заданием по насаждению дубовых лесов» [3].

Изыскания по отводу земель и составление технических проектов осуществляли 5 комплексных экспедиций в составе проектно-изыскательного объединения Агролеспроект. Для практического осуществления технических проектов было создано 46 лесозащитных станций (ЛЗС).

Создание дубрав планировалось в основном в сложных почвенно-климатических условиях на плакорных землях сухостепной зоны с глубоким (до 15–20 м) уровнем грун-

товых вод, где естественная древесная растительность отсутствовала.

О сложных лесорастительных условиях свидетельствуют результаты проведенных экспедициями обследований отведенных под дубравы земель. Из общей площади 451 тыс. га отведенных земель лесопригодными оказались лишь 246 тыс. га, т.е. несколько больше половины. К 1953 г., за 4 года с начала реализации плана, было заложено 125,8 тыс. га дубрав.

В марте 1953 г. все работы по выполнению Плана преобразования природы были неожиданно приостановлены. Земли с уже созданными лесонасаждениями были возвращены колхозам и совхозам. Правда, уже в августе того же года эта необоснованная реорганизация была отменена и лесным органам было поручено продолжить уход за созданными насаждениями.

Но за эти несколько месяцев в площади и состоянии созданных насаждений произошли катастрофические изменения. Не говоря уже о том, что в течение всего сезона насаждения оставались без ухода, значительная их часть была просто перепахана владельцами земли. В результате такой «реорганизации» погибла и была списана почти половина площади созданных культур. Площадь дубрав за одно лето сократилась на 68,5 тыс. га, или на 54,5 % [3].

В 1969 г. появились признаки начинающегося процесса усыхания насаждений. В связи с этим институту Союзгипролесхоз было поручено определить состояние массивных дубрав и выявить причины этого процесса. С этой целью в Ростовской области в 1970 г. были заложены постоянные пробные площади. Спустя 38 лет нами проведено повторное обследование на части этих пробных площадей в бывших Мартыновском и Романовском лесхозах, расположенных на Среднесальской равнине.

При обследовании определяли количественные и качественные показатели насаждений, их общее состояние.

Под насаждениями на сохранившихся пробных площадях нами были выделены три следующие группы почв, которые характеризуют условия произрастания:

1. Черноземы южные среднemocные и лугово-каштановые почвы.

2. Черноземы южные и темно-каштановые маломощные и солонцеватые.

3. Каштановые солонцеватые.

Почти на всех пробных площадях почвы характеризуются тяжелым гранулометрическим составом и залегают на тяжелых лесовидных суглинках.

Под дубравы отводили в основном пахотные или залежные земли, где почву под культуры готовили по системе однолетнего черного пара, и только на сильно засоренных участках применяли двухлетний пар. Дуб высевали желудями, сопутствующие древесные породы и кустарники вводили посадкой. Основной способ посева желудей был рядовой, реже – строчно-луночный с расстоянием между лунками 0,5–0,6 м.

Насаждения дуба создавали как смешанными, так и чистыми. Чистые насаждения имели в большинстве случаев трехметровые междурядья, редко – пятиметровые. В смешанных наиболее распространенной сопутствующей породой был ясень ланцетный. Смешение дуба с сопутствующими породами производилось рядами, чаще всего с введением между дубом и сопутствующей породой ряда кустарника по схеме Д-К-Сп-К-Д, с междурядьями шириной 1,5 м. В процессе лесоводственного ухода кустарники обычно вскоре выпаживали, если позволяло развитие их корневой системы и надземной части, или срезали надземную часть различными орудиями. После срезки надземной части осуществлялось дробление пеньков тяжелыми дисковыми боронами или катками. Из-за отсутствия соответствующей лесохозяйственной техники заводского изготовления применяли, как правило, орудия, сконструированные и изготовленные силами самих лесхозов [1].

Ясень ланцетный в начальном периоде жизни культур при порядном смешении с дубом значительно опережал в росте дуб, оказывая на него отрицательное влияние. С целью создания более благоприятных условий роста дуба в дубово-ясеневых культурах обычно проводилось не менее чем двукратное разреживание рядов ясеня. В результате

такого ухода, который начинался в первом десятилетии жизни насаждения, в 18–19 летнем возрасте (когда впервые были заложены пробные площади) дуб уже значительно преобладал над ясенем по количеству экземпляров. Это преобладание сохранилось и к 55-летнему возрасту на различных почвах. А на ряде участков ясень в этом возрасте присутствовал в составе лишь единично (табл. 1, пр.пл. 39, 40,41, 28,29)

И только в тех немногих случаях, где не проводилось своевременное разреживание в рядах ясеня, соотношение этих пород было иным – ясень значительно преобладал над дубом (пр.пл.23). В целом при правильном уходе ясень ланцетный является удачным спутником дуба [1], а по данным Н.П. Калиниченко не имеет себе равных среди спутников дуба на темно-каштановых почвах [2]. В смешанных дубово-ясеневых культурах в рядах дуба проводились лишь выборочные санитарные рубки. Поэтому отпад главной породы происходил в результате процесса естественного изреживания.

К 55-летнему возрасту полностью выпал из насаждения клен остролистный, который по сравнению с ясенем ланцетным менее устойчив и долговечен в рассматриваемых лесорастительных условиях. Но также, как и ясень ланцетный, клен остролистный, при условии своевременного разреживания, выполнял за время своей жизни важную функцию защиты междурядий от задернения. В чистых насаждениях эту задачу решали проведением периодического агротехнического ухода в междурядьях.

Одним из важнейших показателей, позволяющих прогнозировать долговечность насаждений, является современное их состояние. Оно определялось нами по комплексу морфологических факторов – сомкнутости полога, степени усыхания кроны, доле здоровых деревьев, интенсивности роста.

По суммарной оценке этих факторов выделяли следующие категории состояния:

1. Насаждения полностью здоровые, с высокой для данных условий сомкнутостью крон, без признаков усыхания крон, с нормальным для данных условий ростом.

Динамика состава смешанных насаждений дуба

№ пр.пл.	Группа почв	Порода	Деревьев (шт./га) в возрасте		Состав насаждения по колич. деревьев в возрасте	
			18–19 лет	54–56 лет	18–19 лет	54–56 лет
39	1	Дч	1471	591	7	10
		Ял	643	ед.	3	ед.
40	2	Дч	3130	779	8	10
		Ял	2620	ед.	2	ед.
41	1	Дч	2830	782	8	10
		Ял	300	ед.	2	ед.
43	1	Дч	970	509	7	8
		Ял	346	160	3	2
45	2	Дч	950	609	8	7
		Ял	225	206	2	3
46	2	Дч	980	333	8	7
		Ял	230	147	2	3
47	1	Дч	990	483	8	8
		Ял	219	116	2	2
48	1	Дч	890	467	7	7
		Ял	300	189	3	3
49	2	Дч	960	485	8	7
		Ял	241	236	2	3
50	1	Дч	970	517	8	7
		Ял	234	227	2	3
28	2	Дч	1900	426	8	10
		Ял	250	ед.	1	ед.
		Кло	250	-	1	-
29	2	Дч	3370	440	8	10
		Ял	785	ед.	2	ед.
30	2	Дч	3260	327	8	10
		Ял	740	ед.	2	ед.
22	3	Дч	1333	247	7	8,5
		Ял	270	33	1,5	1,5
		Кло	270	ед.	1,5	ед.
23	1	Дч	1516	320	3,5	2,5
		Ял	2778	1010	6,5	7,5
25	2	Дч	1708	958	6	10
		Кл. тат	250	-	4	-

2. Насаждения в основном здоровые, но с начальными признаками усыхания отдельных ветвей в кроне, с несколько замедленным ростом и меньшей сомкнутостью крон, по сравнению с 1 категорией.

3. Насаждения в начале интенсивного усыхания кроны, с пониженным по сравнению со 2 категорией количеством здоровых деревьев, отстающие в росте.

4. Насаждения расстроенные, низкополнотные, интенсивно усыхающие.

В свое время высказывались прогнозы, согласно которым массивные на-

саждения дуба на темно-каштановых почвах будут значительно менее долговечны, чем в малорядных лесополосах из дуба, их долговечность оценивалась в диапазоне 50–60 лет.

Как видно из приведенных данных (табл. 2), в возрасте, близком к 60 годам, большая часть насаждений дуба находится еще в удовлетворительном состоянии, без признаков массового усыхания и характеризуется довольно высокой для этого возраста сомкнутостью крон для этих лесорастительных условий и возраста насаждений.

Рост и состояние дуба в смешанных насаждениях

№№ пр.пл. группа почв	Таксационные показатели дуба					Общая характеристика насаждения		
	Возраст (лет)	Средние		Средний прирост		Бонитет	Сомкнутость крон	Категория состояния
		Н м	D см	по высоте (м)	по диаметру (мм)			
39/1	56	14,3	24,5	0,25	4,4	III	0,8	2
40/2	55	12,4	17,5	0,22	3,2	IV	0,7	2
41/1	55	14,0	19,0	0,25	3,5	III	0,6	2
43/1	56	14,4	24,0	0,26	4,3	III	0,6	2
45/2	56	13,5	18,0	0,24	3,2	IV	0,7	3
46/2	56	13,2	19,0	0,23	3,4	IV	0,7	2
47/1	56	13,8	20,0	0,25	3,6	III	0,6	2
48/1	56	14,2	20,0	0,25	3,6	III	0,6	2
49/2	56	13,5	20,5	0,24	3,7	IV	0,6	3
50/1	56	14,5	20,5	0,26	3,7	III	0,6	2
28/2	54	12,6	17,5	0,23	3,2	IV	0,5	3
29/2	54	12,8	18,5	0,24	3,4	IV	0,5	3
30/2	55	12,6	18,0	0,23	3,3	IV	0,6	2
22/3	55	12,3	14,0	0,22	2,5	IV	0,4	3
23/1	55	14,1	28,0	0,26	5,1	III	0,8	2
25/2	55	12,5	18,0	0,23	3,3	IV	0,6	3

Т а б л и ц а 3

Рост и состояние дуба в чистых насаждениях

№№ пр.пл. группы почв	Деревьев шт./га в возрасте		Средний прирост		Бонитет	Сомкнут. крон	Категория состояния
	18–19 лет	52–56 лет	по высоте (м)	по диаметру (мм)			
37/1	1873	573	0,26	4,1	III	0,6	1
31/2	10344	353	0,25	3,1	III.5	0,4	2
32/2	4530	713	0,24	2,9	III.5	0,4	2
24/1	2297	494	0,25	3,8	III	0,5	2
1/3	–	800*	0,17	2,9	V	0,3	4
2/3	–	780*	0,17	3,1	V	0,3	3
3/3	–	900*	0,16	2,9	V	0,2	4
26/1	14980	613	0,25	3,5	III	0,6	2
27/1	2790	542	0,25	3,5	III	0,5	2

\* возраст насаждений на этих пробах 45 лет

В насаждениях, произрастающих на почвах первой группы, преобладает III бонитет, а на почвах II группы – IV бонитет, высота в диапазоне от III до IV бонитета в возрасте 54–56 лет возрастает с 12,3 до 14,5 м, а средний диаметр на высоте 1,3 м – с 14,0 до 28 см. Построенное поколение ясеня ланцетного, возникшее в результате рубок ухода, отстает по высоте от дуба на 3–4 м, образуя как бы второй ярус.

Сравнительный анализ роста и состояния смешанных и чистых дубрав в равных условиях лесопригодности (1–2 группы почв) показал, что сомкнутость крон в чистых насаж-

дениях ниже, а по состоянию они несколько превосходят смешанные; по продуктивности чистые не уступают смешанным (табл. 2;3).

На части пробных площадей чистые культуры созданы в наименее благоприятных условиях произрастания, на 3 группе почв. Эти насаждения на 10 лет моложе остальных. Поэтому для объективного сравнения культур, созданных на 1–2 группе почв, с насаждениями на 3 группе почв используем не абсолютные значения высоты и диаметра, а средние приросты по этим показателям. Такое сравнение показывает, что насаждения на



3 группе почв значительно отстают в росте в высоту и относятся к самому низкому V бонитету. Сомкнутость крон в них очень низкая, что обусловило интенсивное формирование дернины 70 и более процентов общей площади. Состояние насаждений неудовлетворительное, они близки к распаду уже в 45-летнем возрасте.

Смешанное насаждение, созданное в условиях 3 группы почв (пр.пл. 22), характеризуется несколько более интенсивным ростом, чем насаждения в аналогичных условиях в чистых культурах (пр.пл. 1-3), но состояние его тоже неудовлетворительное.

Сравнительный анализ смешанных и чистых культур дуба позволяет утверждать, что по сумме показателей чистые насаждения дуба, в которых проводился периодический агротехнический уход в междурядьях, не уступают смешанным насаждениям с ясенем ланцетным, где проводились рубки ухода в рядах сопутствующей породы.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что на плакоре безлесной засушливой степи, на южных черноземах и темно-каштановых тяжелосуглинистых почвах Среднесальской равнины возможно выращивание массивных насаждений дуба черешчатого, отвечающих показателям продуктивнос-

ти III–IV бонитетов. Созданные массивные дубравы представляют собой лесные оазисы в степи, имеющие важное экологическое и ландшафтообразующее значение. Состояние насаждений дает основание прогнозировать, что их долговечность значительно превысит 60-летний возраст. При соблюдении определенных условий ухода насаждения дуба можно создавать как смешанными, так и чистыми. Для смешанных насаждений этими условиями являются своевременные рубки ухода в рядах сопутствующей породы, а для чистых насаждений – периодический агротехнический уход в междурядьях. Создание массивных насаждений дуба на каштановых тяжелосуглинистых солонцеватых почвах нецелесообразно.

Таксационные показатели дуба в 55-летних насаждениях свидетельствуют о том, что в порядке рубок ухода можно получать древесину, которая найдет применение для различных хозяйственных нужд, в том числе для переработки на щепу.

### Библиографический список

1. Ерусалимский, В.И. Опыт создания массивных дубрав в засушливой степи. «Поскомлес» / В.И. Ерусалимский, Е.А. Фирсов. – М., 1978. – 30 с.
2. Калиниченко, Н.П. Дубравы России / Н.П. Калиниченко. – М., 2000. – 531 с.
3. Колданов, В.Я. Очерки истории советского лесного хозяйства / В.Я. Колданов. – М.: «Экология», 1992. – 256 с.

## СХЕМА ЛЕСНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Н.Н. КАШПОР, Федеральное агентство лесного хозяйства Рослесхоз, канд. с.-х. наук,  
 А.А. МАРТЫНЮК, ВНИИЛМ, д-р с.-х. наук,  
 В.И. ЖЕЛДАК, ВНИИЛМ, канд. с.-х. наук,  
 В.М. СИДОРЕНКОВ, ВНИИЛМ, канд. с.-х. наук,  
 И.Г. ТРУШИНА, ведущий н. с. ВНИИЛМ,  
 П.В. КУДРЯШОВ, ВНИИЛМ, канд. с.-х. наук,  
 О.Н. СОЛОНЦОВ, Рослесинфорг, канд. с.-х. наук

[vniilm@mail.ru](mailto:vniilm@mail.ru)

Лесное районирование является одним из важнейших компонентов лесного законодательства, определяющих необходимость дифференцированной разработки и применения всего комплекса мер использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов по

лесным районам, базирующимся на лесорастительных зонах [6].

Цели и задачи районирования лесов определены статьей 15 Лесного кодекса Российской Федерации, согласно которой основные компоненты районирования «лесорастительных зон» – это:

тельные зоны» и «лесные районы» должны определяться уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в соответствии с научно обоснованной методологией. При этом в зависимости от природно-климатических условий определяются лесорастительные зоны, в которых расположены леса с относительно однородными лесорастительными признаками (лесорастительное районирование). На основе лесорастительного районирования осуществляется установление лесных районов с относительно сходными условиями использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов.

В целях установления научно обоснованного порядка определения лесорастительных зон и лесных районов для реализации требований Лесного кодекса Российской Федерации (2006) выполнен анализ существующей информации, литературных и ведомственных материалов по районированию лесов в Российской Федерации и за рубежом [1–3, 5, 7–10].

Целевые направления анализа, определенные в соответствии с требованиями и положениями Лесного кодекса Российской Федерации, с учетом существующих методических разработок в данной области определяют основные направления районирования лесов:

- сформировать на основе обобщения научных разработок и опыта лесорастительного районирования основные принципы разделения территории на лесорастительные зоны, отличающиеся спецификой природно-климатических условий, в пределах которых расположены леса с относительно однородными признаками;

- на основе анализа дать оценку существующих подходов и методов выделения территориальных единиц с относительно сходными условиями использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, отобрать наиболее приемлемые варианты решений для использования при формировании лесных районов.

Поставленные задачи были решены уже в порядке подготовки «Перечня лесорастительных зон и лесных районов» [6]

творческим коллективом Рослесхоза, ВНИИЛМ, Рослесинфоргом, а также ИЛ СО РАН – А.И. Бузыкин, М.Д. Евдокименко, Пшеничникова Л.С., МИЛ – М.Г. Синицин, ДальНИИЛХ – А.П. Ковалев, В.А. Чельшев, А.П. Сапожников.

*Лесорастительное районирование* в России имеет уже более чем вековую историю. Это обусловлено тем, что все свойства, в том числе потребительские, признаки и особенности естественных (природных) лесов, не испытывающих активного влияния человека, формируются исключительно под определяющим воздействием комплекса факторов географической среды. Леса, созданные человеком или находящиеся под сильным антропогенным хозяйственным воздействием, тем не менее тоже существенно зависят от природных географических условий произрастания лесной растительности. Поэтому вполне закономерно, что не только в различных регионах страны в целом, но даже в различных частях одного региона экологическая и ресурсная, промышленная ценность лесов и их комплексное значение могут существенно отличаться.

Особенности природных условий каждого района, находящие отражение в специфических свойствах его лесов, влияют как на организационные формы любых видов использования лесов, так и приемы, методы, способы ведения хозяйства в лесах, формирование региональных систем лесохозяйственных мероприятий.

Устойчивое управление лесами предопределяет решение ряда связанных с лесом проблем с учетом их глобального, регионального и локального значения. Приемы и способы управления лесами должны изменяться и дифференцироваться в зависимости от особенностей природных и экономических условий каждого района. Следовательно, разработка и использование производством региональных систем рациональной эксплуатации и восстановления лесов в первую очередь должны опираться на научно обоснованное районирование территории страны, то есть им должно предшествовать разделение ее территории на части, однородные по при-

родным особенностям и по экономическим условиям.

Основные принципы зонального ведения лесного хозяйства определены и обоснованы многими исследованиями на протяжении всей истории лесоводства (Г.Ф. Морозов, М.Е. Ткаченко, И.С. Мелехов, К.Б. Лосицкий и др.)

По данным исследований, зональное и региональное деление обусловлено тем, что географические и биологические факторы лесорастительного эффекта изменяются с севера на юг и в определенной мере с востока на запад. Таким же образом изменяется количество физиологически активной радиации и тепла, влажность. По широте и долготе меняется коренной состав лесов, естественные процессы их роста, производительность – класс бонитета [1, 3, 7, 10].

Эффективное лесовыращивание и ведение лесного хозяйства в целом связано и с лесорастительным районированием. При лесорастительном районировании можно оценить совокупность природных факторов и условий, влияющих на состав, качество, динамику и продуктивность лесных биогеоценозов. Существующее множество вариантов лесорастительного районирования обусловлено сложностью комплекса факторов, его определяющих. Наиболее признанное и распространенное лесорастительное районирование разработано С.Ф. Курнаевым [3].

В целом лесорастительное районирование представляет особый вид систематики природных территориальных комплексов. Лесорастительное районирование может производиться по комплексу признаков, охватывающих большое количество показателей, отражающих разнообразие природных явлений и процессов.

Лесорастительное районирование признается естественной исторической основой для разработки региональных систем лесного хозяйства и лесопользования. Оно имеет отношение к любому виду деления территории по природным особенностям, но ближе всего к геоботаническому районированию.

В исследованиях, посвященных вопросам лесного регионального районирования,

отмечается необходимость учета при проведении лесорастительного районирования антропогенных факторов и определения в этих условиях границ районов прежде всего на основе эколого-географических показателей (климатических, ландшафтно-геоморфологических, почвенных), а затем – ценологических. В данном случае речь идет по сути уже об экологическом районировании.

С учетом результатов проведенного анализа выделение лесорастительных зон и установление их границ основывается в первую очередь на разделении, придании дискретности природным лесорастительным условиям, отраженным, в частности, в известном районировании территории страны С.Ф. Курнаева (1973), которое было использовано при подготовке проекта Перечня лесорастительных зон и лесных районов РФ (2009) с некоторой корректировкой названий зон и объединением соседних, в основном представленных сравнительно небольшими территориями, для упрощения всей системы.

Особенности социально-экономических условий, влияющих на ведение лесного хозяйства, использование, охрану, защиту и воспроизводство лесов, в значительной мере учитываются в лесоэкономическом районировании, имеющем так же, как и лесорастительное, почти вековую историю развития. Формирование теории лесоэкономического районирования началось в двадцатые годы прошлого столетия (В.В. Фаас, П.П. Серебренников, 1923; М.М. Орлов, 1924, 1928; В.И. Переход, 1929, А.А. Цымек, 1975, и др.).

Таким образом, уже в 20-е годы прошлого столетия сформировались теоретические основы лесного районирования. Четкое выражение получили наметившиеся на предыдущем этапе направления в районировании – лесорастительное (природное), лесоэкономическое и лесохозяйственное (лесоводственное). В то же время лесохозяйственное, или лесоводственное районирование уже тогда рассматривалось как обобщающее (комплексное), а первые два как специализированные виды районирования.

В 30-х годах началось бурное развитие практики лесного районирования. В короткие

сроки лесное производство получило многочисленные схемы районирования, в основном частного характера, в том числе лесоэксплуатационное, лесосырьевое, лесогидрологическое, лесотаксационное, лесокультурное, лесозащитное, лесосеменное и другие виды районирования. Однако на данном этапе районообразующие признаки выбирались часто еще произвольно, и на их основе нередко осуществлялась простая группировка и перегруппировка исходных территориальных единиц.

Постепенно накопленный эмпирический материал разделения лесных территорий на определенные, однородные в своих границах части в 50–60-е годы XX в. был обобщен во многих работах по районированию как базовых природно-географических, в первую очередь лесорастительного, и лесоэкономических, так и многих специальных. В частности, большие успехи были достигнуты в разработке теоретических основ и конкретных схем лесомелиоративного (Н.И. Пьявченко, 1977), лесосеменного (А.И. Ирошников, 1977), лесопожарного (Н.П. Курбатский, 1977) и других видов районирования.

Развитие районирования лесов имело место и в странах Европы и Америки, несмотря на существенные различия в величине территории. Как и во многих областях знаний и деятельности, в зарубежном районировании, возникшем в конце XIX в. и на последующих этапах его становления, хорошо развивалась техническая и прикладная (практическая) часть.

В дополнение к разнообразным картам растительности, опубликованным в результате научных исследований и для различного использования, в том числе с определенной товарной структурой насаждения из хозяйственно ценных пород, появилось значительное число карт, отражающих специфические особенности ведения тех или иных видов хозяйственной деятельности.

В настоящее время накопленный мировой опыт районирования, сведения о растительности разных стран и методы картирования с использованием космических снимков позволили составить более подробные карты

растительности, в том числе лесного покрова с учетом его освоенности, ресурсной и экологической (природоохранной) ценности.

На основе обобщения всего накопленного опыта районирования территории страны и результатов многолетних комплексных исследований отраслевых и академических институтов (ВНИИЛМ, ДальНИИЛХ, ИЛ СО РАН и других) было разработано и принято на федеральном уровне по существу комплексное лесохозяйственное районирование лесного фонда [5], в котором по всем регионам страны – европейская часть России, Сибирь, Дальний Восток – было выделено 19 лесохозяйственных областей и в них 52 лесохозяйственных округа, в пределах которых могли выделяться лесохозяйственные районы.

В целом методология определения лесорастительных зон и лесных районов базируется на комплексе обобщенных материалов исследований и работ в стране и за рубежом по различным видам районирования – деления территории на части, более или менее однородные в своих границах, по определенному комплексу целевых признаков и свойств, соответствующих целям районирования.

Для достижения определенных законодательством целей определения лесорастительных зон и лесных районов использованы в основном методические принципы, сформировавшиеся на протяжении более чем столетней истории разработки лесорастительного, лесоэкономического, комплексного лесохозяйственного (лесоводственного) районирования, базирующихся в свою очередь на общенаучных и специальных классификациях территории (географическое, климатическое, почвенное и другие виды районирования).

В комплексе методических принципов установления лесорастительных зон и лесных районов исходным определяющим является принцип деления лесов на основе установленного понятия о лесе как об экологической системе и природном ресурсе, по их экологической и/или ресурсной ценности и значимости, особенно при приоритетном выполнении водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, противоэрозионных и других свойств, а также продуктивности,

породному составу, качеству и другим потребительским свойствам с учетом доступности лесов для промышленного освоения и тяготения к рынкам потребления, в том числе к крупным промышленным объединениям по переработке древесины.

Природные свойства лесов, составляющие их основную экологическую и ресурсную ценность, определяются в основном географическими, климатическими, орографическими, геологическими, почвенно-гидрологическими и другими факторами среды, отраженными в лесорастительном районировании, наиболее обобщенно (для всей территории страны) представлены в работе С.Ф. Курнаева [3], согласно которой разделение территории страны осуществляется на более или менее однородные по лесорастительным свойствам части – лесорастительные зоны и подзоны.

Интенсивность использования лесов, ресурсная и средообразующая, в т.ч. рекреационная потребность в них, и, следовательно, специфика использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов при других равных условиях, включая природные, определяется исторически сложившимися социально-экономическими особенностями территорий, что в значительной мере отражено в экономическом районировании страны, принятом за вторую базовую составляющую лесного районирования.

В целом, в соответствии с положениями Лесного кодекса и с учетом накопленного опыта районирования лесов, лесное районирование определено как система деления территории по комплексу специальных критериев и характеристик на части, соответствующие определенным классификационным единицам (таксонам) с относительно однородными природными, экономическими и иными условиями использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов.

Лесное районирование сформировано в целях реализации статьи 15 Лесного кодекса [4] «Районирование лесов», предусматривающей осуществление лесорастительного районирования – разделения территории страны в зависимости от природно-климатических

условий на *лесорастительные зоны*, в которых расположены леса с относительно однородными лесорастительными признаками, и выделение (установление) на основе лесорастительного районирования *лесных районов* с относительно сходными условиями использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов.

Лесное районирование является территориальной основой для дифференцированного эффективного осуществления мероприятий по использованию, охране, защите и воспроизводству лесов. В соответствии с частью 4 статьи 15 Лесного кодекса «возрасты рубок лесных насаждений (возрасты лесных насаждений, устанавливаемые для заготовки древесины определенной товарной структуры), правила заготовки древесины и иных лесных ресурсов, правила пожарной безопасности в лесах, правила санитарной безопасности в лесах, правила лесовосстановления и правила ухода за лесами устанавливаются для каждого лесного района».

В пределах лесорастительных зон, характеризующихся существенным диапазоном различий условий произрастания древесной лесной растительности, выделяются подзоны с более однородными лесорастительными условиями, породным, видовым составом и производительностью лесов, для которых возможно формирование и применение однотипных систем лесоводственных мероприятий и близких типов лесопользования и лесопользования.

Для целей, определенных законодательством и в соответствии со сформированной методологией, лесорастительные зоны устанавливаются как сравнительно крупные территориальные единицы с включением в них подзон, а в отдельных случаях и сравнительно небольших по ширине переходных зон. На территории Российской Федерации выделены:

Зона притундровых лесов и редкостойной тайги;

Зона таежных лесов с выделением подзон северной, средней, южной тайги;

Зона хвойно-широколиственных лесов;

Лесостепная зона;  
 Степная зона;  
 Зона полупустынь и пустынь;  
 Горная зона Северного Кавказа;  
 Южно-Сибирская горная зона.

Зона притундровых лесов и редкостойной тайги включает сравнительно узкую в европейской части и значительно расширенную в азиатской части России территориальную полосу лесов по границе с безлесной тундрой, включает леса и редколесья (или криволесья), граничащие на юге с подзоной северной тайги и характеризующиеся практически экстремальными климатическими и лесорастительными в целом условиями, обеспечивающими произрастание в основном (за исключением пойменных и других локальных специфических условий) низкопродуктивных лесных насаждений очень хрупких лесных экосистем, имеющих высокую природоохранную ценность и подлежащих особому сохранению при планировании и осуществлении использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов.

Таежная зона, или зона таежных лесов, представляет основную лесную зону России, соответствующую примерно выделяемой во многих странах (в международной практике) бореальной зоне, с разделением на три подзоны – северо-, средне- и южнотаежную с господством коренных хвойных лесов, отличающихся по производительности и продуктивности в среднем на 1–1,5 класса бонитета, с преобладанием разных лесобразующих пород и других видов лесных растений при движении с запада на восток или наоборот. Леса в целом характеризуются сравнительно высокой устойчивостью, восстановительной способностью и приемлемой продуктивностью, занимают основную территорию зоны, определяют высокую лесистость территории, что в целом позволяет осуществлять в этих лесах максимальное эксплуатационное лесопользование.

Зона хвойно-широколиственных (или смешанных) лесов включает выделяемые иногда отдельными (под)зонами – хвойно-лиственные и широколиственные леса, отличающиеся значительным разнообразием

породного (видового) состава, сравнительно высокой производительностью и значительной устойчивостью, средней естественной восстановительной способностью и являющиеся (с учетом высокой заселенности территории) сравнительно благоприятной зоной ресурсного лесопользования и лесовыращивания, а также зоной интенсивного экологического пользования лесом. Зона представлена на территории России преимущественно в основном сравнительно неширокими полосами на европейской равнине и на Дальнем Востоке.

Лесостепная зона – переходная от лесной (включая зоны таежную и хвойно-широколиственных лесов) к в основном безлесной степной зоне – характеризуется невысокой, а чаще недостаточной лесистостью территории, сравнительно производительными древостоями, часто недостаточно устойчивыми, с низкой естественной восстановительной способностью, при использовании которых рубками необходимо предусматривать активные меры лесовосстановительного возобновления и защитного лесоразведения.

Степная зона или зона степей – в основном безлесная территория, преимущественно сельскохозяйственного использования земель, в том числе в значительной части пригодных для лесовыращивания и защитного лесоразведения с созданием древостоев на уровне средней и даже высокой продуктивности хвойных (преимущественно сосновых) и твердолиственных, а также мелколиственных и широколиственных пород разной продуктивности, особенно в пойменных условиях, где в основном произрастают леса естественного происхождения.

Зона полупустынь и пустынь представлена в России сравнительно небольшой территорией, с непригодными в основном для лесовыращивания землями, за исключением отдельных территорий, пойм рек, а также саксаульников. Лесоразведение имеет, как правило, природоохранную направленность.

Горная зона Северного Кавказа, или Северо-Кавказская горная зона, выделена в пределах Кавказской горной системы на территории юга Российской Федерации. Ха-

рактируется значительным разнообразием высотно-поясной растительности от субтропической до горной луговой. Соответственно для этой зоны необходимо применять широкий комплекс систем мероприятий использования, охраны, защиты и лесовоспроизводства, соответствующих определенным высотно-поясным типам условий с учетом специфики: крутизны и экспозиции склонов, мощности и устойчивости почв и других факторов.

Южно-сибирская горная зона характеризуется определенной мозаичностью лесорастительных условий, обусловленных действием зональных и поясных факторов, связанных с разной высотно-экспозиционной дифференциацией территорий и преобладанием в разных ее частях в основном таежных лесов, а также подтаежно-лесостепной, лесостепной и степной растительности.

Лесные районы (*районы лесного районирования*), выделенные согласно законодательству на основе лесорастительного районирования и дифференциации условий использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов по комплексу социально-экономических и других факторов, характеризуются в своих границах сочетанием указанных факторов и обусловленных ими особенностей, определяющих преимущественное однообразие классифицированных (на лесотипологической основе) типов лесообразовательных процессов, динамики лесов и применение для них соответствующих систем лесопользования, лесопользования и ведения лесного хозяйства.

Районы лесного районирования, лесные и нелесные по своей природе, выделены преимущественно на основе критериев общности условий использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, путем разделения полос лесорастительных зон и подзон по границам регионов страны или их частей в долготном направлении и с учетом различий равнинных, горных и плоскогорных территорий.

Наименование лесных районов отражает наиболее характерные признаки района, позволяющие однозначно выделить его на

территории Российской Федерации и включает в основном региональные, ведущие орографические (в т.ч. характеризующие горные системы) и/или зональные признаки, а также иные исключительно характерные (специфические) признаки отдельных территорий. При этом общие для нескольких районов признаки, как зональные и региональные, могут не повторяться в названиях, если идентификация района возможна на основе более частного, но хорошо известного выделяющегося признака (Байкальский горный район, Северо-Кавказский горный район, Камчатский район и т.п.).

В целях однозначного определения границ лесных районов и осуществления эффективного управления лесами в их пределах границы лесных районов максимально совмещены с границами административного деления территории страны по субъектам Российской Федерации, а при необходимости и входящих в них административных и муниципальных районов и образований. Таким образом выполнено распределение административных и муниципальных образований по лесным районам и лесорастительным зонам. При значительном различии природных и других условий в пределах административного (муниципального) района он разделяется на части, соответствующие разным лесным районам, с использованием в качестве границ явных (определенных) природных или иных рубежей (рек, железных дорог, водоразделов и других), а также географических координат.

Распределение административных территориальных образований по лесорастительным зонам устанавливается путем совмещения соответствующих границ лесных районов с границами лесорастительных зон (подзон).

По мере изменения в дальнейшем количества и границ административных образований состав их в пределах лесных районов и лесорастительных зон будет уточняться в установленном порядке. Распределение административных и муниципальных районов по лесным районам и лесных районов по лесорастительным зонам приведено в Прило-



Рисунок. Схема лесного районирования

жениях к приказу МПР России от 28.03.2007 № 68. В 2009 г. проведено уточнение границ лесных районов, что отражено в приказе Минсельхоза РФ от 4.02. 2009 №37 [6].

В соответствии с утвержденным «Перечнем» подготовлена схема лесного районирования Российской Федерации с выделением на ней лесных районов. Она составлена в соответствии с установленным распределением административных и муниципальных образований по лесным районам и лесорастительным зонам (рисунок).

Выделенные территориальные единицы лесного районирования закреплены на карте с использованием современных методов и ГИС-технологий в масштабе 1:10000000. На основе общей (для всей страны) карты могут выделяться также карты лесного районирования для любой территории (части страны) с увеличением масштаба до 200000.

Лесное районирование применяется непосредственно для разделения территории лесного фонда, лесов иных категорий земель, территорий отдельных административно-хозяйственных единиц органов управления лесным хозяйством – субъектов Российс-

кой Федерации, а также лесничеств и лесопарков для эффективного проектирования, планирования и ведения лесного хозяйства и лесопользования на данной территории в соответствии с ее природно-экономическими особенностями.

Границы территориальных единиц управления лесами – лесничеств, лесопарков устанавливаются в основном по границам административных районов. При значительном различии целевого назначения лесов в пределах административных районов могут выделяться лесничества и лесопарки с использованием для установления границ между ними естественных и искусственных рубежей, а также материалов учета лесного фонда (лесоустройства) и других данных.

Предусмотренное законодательством установление по лесным районам правил заготовки древесины, правил лесовосстановления и ухода за лесами и других блоков нормативной базы использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов осуществляется путем формирования для этих территориальных образований определенных нормативных документов, представляющих соответствующие



региональные части общедоказательных, или путем выделения указанных блоков непосредственно в общих правилах в виде разделов, отражающих особенности (специфику) районных нормативов.

Территориальные единицы общего лесного районирования на уровне лесных районов являются основой для лесотипологической классификации лесного фонда (лесов), в пределах их выделяются участки определенных типов и групп типов леса, типов лесорастительных условий, которые и представляют первичные единицы проектирования и ведения лесного хозяйства (лесохозяйственных мероприятий) и лесопользования.

#### Библиографический список

1. Алехин, В.В. Растительность и геоботанические районы Московской и сопредельных областей / В.В. Алехин. – М.: МОИП, 1947. – 70 с.
2. Кожевников, П.П. Лесорастительное районирование водоохраной зоны / П.П. Кожевников, М.А. Ефимова. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1939. – 75 с.
3. Курнаев, С.Ф. Лесорастительное районирование СССР / С.Ф. Курнаев. – М.: Наук, 1973. – 203 с.
4. Лесной кодекс Российской Федерации. Федеральный закон от 4.12.2006 №200-ФЗ.
5. Основные положения организации и ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе. – М., 1991. – 12 с.
6. Перечень лесорастительных зон и лесных районов РФ. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 4.02.2009 №37.
7. Физико-географическое районирование СССР. Карта. 1:8 000 000. – М.: ГУГК, 1986.
8. Цымек, А.А. Лесоэкономические районы СССР / А.А. Цымек. – М.: Лесная пром-сть, 1975. – 192 с.
9. Шашко, Д.И. Агроклиматическое районирование СССР / Д.И. Шашко. – М.: «Колос», 1967. – 279 с.
10. Шейнгауз, А.С. Комплексное лесохозяйственное районирование / А.С. Шейнгауз, А.А. Дорофеева, Д.Ф. Ефремов и др. – Владивосток, 1980. – 144 с.

## ЗОНАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ СОСНЯКОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Б.Е. ЧИЖОВ, заместитель директора по научной работе филиала ФГУ «ВНИИЛМ» «Сибирская ЛОС», д-р с.-х. наук,

И.Ю. ХАРЛОВ, директор филиала ФГУ «ВНИИЛМ» «Сибирская ЛОС», канд. с.-х. наук,

В.А. КОЗИНЕЦ, с. н. с. филиала ФГУ «ВНИИЛМ» «Сибирская ЛОС»,

Е.Ю. АГАФОНОВ, ведущий н. с. филиал ФГУ «ВНИИЛМ» «Сибирская ЛОС»

*tlos@tmn.ru; kva.78@mail.ru; tumlos@mail.ru*

Западно-Сибирская равнина представляет собой мировой феномен широтной зональности от суровых условий Субарктики (зона лесотундры) до сухих степей Казахстана. Каждая из лесорастительных зон имеет существенные особенности по условиям местопроизрастаний, строению и составу лесных насаждений, лесовозобновительным процессам.

Объектом исследования выбрано предварительное и последующее лесовозобновление в равнинных сосновых лесах Западной Сибири после выборочных и сплошных рубок. Обеспеченность подростом поступающих в рубку насаждений изучалась по материалам 82 пробных площадей и материалам глазомерной таксации насаждений.

Пробные площади по изучению обеспеченности подростом предварительных поколений, хода лесовозобновления после рубок закладывались по общепринятым методикам.

*Плакорные притундровые леса* низкорослые, низкополнотные, запас спелых древостоев не превышает 100 м<sup>3</sup>/га, эксплуатационного значения не имеют.

Поэтому для исследований выбраны насаждения *припойменных притундровых лесов*, достигающие средней высоты 20 м, полноты 0,4–0,8, запаса – до 250 м<sup>3</sup>/га, которые являются основным объектом хозяйственной деятельности в притундровых лесах. Их естественное развитие происходит по пирогенному типу. Исключительно медленное

**Влияние толщины мохово-лишайникового покрова и торфянистого горизонта почв в притундровых лесах на характеристики подроста**

Толщина органических горизонтов, см	Количество подроста, тыс.шт. на 1 га		Распределение подроста по группам высот, %		
	всего	в т.ч. мелкого	мелкий	средний	крупный
Лиственничник голубично-багульниково-моховой, состав подроста 9Е1БедК					
15–25	6,6	0,6	9	48	43
26 и более	3,8	0,4	10	45	45
Сосняк бруснично-багульниково-моховой, состав подроста 9С1К					
5–10	19,0	12,7	67	30	3
11–20	10,8	5,7	53	24	23

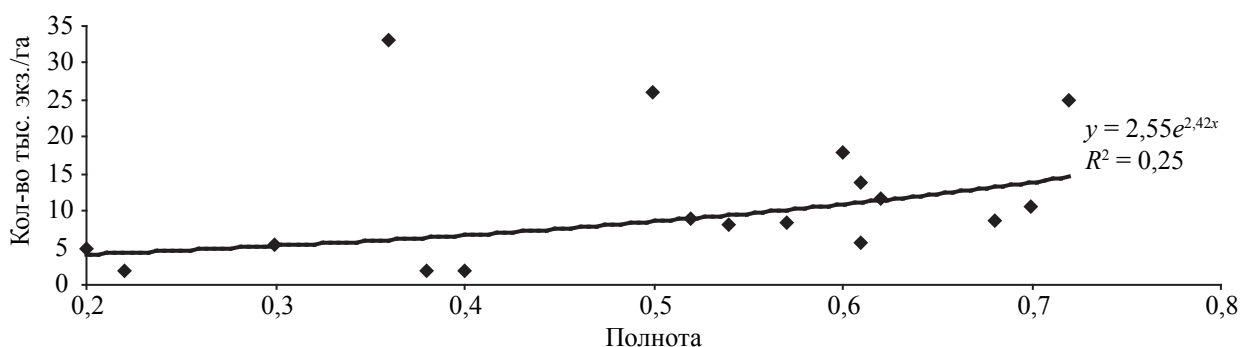


Рисунок. Количество подроста в притундровых сосняках различной полноты

разложение мертвого опада сопровождается формированием грубого гумуса, заторфовыванием почв, снижением их плодородия, накоплением огромного количества горючих материалов в виде лесной подстилки, торфа и лишайников. В циклически повторяющиеся засушливые годы притундровые леса подвергаются массовым пожарам, вызывающим их естественное обновление. Для исключения ущерба от неконтролируемых пожаров актуально снизить пирогенное возобновление притундровых лесов, содействуя их обновлению проведением выборочных рубок [1].

На основании маршрутных исследований и 28 пробных площадей установлено, что 75 % обследованных участков были в достаточной мере обеспечены подростом хвойных пород. Выявить значимое влияние полнот насаждений на количество накопленного под пологом подроста не удалось (рисунок). Лишь в сосняке бруснично-багульниково-моховом было отмечено небольшое увеличение численности подроста по мере снижения полноты насаждения.

Выявлена тенденция снижения численности подроста по мере увеличения толщины органических горизонтов (табл. 1).

При толщине мохово-лишайникового покрова и торфянистого горизонта почв 15 см и более процесс лесовосстановления под пологом леса практически прекращается. В лиственничнике голубично-багульниково-моховом количество мелкого подроста не превышало 10 %. Основная часть подроста появилась на более ранних стадиях формирования насаждения, при меньшей толщине органических горизонтов почвы. В последние десятилетия корни всходов сосны «зависали» в малопродуктивном субстрате, результатом чего было массовое усыхание проростков.

На суховатых и свежих песчаных, супесчаных и легко-суглинистых почвах эффективной оказалась полосная минерализация почвы плугами на глубину 10–15 см с охватом 20–25 % площади пройденной рубки. Перемешивание мохового покрова и подстилки с минеральным слоем почвы дало худшие результаты.

В зоне притундровых лесов береза и осина не обгоняют в росте сосну, поселение их на вырубках не приводит к смене сосняков лиственными. Разработку лесосек без

**Обеспеченность подростом спелых и перестойных эксплуатационных сосновых насаждений северотаежных лесов**

Группа типов леса	Доля в составе сосновых лесов, %	Обеспечено подростом, %	Состав подроста	Количество подроста, тыс.экз./га
Лишайниковая	16,3	63	7С2К1Б+Е	3,3
Зеленомошно-брусничниковая	17,7	73	4С4К1Е1Б	4,0
Кустарничково-черничниковая	1,8	96	3С4К1Е2Б	5,7

**Влияние полноты насаждений на характеристики подроста**

Полнота насаждения	Среднее количество подроста, тыс.шт./га		Распределение подроста по категориям крупности в %		
	всего	в т.ч. хвойного	мелкий	средний	крупный
Подзона средней тайги					
Низкая (0,3–0,4)	10,0	9,2	6	69	25
Средняя (0,5–0,7)	8,0	7,1	17	63	20
Высокая (0,8–1,0)	7,1	6,4	21	62	17
Подзона южной тайги					
Низкая (0,3–0,4)	8,4	7,6	5	60	35
Средняя (0,5–0,7)	7,9	6,9	12	63	25
Высокая (0,8–1,0)	7,0	6,2	25	58	17

**Количество самосева на вырубках, минерализованных 7–20 лет назад**

Группа типов леса	Состав	Количество, тыс.экз./га	В пересчете на 25 % уровень минерализации, тыс.экз./га	всего хвойных
Лишайниковая	10С	5,8	1,4	1,4
Зеленомошно-брусничниковая	6С3Ос1Б	18,9	4,7	2,6
Кустарничково-черничниковая	3С4Б3Ос	10,2	2,6	0,8
Голубично-бруснично-моховая	6С2Ос2Б	23,6	5,9	3,6

подроста следует намечать на летний период и тем самым обеспечивать минерализацию почвы волоков и погрузочных площадок.

В таежной зоне 3/4 отводимых в рубку эксплуатационных насаждений имеет под пологом жизнеспособный подрост хвойных пород в количествах, достаточных для формирования полноценного хвойного насаждения (табл. 2).

Среднее количество подроста сосны в низкополнотных насаждениях на 30 % выше, чем в высокополнотных (табл. 3).

Выборочные рубки в таежных лесах Западной Сибири не проводились. Последующее восстановление сосны на сплошных вырубках сосновых насаждений на сухих и

свежих почвах легкого механического состава происходит достаточно успешно без смены пород. Наиболее благоприятный гидро-термический режим для прорастания семян складывается в плужных бороздах и в колеях от прохода лесозаготовительной техники, а также в естественных микропонижениях. В типах условий произрастания с избыточным увлажнением и на почвах тяжелого механического состава наиболее благоприятны для поселения самосева минерализованные микроповышения [2].

При минерализации поверхности почвы 25 % на сплошных вырубках можно рассчитывать на получение 1,4–3,6 тыс. экз./га подроста сосны (табл. 4).

**Количество самосева сосны под пологом сосняков (тыс.экз./га). при различных способах обработки почвы в расчете на 25 % минерализации почвы**

Типы сосняков	Полнота древостоя	Давность обработки почвы, лет	На полосах с удалением $A_0$	В бороздах глубиной 10–15 см	На лесной подстилке
Зеленомошно-ягодниковый	0,7	6	99,0	53,0	10,0
Черничный	0,8	5	126,0	23,0	1,0
Зеленомошно-ягодниковый	0,4	9	9,0	41,0	2,0
Вейниковый	0,6	4	36,0	17,0	3,0

Т а б л и ц а 6

**Последующее лесовозобновление после выборочных рубок в Приобских борах без минерализации почвы**

Типы сосняков	Полнота после рубки	Количество самосева и подроста, тыс.экз./га		
		хвойный	лиственный	подлесок
Разнотравный	0,5	0	0,7	2,9
	0,6	1,0	2,2	4,1
Мшисто-ягодниковый	0,5	3,9	6,8	1,5
	0,6	0,2	6,3	1,9

Т а б л и ц а 7

**Количество самосева сосны при 25 % минерализации почвы в Приобских борах**

Типы сосняков	Полнота после рубки	Количество самосева и подроста, тыс.экз./га		
		Сосна	Береза	Осина
Мшисто-ягодниковый	0	40,2	3,7	0,6
	0,6	42,2	13,2	6,2
Разнотравный	0	22,7	24,3	19,4
	0,4	0,5	0,7	0,7
	0,6	1,3	2,1	0,7

С учетом наличия в составе возобновления семенной березы этого количества достаточно для формирования насаждения с преобладанием сосны.

В условиях *предлесостепи* и *лесостепи* разреживание древостоев сосны само по себе не приводит к появлению достаточного количества самосева сосны. В сосняках разнотравных и черничных в пасеках без минерализации почвы преобладает подрост березы.

Слабо зарастают травянистой растительностью только вырубки в сосняках лишайниковых и брусничных. В зеленомошной и особенно в разнотравной группе типов леса конкуренция злаков и лиственных пород значительно возрастает. В свежих, влажных и сырых борах и субориях на сплошных вырубках развивается густой травяной пок-

ров, задерживающий возобновление сосны [2, 3, 4, 6].

Часть всходов засыхает в войлоке трав, не достигнув корнями минерального слоя почвы. Единичные всходы гибнут от затенения или выпревают весной под мертвым опадом трав. Вспышку возобновления под пологом сосняков вызывает минерализация поверхности почвы.

Наши исследования, проведенные, в Комиссаровском бору Заводоуковского лесничества на полосно-постепенных вырубках сосняков зеленомошно-ягодниковых, черничных и вейниковых показали, что минерализация почвы (удаление лесной подстилки и обнажение минерального горизонта) по сравнению с нетронутой лесной подстилкой увеличивает количество самосева сосны в 5–100 раз (табл. 5).

В свежих условиях произрастания (сосняки зеленомошно-ягодниковый и вейниковый) эффективность минерализации почвы неглубокими бороздами и минерализованными полосами со снятием только гумусового горизонта почвы различается не существенно [7].

В сосняке черничном самосева сосны в бороздах накопилось в 5,5 раза меньше, чем на минерализованных полосах с частичным удалением гумусового горизонта.

Обеспеченность подростом сосны спелых и перестойных сосняков *Приобских боров* сильно колеблется в зависимости от типа лесорастительных условий.

По данным анализа материалов лесорастительного устройства наиболее обеспечены подростом сосняки лишайниковые и мшисто-ягодниковые (46–94 %). В вейниковых, папоротниковых и разнотравных сосняках обеспеченность подростом сильно колеблется (от 2 до 68 %). На основании натурных исследований установлено, что в результате проведения рубок без минерализации почвы количества самосева сосны, появляющегося под пологом разреженного древостоя, явно недостаточно для формирования нового насаждения, особенно в травяной группе типов леса (табл. 6).

Минерализация почвы при рубке значительно увеличивает количество самосева сосны под пологом леса, особенно в сосняках мшисто-ягодниковых (табл. 7).

На участках с минерализованной поверхностью почвы из лиственных пород преобладает береза в отличие от участков без мер содействия, где в возобновлении господствует осина. В сосняках разнотравных процесс накопления под пологом самосева всех древесных пород идет неудовлетворительно.

После рубок с минерализацией почвы основное количество самосева сосны накапливается в течение 3–6 лет. Максимальное количество подростов насчитывается на 3-й год после рубки, на 4-й год процесс возобновления всех пород сокращается.

## Выводы

1. Около 60–80 % спелых и перестойных сосновых лесов Западной Сибири обеспечены подростом хвойных пород, который следует использовать в качестве новых поколений леса.

2. Во всех лесорастительных зонах вспышку естественного возобновления под пологом сосняков и на чересполосных вырубках вызывает минерализация поверхности почвы. Выживаемость самосева сильно варьирует в зависимости от зонально-типологических условий.

3. В лесах таежной зоны последующее возобновление сосны на сплошных вырубках на сухих и свежих почвах легкого механического состава происходит достаточно успешно без смены пород. На свежих и умеренно влажных суглинистых почвах восстановление идет лиственными породами с умеренным участием хвойных пород.

4. В предлесостепной и лесостепной зонах фактором, лимитирующим выживание самосева сосны под пологом изреженных древостоев, является конкуренция травяного покрова, подлеска и подростов лиственных пород.

## Библиографический список

- Куликов, Г.М. Лесостепные боры Тюменской области / Г.М. Куликов, В.И. Овсянкин, В.М. Пономарев и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 170 с.
- Санников, С.Н. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса / С.Н. Санников, Н.С. Санникова. – М.: Наука, 1985. – 152 с.
- Санников, С.Н. Естественное лесовозобновление в Западной Сибири (эколого-географический очерк) / С.Н. Санников, Н.С. Санникова, И.В. Петрова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 198 с.
- Харлов, И.Ю. Содействие естественному возобновлению в сосновых лесах Западной Сибири: автореф. дис. канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Харлов Игорь Юрьевич. – Екатеринбург, 2006. – 21 с.
- Чижов, Б.Е. Рекомендации по проведению рубок обновления в притундровых лесах Западной Сибири (для опытной проверки) / Б.Е. Чижов, С.Н. Санников, Г.А. Гаркунов и др. – Тюмень, 2001. – 40 с.
- Чижов, Б.Е. Регулирование травяного покрова при лесовосстановлении / Б.Е. Чижов. – М.: Изд-во ВНИИЛМ, 2003. – 173 с.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ УСПЕШНОСТЬ РОСТА ЧИСТЫХ ПО СОСТАВУ КУЛЬТУР ПИХТЫ СИБИРСКОЙ И ПИХТЫ БАЛЬЗАМИЧЕСКОЙ ПРИ ИХ ИНТРОДУКЦИИ НА СМОЛЕНСКО-МОСКОВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

А.А. ЗАХАРОВА, асп. каф. лесных культур МГУЛ

[zaharova@mgul.ac.ru](mailto:zaharova@mgul.ac.ru)

Со второй половины XIX века сначала пихта сибирская (*Abies sibirica* Ldb.), а затем и пихта бальзамическая (*Abies balsamea* Ldb.) были введены в лесные культуры Смоленско-Московской возвышенности. Культуры создавались в типично еловых условиях местопроизрастания – в сложных субориях (С<sub>3</sub>), соответствующих коренным ельникам-кисличникам. Это сплошные рядовые посадки с первоначальной густотой в пределах 4–6 тыс. экз. на 1 га. На рис. 1 представлены чистые по составу культуры пихты сибирской, на рис. 2 – чистые по составу культуры пихты бальзамической.

Следует подчеркнуть, что динамика роста как культур пихты сибирской, так

и бальзамической до сих пор в регионе исследований не изучена. В связи с этим нами были графо-аналитическим способом составлены эскизы таблиц хода роста лесных культур этих видов пихт (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1 отражает ход роста модальных насаждений лесных культур пихты сибирской. Исследования показали, что, несмотря на очень медленный рост пихты сибирской в первые десять лет, она способна формировать насаждения, растущие после 50 лет по I классу бонитета и достигать хороших показателей роста и производительности (табл. 1). Возраст количественной спелости наступает в 60 лет. В VI классе возраста запас стволовой древесины составляет 500 м<sup>3</sup> на 1 га.



Рис. 1. Лесные культуры пихты сибирской V класса возраста



Рис. 2. Лесные культуры пихты бальзамической V класса возраста

**Эскиз таблицы хода роста модальных насаждений пихты сибирской на Смоленско-Московской возвышенности**

Возраст, лет	Средние		Число стволов, шт./га	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> /га	Изменение запаса, м <sup>3</sup> /га	
	высота, м	диаметр, см				среднее	текущее
20	7,0	9,9	3350	24,7	58	2,9	-
30	10,9	13,8	2709	30,8	147	4,9	8,9
40	14,2	17,5	2145	35,5	225	5,6	7,8
50	17,3	21,1	1655	39,2	293	5,9	6,8
60	20,1	24,4	1238	41,7	352	5,9	5,9
70	22,7	27,6	877	43,3	401	5,7	4,9
80	25,0	30,6	612	44,7	439	5,5	3,8
90	27,0	33,5	513	45,6	470	5,2	3,1
100	28,8	36,1	469	46,3	490	4,9	2,0
110	30,3	38,5	444	46,6	499	4,5	0,9
120	31,6	40,8	425	46,7	500	4,2	0,3

**Эскиз таблицы хода роста модальных насаждений пихты бальзамической на Смоленско-Московской возвышенности**

Возраст, лет	Средние		Число стволов, шт./га	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Запас стволовой древесины м <sup>3</sup> /га	Изменение запаса, м <sup>3</sup> /га	
	высота, м	диаметр, см				среднее	текущее
20	7,6	10,6	4383	27,9	81	4,1	-
30	11,3	14,6	3294	31,4	175	5,8	9,4
40	14,7	18,2	2375	34,7	261	6,5	8,6
50	17,6	21,4	1644	37,7	325	6,5	6,4
60	20,0	24,2	1150	40,4	379	6,3	5,4
70	22,1	26,6	836	42,8	418	6,0	3,9
80	23,7	28,7	637	43,2	450	5,6	3,2
90	25,0	30,3	508	44,8	469	5,2	1,9
100	25,7	31,5	435	45,3	480	4,8	1,1
110	26,1	32,7	413	45,9	483	4,4	0,3

Если сравнить средние значения культур пихты сибирской по высоте и диаметру в возрасте 100 лет с аналогичными показателями искусственных насаждений ели европейской по таблицам хода роста, составленным А.Н. Поляковым [1] для этого же региона, то мы получим следующие данные: по высоте различие находится в пользу культур ели европейской – 31,3 м против 28,8 м у культур пихты сибирской, т.е. на 2,5 м; по диаметру – соответственно 30,1 см и 36,1 см, что в явную пользу искусственных насаждений пихты сибирской (на 6,0 см). И это при том, что культуры ели растут по Ia классу бонитета и таблицы по ним составлены для полных, а не модальных насаждений.

Пихта сибирская в VI–VII классах возраста формирует более крупные стволы, чем

ель в культурах, а тем более ель в ельниках естественного происхождения. Интенсивный рост пихты по диаметру объясняется меньшей численностью ее стволов. После 90 лет в культурах пихты происходит резкое падение текущего прироста по запасу, что является признаком скороспелости древостоев пихты и вступлением ее к VII классу возраста в фазу распада.

Известно, что широкое распространение пихта сибирская в европейской части России получила в XIX веке и в начале XX века.: в 1897 г. Балтийским обществом лесоводов было получено 1,5 пуда (24,6 кг) семян пихты сибирской из Екатеринбургской губернии. Сравнивая ход роста пихты сибирской в культурах Смоленско-Московской возвышенности с ходом роста по высоте пихты сибир-

**Расхождения в ходе роста модальных насаждений пихты сибирской и пихты бальзамической (в % по отношению к пихте сибирской)**

Сопоставление показателей	Значения показателей в возрасте, лет			
	20	50	80	110
Высота	+8,57	+1,73	-5,20	-13,86
Диаметр	+7,07	+1,42	-6,21	-18,18
Запас	+39,66	+10,92	+2,51	-3,21

ской в районах Казани и Ленинградской обл. [3], выясняем, что ее рост стабильно лучше на территории Смоленско-Московской возвышенности во всех возрастах (от 10 до 100 лет). К примеру, в 80 лет рост по высоте лучше по сравнению с указанными регионами на 8,4 % и 8,0 %.

Лесные культуры пихты бальзамической (табл. 2) также обладают хорошим ростом и производительностью, накапливая в 100 лет 480 м<sup>3</sup>/га сырораствующей древесины. Возраст количественной спелости достигает в 50 лет. Класс бонитета насаждений пихты бальзамической – II.

Имея лучшую сохранность в молодом возрасте, лесные культуры пихты бальзамической изреживаются гораздо интенсивнее, чем культуры пихты сибирской. Так, численность стволов пихты бальзамической к 110 годам по сравнению с 20-летним возрастом сокращается в 10,6 раза, тогда как в культурах пихты сибирской за этот же период она уменьшается в 7,5 раз. Однако даже в 90 лет в культурах пихты бальзамической густота стояния (число стволов на 1 га) все еще остается больше, чем у культур пихты сибирской, а преимущество по численности пропадет со 100-летнего возраста. Объясняется все это более интенсивным отпадом деревьев в искусственных насаждениях пихты бальзамической.

К VI классу возраста у культур пихты бальзамической происходит более интенсивное падение текущего прироста по запасу по сравнению с культурами пихты сибирской. Это является четким признаком более ранней скороспелости искусственных насаждений пихты бальзамической.

В табл. 3 приведена сравнительная динамика хода роста по высоте, диаметру и накоплению запаса стволовой древесины.

Как видно из этой таблицы, культуры пихты бальзамической в молодом возрасте имеют явное преимущество в значениях этих показателей, но после 50 лет лидерами по высоте, диаметру, а после 80 лет и по запасу становятся культуры пихты сибирской. Особо значимое преимущество в 110 лет принадлежит культурам пихты сибирской: разница в пользу последних составляет 18,2 %. В целом же сопоставление динамики роста и производительности обоими видами пихт указывает на явное лесоводственное преимущество к возрасту спелости искусственных насаждений пихты сибирской.

Как уже указывалось выше, лесные культуры пихт создавались с XIX века путем сплошной посадки с рядовым способом производства. Вместе с тем в дендрариях и ботанических садах в XX веке коллекционные посадки осуществлялись в виде посадок, представляющих собой биогруппы. Несмотря на то, что биогрупповые посадки моложе лесных культур с рядовой посадкой, нами было сделано графическое сопоставление их роста по высоте и диаметру.

Рост растений пихты сибирской в биогруппах до 50-летнего возраста происходит лучше, чем в рядовых посадках. Отчетливо и существенно достоверно это наблюдается по диаметру, но затем в биогруппах рост деревьев и по высоте и по диаметру резко затормаживается. Происходит такое явление в результате возрастной загущенности совокупности деревьев: имея хорошую сохранность, пихты растут в плотном стоянии, а нормальное развитие имеют только единичные периферийные экземпляры.

Для посадок пихты бальзамической, являющейся очевидно более теневыносливой породой, ухудшение ростовых процессов по



высоте и диаметру наступает несколько позже (к 60 годам). Явное преимущество роста в биогруппах пихты бальзамической как по высоте, так и особенно по диаметру наблюдается до 45-летнего возраста. Затем начинает действовать эффект биогруппы, когда жизненное пространство, по М.В. Маркову [2], уже поделено соседними растениями и из-за повышенной плотности происходит регрессия роста.

**Библиографический список**

1. Поляков, А.Н. Культуры К.Ф. Тюрмера в Уваровском леспромхозе / А.Н. Поляков. – М.: изд. ЦБНТИ лесхоза, 1974. – 33 с.
2. Марков, М.В. Популяционная биология растений / М.В. Марков. – Казань: изд-во Казанского университета, 1986. – 110 с.
3. Рубцов, Л.И. Деревья и кустарники в ландшафтной архитектуре / Л.И. Рубцов. – Киев: «Наукова думка», 1977. – 272 с.

**ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СЕЯНЦАМИ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

И.Н. ПЕТУХОВ, *асп. Костромского ГТУ*

*xen8787@mail.ru*

Снижение затрат и повышение эффективности лесовосстановления на вырубках является актуальной проблемой лесной науки. Лесовосстановление – единый непрерывный процесс, который является неперенным атрибутом любого способа рубок. Г.Ф. Морозов [1] называл рубку и возобновление леса синонимами. В условиях Костромской области в настоящее время используют в основном естественное зарастание вырубок и ручную посадку сеянцев и саженцев под меч Колесова.

Для лесохозяйственной практики очень важно повысить приживаемость сеянцев и саженцев на лесных площадях. Считается, что посадка сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) существенно повышает их приживаемость и дальнейшие рост и развитие [2].

Цель работы – выявить эффективность лесных культур, созданных сеянцами с закрытой корневой системой, в сравнении с лесными культурами, созданными традиционным способом.

С этой целью в 2010 г. нами проведены специальные исследования на площадях лесных культур 2005 г. в ФГУ «Солигаличский лесхоз». Всего было обследовано 6 участков лесных культур на общей площади 168 га. На трех участках (площадью 44 га) лесные культуры были созданы по широко практикующейся технологии с открытой корневой системой, а на остальных трех участках (площадью 124 га) по финской технологии с закрытой корневой системой (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Краткая характеристика пробных площадей, заложенных на участках лесных культур весной 2005 г., созданных в ОГУ «Солигаличское лесничество»**

№ п.п.	Квартал, выдел	Площадь, га	Тип леса	Древостой до рубки				
				Состав	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Запас, м <sup>3</sup> /га
Лесные культуры, созданные сеянцами с закрытой корневой системой								
1	Кв. 39, выд. 16	81,0	Черн.	8Б2Ос	60	20	20	180
2	Кв. 115, выд. 13	31,0	Кис.	5Ос4Б1Е	65	25	26	280
3	Кв. 74, выд. 31	12,0	Кис.	6Ос4Б	45	22	24	260
Лесные культуры, созданные сеянцами с открытой корневой системой								
1	Кв. 134, выд. 23	13,0	Кис.	5Б3Ос2С	55	22	20	160
2	Кв. 134, выд. 32	3,6	Кис.	4Б3Ос3Е	60	25	26	190
3	Кв. 29, выд. 15	27,0	Черн.	5Б4Ос1С	65	26	26	260

**Результаты математической обработки морфологических параметров лесных культур, созданных разными способами**

Показатель	Высота, см		Годичный прирост, см		Диаметр у корневой шейки, см	
	закрытая	открытая	закрытая	открытая	закрытая	открытая
Количество замеров	308	394	308	394	308	394
Возраст, лет	5	5	5	5	5	5
Среднее значение	79,9	69,9	17,6	13,3	0,98	0,89
Средняя квадратическая ошибка	26,6	22,89	8,3	9,1	0,41	0,32
Мода	70	70	20	7	0,8	0,9
Коэффициент вариации, %	33,2	32,7	47,3	68,5	42,0	35,9
Минимум	27	24	3	3	0,1	0,2
Максимум	192	140	48	79	2,9	2

В 2004 г. в ОГУ «Солигаличское лесничество» заготовку леса в больших объемах проводила ООО «ФОРИЯ-ОБф КОСТРОМА», которая на большинстве своих вырубок лесные культуры создавала в основном по финской технологии сеянцами с закрытой корневой системой. Такую технологию начали применять в Финляндии с 1960 г. Посадочный материал в этом случае выращивают в теплицах летнего типа в специальных кассетах. По сравнению с сеянцами и саженцами с открытыми корнями посадочный материал с закрытой корневой системой имеет следующие преимущества: продолжительный срок посадки (май – сентябрь); высокий процент приживаемости (80–90 %); эффективное использование дорогостоящих семян; механизация работ на посадке леса (посадочные трубы, машины); более равномерная загруженность рабочего персонала; высокое качество посадки и заделки корневой системы. Посадка саженцев производится вручную с помощью специальных посадочных труб РОТТИРУТКЕТ. Они используются для посадки комковых сеянцев и подразделяются на 6 номеров в зависимости от внутреннего диаметра трубы, который меняется от 36 до 73 мм. Преимуществами посадочных труб считаются легкость процесса посадки, пригодность для посадки сеянцев разных видов растений, способность регулировать глубину посадки и возможность сажать сеянцы в комках разных размеров [2].

Подготовка почвы проводилась осенью 2004 г. трактором ТДТ-55А с навесным оборудованием ПКЛ-70. Обработка почвы осуществлялась по следующей технологии: нарезка борозд шириной 0,7 м, глубина борозд зависела от типа лесорастительных условий и варьировала от 0,3 до 0,5 м, расстояние между центрами полос 3–4 м.

Посадка лесных культур производилась на микроповышения весной 2005 г. по следующей схеме: для саженцев с ЗКС расстояние между саженцами в ряду 1 м, между рядами 3–4 м, густота посадки 2500 шт./га; для саженцев с открытой корневой системой расстояние между саженцами в ряду 0,5–1 м, между рядами 3–4 м, густота посадки 4000 шт./га.

Всего по такой технологии в ОГУ «Солигаличское лесничество» было создано 124 га лесных культур с ЗКС, в основном в кисличных и черничных типах леса. На всех подобранных пробных площадях нами проведены замеры морфологических параметров лесных культур ели по диагоналям участка. Замеряли диаметр ствола у корневой шейки штангенциркулем, высоту и последний годичный прирост ели мерной рейкой. На каждой пробной площади выполнено не менее ста замеров по каждому показателю.

Результаты математической обработки полученных данных, представленные в табл. 2, показывают, что средние значения изучаемых показателей («высота», «прирост», «диа-

**Приживаемость лесных культур, созданных по различным технологиям**

№ (п.п.)	Квартал, выдел	Число деревьев шт./га		Процент, %
		2004	2010	
Лесные культуры, созданные сеянцами с закрытой корневой системой				
1	кв. 39, выд. 16	2500	1880	75
2	кв. 115, выд. 13	2550	2140	84
3	кв. 74, выд. 31	2500	1850	74
Лесные культуры, созданные сеянцами с открытой корневой системой				
1	кв. 134, выд. 23	4000	2440	61
2	кв. 134, выд. 32	4000	2120	53
3	кв. 29, выд. 15	4000	2560	64

Т а б л и ц а 4

**Влияние способа создания лесных культур на рост ели**

Варьирование	Сумма квадратов отклонений	Дисперсия	Степени свободы	Квадрат корреляционного отношения	Критерий Фишера	
					фактический	табличный
Высота культур ели, см						
Общее	143887	–	–	–	–	–
Случайное	119621	604,1	199	–	–	–
Факториальное	24266	24266,0	1	0,168	40,1	3,6
Годичный прирост культур ели, см						
Общее	13137	–	–	–	–	–
Случайное	10009	50,5	199	–	–	–
Факториальное	13137	3128,4	1	0,238	61,8	3,6

метр») выше у лесных культур ели с ЗКС. Средняя разница высот составила 10 см, годичного прироста 4,2 см.

Основная доля лесных культур как с закрытой (17,9 %), так и с открытой (20 %) корневой системой имеет высоту около 70 см. Разница в значениях показателя «годичный прирост» более значительна. Лесные культуры с ЗКС имеют более высокие значения прироста, в интервале от 9 до 24 см располагается 74,3 % образцов, у культур, созданных по традиционной технологии, большинство образцов – 76 % имеют прирост от 6 до 18 см. Визуально мы отметили, что значения годичного прироста лесных культур периода весна – лето 2010 г. были выше значений годичных приростов предыдущих лет. Возможно, это связано с засушливым летом.

Значения исследуемых показателей варьировали в широких пределах. Коэффициент вариации оказался наибольшим у показателя «годичный прирост», он составил 47,3 % и 68,5 % для елей с закрытой и открытой корневой системами соответственно, наимень-

шим у показателя «высота», 33,2 % и 32,7 % для елей с закрытой и открытой корневой системами соответственно.

Высокие значения коэффициента вариации исследуемых показателей, были также отмечены в работе А.М. Бородина [3]. Исследование коэффициентов вариации высоты и диаметра показывает, что их варьирование закономерно уменьшается с возрастом [3,4].

Исследованиями подтверждено, что показатель «приживаемость» лесных культур варьирует в широких пределах (табл.3) и зависит от степени заглушения культур. Лесные культуры создавались на месте вторичных березово-осиновых и осиново-березовых лесов (табл.1). Уход за культурами не производился. В результате на некоторых участках наблюдалось сильное угнетение культур березовым (в меньшей степени) и осиновым (в большей степени) молодняком. Эти лесные культуры сильно отстали в росте в высоту и по диаметру, часть экземпляров погибла. Культуры ели, выросшие «на свободе», отличались более высокими значениями роста и диаметра.

Погибших лесных культур на этих участках обнаружено не было. В целом видно, что приживаемость лесных культур с ЗКС выше на 10–30 %, чем культур, созданных по традиционной технологии. Это подтверждается и другими исследованиями [5].

Чтобы выявить степень влияния способа посадки культур ели на их развитие, нами проведен дисперсионный анализ [6] показателей высоты в кисличных типах леса. Результаты дисперсионного анализа представлены в табл. 4. Влияние способа посадки культур на рост ели достоверно, и 16,8 % варьирования по высоте и 23,8 % по приросту определяется исследуемым фактором. Следовательно, создание культур ели с закрытой корневой системой способствует ускорению их роста и развития.

Полевые исследования выявили положительный лесоводственный эффект от создания лесных культур с закрытой корневой системой.

Таким образом, при создании лесных культур с использованием посадочного материала с закрытой корневой системой прослеживается лесоводственный эффект: высокий процент приживаемость семян (выше на

10–30 %), ускорение их роста и развития (высота саженцев с ЗКС выше на 10 см), экономия посадочного материала (1400–2500 шт./га при закрытой и 4000–5000 шт./га при открытой корневой системе), механизация работ на посадке культур, высокое качество посадки.

#### Библиографический список

1. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе / Г.Ф. Морозов. – М.: Л., 1928. – 368 с.
2. Степанов, С.А. Выращивание и использование посадочного материала с закрытой корневой системой / под ред. С.А. Степанов. – Петрозаводск, 2006. – 24 с.
3. Бородин, А.М. Культуры ели в повышении производительности лесов / А.М. Бородин. – М.: Лесная пром-сть, 1972. – 144 с.
4. Лосицкий, К.Б. Эталонные леса / К.Б. Лосицкий, В.С. Чуенков. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 192 с.
5. Смирнов, С.П. Влияние способа подготовки почвы и вида посадочного материала на рост и физиологическое состояние еловых лесных культур на вырубках / С.П. Смирнов, С.С. Веремьева // Повышение продуктивности лесов центральной части южной тайги. Сборник научных трудов. – М.: ВНИИЛМ, 1980. – С. 24–39.
6. Лакин, Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КЛОНОВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО ТЕМПАМ ВОДОПОТЕРИ ХВОИ

Н.Н. БЕССЧЕТНОВА, доц. каф. лесных культур Нижегородской ГСХА, канд. с.-х. наук

*besschetnova1966@mail.ru; lesfak@bk.ru*

**Ф**ормирование адаптивного ассортимента клонов плюсовых деревьев для введения в состав лесосеменных плантаций (ЛСП) представляется весьма ответственным моментом создания постоянной лесосеменной базы на генетико-селекционной основе. Обширные коллекции вегетативного потомства выделенных по фенотипу лучших представителей естественных популяций древесных пород, накопленные в стране на текущий период, представляют несомненную ценность. Вместе с тем очевидная проблема недостаточной теоретической обоснованности региональных аспектов их использования (про-

blems районирования плюсовых деревьев) требует проведения многоплановых исследований их свойств и признаков. Прежде всего, необходимо обеспечить соответствие биологии отобранного материала существующим экологическим условиям в местах их хозяйственного использования. С учетом этого сравнительная оценка клонов, позволяющая выявить наиболее устойчивые из них, выступает важным критерием при назначении того или иного плюсового дерева (ПД) в состав вновь создаваемых ЛСП, в частности лесосеменных плантаций повышенной генетической ценности (ЛСП ПГЦ).

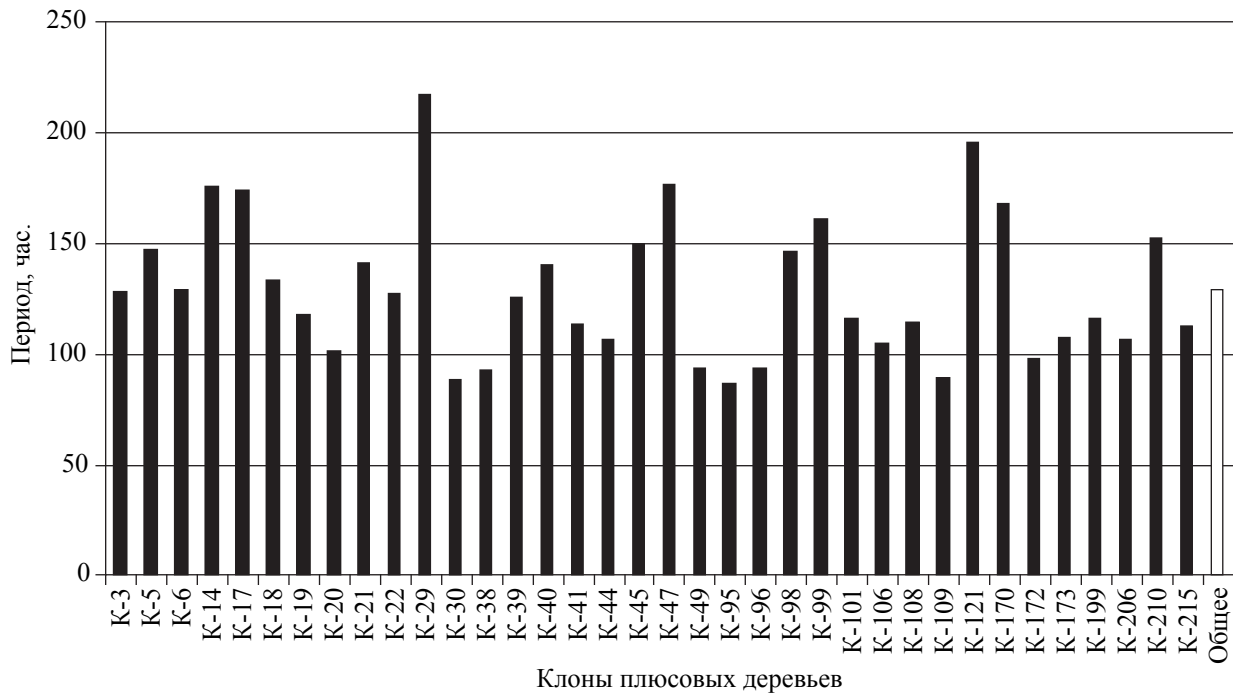


Рисунок. Продолжительность периода потери половины массы содержащейся в хвое воды хвоей плюсовых деревьев на ЛСП № 24

Одним из таких показателей может служить водоудерживающая способность фотосинтезирующего аппарата растений. Ее традиционно связывают с их засухоустойчивостью и резистентностью в отношении широкого перечня лимитирующих факторов в целом. Способность древесных пород противостоять дефициту влаги рассматривается как одно из важных преимуществ. Такие признаки полученного в ходе массового отбора материала (плюсовых деревьев сосны обыкновенной) приобретают определяющее значение, прежде всего в засушливые периоды года, которые регулярно наблюдаются в условиях Среднего Поволжья и Нижегородской области в том числе. Жаркое лето 2010 г. выступает наглядным примером реальности возникновения таких ситуаций, а весенне-летний дефицит влаги в регионе фиксируется практически ежегодно. Объекты, лучше других переносящие отмеченные критические фазы вегетационного периода, обладают большей способностью к накоплению биомассы (лучшими приростными характеристиками), могут обеспечить более высокий репродуктивный уровень (большее количество и лучшую сохранность жизнеспособных семян). Носители таких признаков представ-

ляют несомненную селекционную и хозяйственную ценность. Зная оценки водоудерживающей способности плюсовых деревьев, можно обоснованно оптимизировать ассортимент их клонов в составе создаваемых новых лесосеменных плантаций первого порядка и лесосеменных плантаций повышенной генетической ценности, отдавая предпочтение более адаптированным.

Для выявления различий между вегетативными потомствами плюсовых деревьев сосны обыкновенной по способности противостоять иссушению изучали их реакцию на свободное высушивание хвои. Первичной единицей выборки служила навеска из 20 пар нормально развитых однолетних хвоинок. Материал заготавливался одновременно с периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны клонов плюсовых деревьев, сосредоточенных в архивах и на лесосеменных плантациях государственного учреждения Нижегородской области «Семеновский спецсемлесхоз». При выполнении анализа учитывали действующие методические разработки [1–4]. Условия проведения лабораторного этапа опыта: освещенность, температура и относительная влажность воздуха – фиксировались и оставались одинаковыми для всех

**Оценки существенности различий между плюсовыми деревьями сосны обыкновенной по продолжительности периода достижения критического содержания воды в 1-летней хвое**

Объекты ПЛСБ и ЕГСК	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm s_{h^2}$ )				Критерии существенности различий, час.	
			по Плохинскому		по Снедекору			
	$F_{оп}$	$F_{05}/F_{01}$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$	НСР <sub>05</sub>	$D_{05}$
Однолетняя хвоя 2006 г.								
Архив клонов № 1	11,43	1,62/1,97	0,4910	0,0428	0,4601	0,0453	12,13	21,88
Архив клонов № 4	5,24	1,46/1,69	0,3599	0,0700	0,2956	0,0800	24,95	45,00
Комплекс ПД для ПЛСБ во Владимирской области	7,05	1,37/1,52	0,6894	0,0970	0,5962	0,1300	14,14	25,51
Однолетняя хвоя 2007 г.								
Архив клонов № 1	9,38	1,62/1,97	0,5276	0,0562	0,4822	0,0616	10,05	36,17
Архив клонов № 4	4,66	1,46/1,69	0,3594	0,0771	0,2891	0,0856	21,19	38,22
ЛСП № 24	8,64	1,46/1,69	0,5121	0,0593	0,4590	0,0657	30,73	55,44

образцов. Оценивали период потери 50 % содержащейся в хвое воды, что соответствует критическому уровню физиологического состояния растений. Основной причиной дифференциации растений по этому показателю является неодинаковое соотношение в их тканях связанной воды [2–4]. Опыт повторялся в 2006–2010 гг. [5].

Плюсовые деревья продемонстрировали заметные различия по способности удерживать своей хвоей воду, что зафиксировано на всех опытных участках во все учетные сроки периода наблюдений (рисунок).

Отмечен значительный разброс значений продолжительности периода потери 50 % массы воды в пределах ассортимента плюсовых деревьев в составе одного объекта. Даже в пределах рамет одного плюсового дерева или между повторностями одного учетного растения колебания показателей были весьма велики. Коэффициенты вариации соответствовали среднему, высокому и очень высокому уровню по шкале С.А. Мамаева [6]. По остальным опытным участкам получены аналогичные данные.

Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил существенность зафиксированных различий между сравниваемыми плюсовыми деревьями, представленными прививками, во всех изучавшихся объектах ПЛСБ и ЕГСК (табл. 1).

Опытные критерии Фишера на всех обследованных лесосеменных плантациях и

в архивах клонов превосходят соответствующие критические значения как на 5 %, так и на 1 % уровнях значимости. Например, для ЛСП № 24  $F_{оп} = 8,64$  при  $F_{05} = 1,46$  и  $F_{01} = 1,69$ . Данное обстоятельство позволяет вычислить оценки доли влияния организованных факторов, которыми в рассматриваемом случае выступают различия между собственно плюсовыми деревьями в пределах каждого отдельного участка. В большинстве случаев оно значительно и достоверно. Так, для ЛСП № 24 при учете в 2008 г. по алгоритму Плохинского  $h^2 \pm s_{h^2} = 51,21 \pm 5,93$  %; по алгоритму Снедекора оценки несколько ниже  $h^2 \pm s_{h^2} = 45,90 \pm 6,57$  %. Соответствующие оценки в архиве клонов № 1 близки к ним по своим значениям. Несколько меньше эти показатели в архиве клонов № 4. Результаты достаточно стабильны во временном аспекте, и отмеченные тенденции сохранились во все годы периода наблюдений. В частности, соотношение между архивами клонов в оценках эффективности действия факторов таковы, что для архива № 1 они всегда выше, чем для архива № 4. Наибольшее влияние принадлежности образцов к разным плюсовым деревьям наблюдалось в их комплексе, использованном для создания объектов ПЛСБ во Владимирской области в 2007 г.:  $68,94 \pm 9,70$  % и  $59,62 \pm 13,00$  % по алгоритмам Плохинского и Снедекора соответственно.

Поскольку в опыте реализован принцип единственного логического различия,

**Результаты двухфакторного иерархического дисперсионного анализа по продолжительности периода достижения критического содержания воды в 1-летней хвое плюсовых деревьев**

Объект ПЛСБ ЕГСК	Источник дисперсии	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm m_h$ )			
				по Плохинскому		по Снедекору	
		$F_{оп}$	$F_{05}$	$h^2$	$\pm m_{h2}$	$h^2$	$\pm m_{h2}$
Архив клонов № 1	различия ортетов	4,13	1,84	0,5276	0,2249	0,4089	0,2815
	различия рамет	3,95	1,51	0,2686	0,2438	0,2932	0,2356
	остаточная дисперсия	–	–	0,2038	0,7962	0,2979	0,7021
Архив клонов № 4	различия ортетов	2,26	1,74	0,3594	0,3084	0,2050	0,3828
	различия рамет	3,20	1,42	0,3309	0,2231	0,3367	0,2211
	остаточная дисперсия	–	–	0,3098	0,6902	0,4584	0,5416
ЛСП № 24	различия ортетов	3,58	1,6	0,5121	0,2372	0,3742	0,3042
	различия рамет	4,55	1,4	0,2941	0,2353	0,3393	0,2202
	остаточная дисперсия	–	–	0,1938	0,8062	0,2865	0,7135

что во многом обусловлено методами закладки лесосеменных плантаций и архивов клонов, а также одинаковыми условиями проведения лабораторных анализов, влияние факторов среды на возникновение дисперсии между градациями дисперсионных комплексов минимизировано. В такой ситуации вполне логично рассматривать различия между плюсовыми деревьями, представленными клонами в составе объектов ПЛСБ и ЕГСК, по способности удерживать хвоей воду как генотипически обусловленные.

Величина наименьшей существенной разности (НСР) и D-критерия Тьюки (см. табл. 1) позволяет установить: различия между какими именно клонами каждого из дисперсионных комплексов могут быть отнесены к категории существенных. При этом было установлено, что на всех участках, подвергнутых обследованию, в большинстве случаев парного сопоставления значений различия превышают критический порог для НСР на 5 % уровня значимости и в значительной части выше критического значения D-критерия Тьюки. Например, на ЛСП № 24 такая ситуация складывается для клонов плюсовых деревьев № 29 и № 47, а так же № 14, № 17, № 99, № 121, № 170. Указанные клоны, относящиеся к медленно теряющим влагу в хвое, имели существенные различия по величине НСР с подавляющим большинством клонов (преимущественно нормальных и легко теряющих влагу). Так, К-29 не имел существенных различий только с клоном К-121.

Данный клон имел существенные различия практически со всеми медленно теряющими влагу клонами по величине НСР, а с остальными – по величине D-критерия Тьюки. Клон К-39 существенно отличался от девяти клонов, преимущественно медленно и от двух быстро теряющих влагу.

Влияние факторов среды, вызывающее возникновение так называемой остаточной дисперсии, оказалось весьма заметным. По срокам учета и опытным участкам его значения колебались в пределах 31,06–64,06 % (по Плохинскому) и 40,38 – 71,09 % (по Снедекору). Данные свидетельствуют о значительной зависимости проявлений анализируемого показателя от режима внешних условий, что обусловило его высокую изменчивость в целом, зафиксированную нами. Увеличение вклада неорганизованных факторов в состав общей дисперсии неизбежно уменьшает ту ее часть, которая связана с эффектом различий между градациями дисперсионного комплекса.

Экологическая предопределенность и сложный характер реакции хвои плюсовых деревьев сосны на высушивание обуславливает необходимость оценки эффективности влияния каждого из факторов на формирование дисперсии значений анализируемых признаков. Результаты двухфакторного иерархического дисперсионного анализа представлены в табл. 2.

Материалы табл. 2 позволяют отметить достаточно высокую наследственную обусловленность различий между самими плюсовыми деревьями сосны обыкновенной, размещенных на обследованных объектах ПЛСБ и ЕГСК (ЛСП № 24; архивы клонов № 1 и № 4). Доля влияния фактора высшей иерархии – различий между плюсовыми деревьями (ортетами) – выше влияния любого из других факторов. При этом на ЛСП № 24 оно составляет 51,21 % ( $0,512074 \pm 0,237186$ ), в архиве клонов № 1 – 52,76 % ( $0,527626 \pm 0,22494$ ), в архиве клонов № 4 влияние несколько ниже – 35,94 % ( $0,359374 \pm 0,308449$ ). Полученные результаты в полной мере соответствуют итогам однофакторного анализа (табл. 1).

Различия между раметами одного ортета оказывают заметно меньшее влияние на формирование общей дисперсии. Это вполне объяснимо, поскольку данная группа различий, сформировавшаяся под влиянием фактора низшей иерархии (фактор различий между раметами), в нашем случае соответствует несходству особей одного клона. Оно преимущественно обусловлено влиянием неоднородности прививок (факторов среды в широком смысле). Их возникновение также можно рассматривать как одно из проявлений влияния неизбежных микроразностей в условиях среды, что связано с определенным порядком размещения клонов одного плюсового дерева на территории лесосеменной плантации или архива клонов. Величины составили: на ЛСП № 24 – 29,41 % ( $0,2941 \pm 0,2352$ ); в архиве клонов № 1 – 26,86 % ( $0,2686 \pm 0,2438$ ); в архиве клонов № 4 – 33,08 % ( $0,3308 \pm 0,2231$ ). Максимальную величину показателя в архиве клонов № 4 можно объяснить более выраженной пестротой микроразностей условий среды на его территории.

Собственно случайные различия (остаточная дисперсия), которые в нашем случае рассматриваются как различия, вызванные влиянием факторов среды, не связанных с особенностями прививки и со спецификой размещения рамет на площади ЛСП или архива клонов, не столь велики. В определенной мере их можно рассматривать как различия в пределах одной особи и соотносить с мета-

мерной изменчивостью. Величины этой доли общей дисперсии во всех случаях наименьшие и составляют: на ЛСП № 24 – 19,38 % ( $0,193822 \pm 0,806178$ ); в архиве клонов № 1 – 20,38 % ( $0,20381 \pm 0,79619$ ); в архиве клонов № 4 – 30,98 % ( $0,309817 \pm 0,690183$ ).

В заключение можно отметить, что оценки периода потери критической массы, содержащейся в хвое воды у представителей разных плюсовых деревьев, неодинаковы. Варьирование этого признака оказалось весьма заметным и в основной массе соответствует среднему и повышенному уровню изменчивости, достигая высокого и очень высокого уровня у части образцов. Выявленные между плюсовыми деревьями различия по анализируемому показателю существенны, что подтверждено результатами дисперсионного анализа. Факт их возникновения в условиях выровненного экологического фона, когда эффект воздействия внешних факторов на формирование дисперсии минимизирован, позволяет признать преимущественно генотипическую детерминированность отмеченного разнообразия. Это нашло подтверждение в достаточно высоких оценках доли влияния различий между плюсовыми деревьями. Проявление несходства в пределах вегетативного потомства одного плюсового дерева преимущественно связано с неодинаковыми характеристиками прививок. Данное обстоятельство хорошо известно в плодоводстве и декоративном садоводстве при клонировании сортов, особенно если в качестве подвоя использованы сеянцы или саженцы семенного происхождения. Высокие оценки вклада факторов среды в формирование общей дисперсии, нередко превышающие 50 %, свидетельствуют о значительной зависимости водоудерживающей способности хвои от экологического фона.

Наследственный характер различий водоудерживающей способности хвои плюсовых деревьев обуславливает возможность выделения из их состава наиболее приспособленных к сложившимся экологическим условиям и перспективных для включения в состав лесосеменных плантаций. При формировании их ассортимента необходимо учитывать продолжительность периода кри-



тической потери воды хвоей как показатель засухоустойчивости.

### Библиографический список

1. Практикум по физиологии растений: 3-е изд., перераб. и доп./Н.Н. Третьяков, Т.В. Карнаухова, Л.А. Паничкин и др. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
2. Котов, М.М. Метод селекционной оценки сосны на ПЛСУ / М.М. Котов // Экспресс-информация «Лесоразведение и лесомелиорация». – М., 1981. – Вып. 10. – 20 с.
3. Котов, М.М. Рекомендации по отбору семян сосны для посадки на лесосеменные плантации / М.М. Котов. – Йошкар-Ола, 1987. – 13 с.
4. Котов, М.М. Отбор семян сосны для лесосеменных плантаций / М.М. Котов. // Лесное хозяйство. – 1995. – № 1. – С. 44–46.
5. Бесчетнова, Н.Н. Водоудерживающая способность хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной / Н.Н. Бесчетнова // Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник науч. тр. по итогам междунар. науч.-тех. конф. – Вып. 17. – Брянск: БГИТА, 2007. – С. 13–16.
6. Мамаев, С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений / С.А. Мамаев // П. Амплитуда изменчивости. Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений: тр. Ин-та. эколог. раст. и жив. – Свердловск, 1969. – С. 3–38.

## ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Т.А. ПРИСТОВА, *н. с. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, канд. биол. наук,*  
 Ф.М. ХАБИБУЛИНА, *с. н. с. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, д-р биол. наук,*  
 Ю.А. ВИНОГРАДОВА, *н. с. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, канд. биол. наук,*  
 П.Г. МЕЛЬНИК, *доц. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ, канд. с.-х. наук*

*pristova@ib.komisc.ru; vinogradova@ib.komisc.ru; melnik@mgul.ac.ru*

Вырубка северных лесов в течение XX века привела к формированию на значительных площадях смешанных лиственнично-хвойных насаждений. Антропогенное воздействие и последующее естественное лесовозобновление оказывает существенное влияние на состав и структуру биогеоценоза. Изучение сукцессионных процессов в смешанных лиственнично-хвойных лесах важно для понимания динамики таежных лесов в целом. Цель исследований состояла в комплексном исследовании процесса формирования подстилки, с определением в нем роли микроорганизмов.

Исследования смешанных лиственных насаждений проводились в Княжпогостском районе Республики Коми, в окрестностях д. Кылтово, в течение 2004–2009 гг. Изучение формирования лесной подстилки в процессе естественного лесовозобновления проводилось в 12-летнем березово-еловом молодняке разнотравного типа (8Б2Еед.Сед.Рб) и 40-летнем березово-осиновом насаждении разнотравного типа (5Ос4Б1Еед.Пх). Почва – торфянисто-подзолисто-глееватая. До вы-

рубки на месте березово-елового молодняка и средневозрастного березово-осинового насаждения произрастали: ельник чернично-долгомошный и ельник черничный, состав древостоя 8Е2Б, подрост – 10Е, возраст 150–190 лет.

Напочвенный покров березово-елового молодняка отличается высокой мозаичностью. На месте трелевочных волоков развивается моховой покров за счет небольшого переувлажнения. Среди кустарничков доминируют черника и брусника, среди трав злаки – полевица тонкая и ситник нитевидный, мхов – кукушкин лен и сфагнум. Осиново-березовое насаждение отличается доминированием черники и трав, моховой покров менее развит. Общее проективное покрытие растений напочвенного покрова составляет 70–80 %. Ведущая роль принадлежит травам.

Количество опада растений древесного яруса определяли 20 опадоуловителями размером 50×50 см. Опад собирали дважды – осенью и весной и разделяли на фракции. Подстилку отбирали металлическим шаблоном площадью 878,9 см<sup>2</sup> в 20-кратной пов-

торности [1]. Скорость разложения растительного опада изучалась с использованием капроновых мешочков размером 20×25 см, с размером ячейки 1 мм. Растительный опад закладывался в верхний слой лесной подстилки в 5–10 кратных повторностях. Убыль в массе растительных остатков и их химический состав учитывался по истечении 6 и 12 месяцев. Содержание азота и углерода в растительных и почвенных образцах проводилось методом газовой хроматографии на АНА-1500 фирмы Карло Эрба (Италия).

Образцы почв для микробиологического анализа отбирали из верхних горизонтов почв – подстилки (А0). Использовали смешанные образцы из 10 индивидуальных с каждого участка. Качественный и количественный состав микромицетов определяли методом посева почвенной вытяжки на специализированные среды в трехкратной повторности [2]. Использовали подкисленную среду Чапека (сахаролитики), Чапека-Докса (актиномицеты), мясо-пептонный агар (аммонификаторы), Гетчинсона (целлюлозолитики). Данные по общей численности, полученной методом посева, выражали в колониеобразующих единицах на 1 г абсолютно сухой почвы (КОЕ/г). Идентификацию микроскопических грибов после выделения их в чистую культуру проводили по определителям для различных таксономических групп [3,4,11,12]. Комплексы микромицетов почв характеризовали на основе относительного обилия и встречаемости видов [5,6]. При характеристике комплекса микроскопических грибов были использованы такие показатели, как частота встречаемости: случайные виды (частота встречаемости 1–25 %), редкие (26–50 %), частые (56–75 %) и доминирующие (76–100 %), коэффициент сходства Серенсена-Чекановского [7].

Формирование подстилки включает несколько этапов: поступление опада на поверхность почвы, его разложение и аккумуляция растительных остатков непосредственно в подстилке. Важной характеристикой опада является его количество и состав. Количество наземного древесного опада, поступающего ежегодно на поверхность почвы в березово-еловом молодняке, составляет 1289,68±73,09

кг/га, в осиново-березовом насаждении 2842,08±42,54 кг/га. Состав древесного опада определяется доминирующим положением лиственных пород в составе древостоя исследуемых насаждений. Значительная часть опада (более 80 %) представлена его активной частью – ассимилирующими органами: листьями и хвоей. В листовом опаде молодняка доминируют листья березы – 61,3 %, осиново-березового насаждения – листья березы (44,5 %) и осины (26,9 %).

Количество и состав древесного опада варьирует в зависимости от сезона: в период с октября по май на поверхность почвы березово-елового молодняка поступает 33 % от среднегодового опада. За этот период (по отношению к годовому опаду) поступает 22 % листового опада, 80 % – опада ветвей, 95 % – семян и шишек. В этот же период в осиново-березовом насаждении поступает 21 % от среднегодового опада. С мая по октябрь опад листьев и хвои составляет – 4 %, ветвей – 53 %, семян и шишек – 95 % от годового опада. Таким образом, активная часть опада поступает в подстилку в основном с мая по октябрь, а неактивная – с октября по май. Это значит, что наиболее благоприятный период для поступления легкоразлагаемого растительного материала для жизнедеятельности микробиоты – май–октябрь.

Разложение растительного опада происходит под действием большого количества факторов как биотического, так и абиотического характера. Интенсивность разложения опада определяется его составом. Высокая доля участия лиственных древесных пород и трав увеличивает скорость разложения опада и подстилки. Трансформация растительного опада в процессе разложения также определяется содержанием углерода и азота, а также отношением C/N, C/P и уровнем содержания катионов в растительном опаде [8]. Содержание азота отдельных фракций растительного опада находится в диапазоне 0,59±0,09 – 1,45±0,22 %. Низкой концентрацией азота характеризуется древесный опад, особенно ветви деревьев, высокой – растения напочвенного покрова. Поскольку концентрация азота в растительном опаде не превышает 1,5 %,

**Количественная характеристика почвенной микробиоты подстилки  
лиственных сообществ**

Дата отбора	Количество микроорганизмов, в КОЕ/г а.с.п.			
	Аммонификаторы 10 <sup>6</sup>	Актиномицеты 10 <sup>6</sup>	Сахаролитики 10 <sup>4</sup>	Целлюлозолитики 10 <sup>4</sup>
Березово-еловый молодняк				
17.05.2009	<u>7,41</u> 3,18–12,7	<u>1,55</u> 1,30–1,81	<u>14,82</u> 9,52–22,23	сплошной рост грибов р. Chaetomium
17.09.2009	<u>9,64</u> 8,68–11,57	<u>2,33</u> 2,14–2,43	<u>58,82</u> 52,07–66,53	сплошной рост грибов р. Chaetomium
Березово-осиновое насаждение				
17.05.2009	<u>11,72</u> 5,86–23,45	<u>3,76</u> 2,6–4,92	<u>6,84</u> 2,93–11,72	<u>3,81</u> 3,52–4,10
17.09.2009	<u>14,93</u> 13,78–17,22	<u>0,77</u> 0,20–1,34	<u>25,26</u> 20,66–31,00	<u>30,99</u> 27,55–34,44

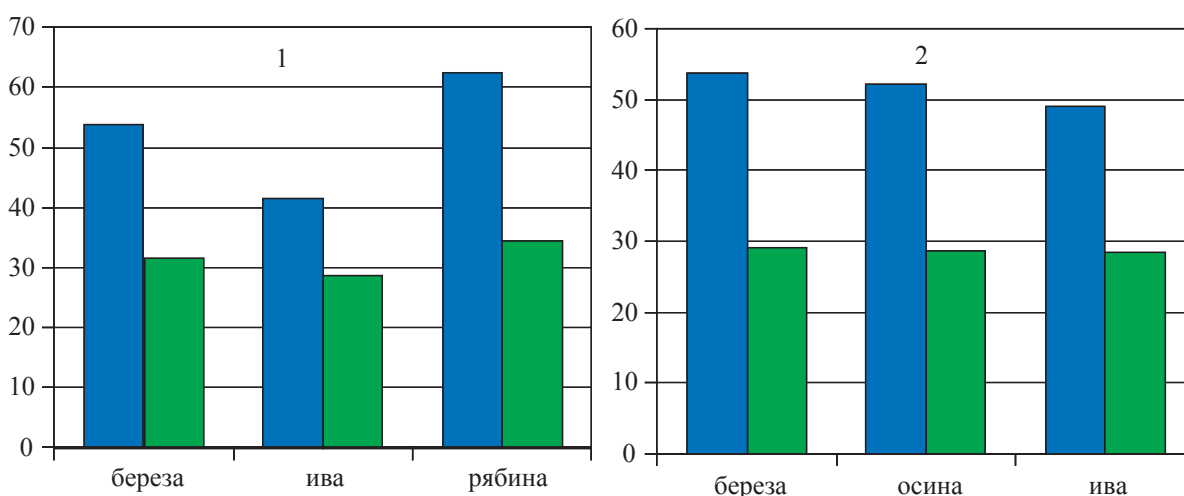


Рисунок. Отношение C/N в листовом опаде до разложения (ряд 1) и через 1 год после разложения (ряд 2) в березово-еловом молодняке (1) и осиново-березовом насаждении (2)

то большая часть азота, высвобождаемого в процессе разложения, связывается микроорганизмами и оказывается законсервированной в их биомассе.

Отношение C/N в компонентах древесного опада варьирует от 38 до 81. Для листьев березы этот показатель составляет 54 в обоих насаждениях, для листьев ивы березово-елового молодняка – 46, осиново-березового насаждения – 52, для листьев рябины 62 и 49 соответственно (рисунок). Различие в содержании углерода и азота в компонентах листового опада связано с условиями произрастания и возрастом исследуемых древостоев.

Древесный опад, поступающий на поверхность почвы в течение года, разлагается лишь частично. Высокой скоростью разложения в березово-еловом молодняке отличают-

ся листья рябины – 46,60±7,41 % в год, ивы – 39,31±10,24 % в год и березы 36,50±9,69 % в год. Скорость разложения этих же компонентов опада в березово-осиновом насаждении, как правило, выше: листьев березы на 26 %, листьев ивы на 32 %. Различие в скорости разложения может быть связано с количеством микроорганизмов. Установлено, что численность микромицетов в березово-осиновом насаждении выше, чем в березово-еловом молодняке (таблица). В различные годы исследований скорость разложения отличается. Например, в березово-еловом молодняке скорость разложения листьев ивы в 2004–2005 гг. составляла 39,31±10,24 % в год, а в 2006–2007 гг. – 46,92±12,35 % в год.

Помимо количественных изменений, связанных с убылью в весе в процессе раз-

ложения, изменения также касаются качественного состава опада. Нами рассматривается прежде всего листовая опад, который является доминирующей фракцией годового древесного опада и наиболее существенно разлагается в первый год. Соотношение C/N в листовом опаде через год разложения значительно сужается, что свидетельствует об активном процессе разложения опада с помощью микроорганизмов (рисунок). В подстилке березово-елового молодняка этот показатель составляет 30 – в верхнем п/горизонте (A01) и 21 – в нижнем п/горизонте подстилки (A02), в березово-осиновом насаждении 22 и 17 соответственно.

Таким образом, анализ показателей отношения C/N в древесном опаде через 1 год после его разложения и в подстилке показал, что минерализации азота на первых этапах деструкции растительных остатков не происходит, т.к. C/N не превышает 20. Большая часть азота, высвобождающегося в процессе разложения, связывается микроорганизмами. Особенно высокой частотой встречаемости в подстилочном горизонте отличаются грибы-аммонификаторы – *Aureobasidium pullulans*, *Mycelia sterilia*, *Penicillium* sp., а в березово-еловом молодняке дополнительно актиномицеты из р. *Streptomyces*, где отношение C/N в растительном опаде выше. Минерализация азота происходит в нижнем п/горизонте подстилки (A02) березово-осинового насаждения, так как отношение C/N здесь менее 20.

Уровень накопления подстилки может служить показателем энергии процессов разложения растительного опада в почве. Запасы лесной подстилки в березово-еловом молодняке составляют  $46,1 \pm 19,3$  т/га, в осиново-березовом насаждении –  $40,0 \pm 11,6$  т/га. Около 38 % органического вещества аккумулируется в верхнем п/горизонте подстилки (A01). Согласно представленным данным, подстилка березово-елового молодняка обладает более низким уровнем разложения. Отношение массы подстилки к массе опада или опадоподстилочный коэффициент для березово-елового молодняка в 2,5 раза выше, чем в осиново-березовом насаждении. Это означает, что процессы разложения растительного

опада в осиново-березовом насаждении протекают более интенсивно, чем в молодняке.

Как известно, сезонные колебания и погодные условия оказывают существенное влияние на плотность бактерий, актиномицетов и грибных популяций в подстилках и в меньшей степени в нижележащих горизонтах [9]. Количество микромицетов, выделенных из верхних горизонтов почвы березово-елового молодняка и березово-осинового насаждения в осенний период, значительно превышает их весенние показатели (таблица). Избыточная влажность и низкие температуры почвы, по-видимому, стали причиной низкой численности почвенных грибов в весенний период. Изменение доминирующих видов в осенний и весенний периоды связано с особенностью лиственных насаждений. В исследуемых насаждениях основная масса листового опада поступает в подстилку в сентябре-октябре. «Свежий» растительный материал активизирует и способствует увеличению численности целлюлозоразрушителей (в 8 раз) и аммонификаторов (в 1,3 раза) (таблица).

В березово-еловом молодняке за весь период наблюдений из органогенно-аккумулятивного слоя выделено 33 вида микромицетов, относящихся к 14 родам из четырех классов, а также три формы стерильного мицелия. Подавляющее число видов относится к несовершенным грибам – 24 вида из 10 родов; зигомицеты представлены 3 видами рода *Mortierella*, сумчатые грибы – 3 видами р. *Chaetomium*, класс *Coelomycetes* – 1 видом р. *Phoma*. В целом в почве березово-елового молодняка по видовому разнообразию преобладают пенициллы (6 видов) и триходермы (5 видов).

В разные сезоны наблюдаются значительные различия в обилии почвенных микромицетов. Комплекс типичных грибов по обилию [10] в майских пробах почв березово-елового молодняка включает 5 доминирующих видов, 10 частых, 4 редких, 6 случайных. В число доминантов входят стерильный мицелий с пряжками *Mycelia sterilia*, *Chaetomium globosum*, *Trichoderma viride*, *T. sympodianum*, *Aureobasidium pullulans*. Сре-

ди частых – *Chaetomium spirale*, *Ch. indicum*, *Geomyces pannorum*, *Penicillium purpurescens*, *P. raciborsskii*, *Trichoderma sp.*, *T. album*, *T. koningii* и неидентифицированные роды, представленные светло- и темноокрашенным стерильным мицелием. К осени в комплексе микромицетов произошли существенные изменения. Некоторые виды грибов, такие как *Acremonium strictum*, *Alternaria tenuis*, *Paecilomyces variotii*, *P. Lilacinus*, *Cl. herbarum* из проб не выделялись, появились новые виды: *Mortierella alpina*, *Gliocladium sp.*, *Penicillium camemberti*, *Penicillium sp.*, *Phoma sp.* За данный период некоторые грибы с высокой частотой встречаемости перешли в разряд редко встречающихся: *Trichoderma album* (= *Hypocrea citrina*), *Trichoderma sp.*, *T. koningii*, *T. Sympodianum*, темноокрашенный стерильный мицелий.

Главными целлюлозоразрушителями в данной экосистеме являются представители рода *Chaetomium*, которые на поверхности питательной среды Гетчинсона, при использованных разведениях, образовывали сплошной рост клейстотециев. Развитию грибов этого рода в березово-еловом молодняке способствует наличие большого количества разлагающихся порубочных и корневых остатков, сохранившихся после рубки. На данной среде также довольно часто наблюдались светлоокрашенные представители стерильного мицелия, виды рода *Trichoderma*, *Phoma*, *Stachybotrys*, а также северный вид *Geomyces pannorum*. На питательной среде МПА высокой частотой встречаемости выделялись грибы-аммонификаторы – *Aureobasidium pullulans*, *Mycelia sterilia*, *Penicillium sp.* и актиномицеты из р. *Streptomyces*. Остальные грибы – случайные и редко встречающиеся, главным образом питающиеся легкодоступными органическими веществами.

В березово-осиновом насаждении из органогенного слоя почвы были выделены три представителя *Mycelia sterilia* и 31 вид микромицетов, из них 23 вида относятся к анаморфным грибам, 5 – к зигомицетам из родов *Mucor* и *Mortierella* и 3 вида – к сумчатым из р. *Chaetomium*. В данном сообществе, как и в березово-еловом молодняке, в разные

сезоны наблюдались значительные различия в обилии почвенных микромицетов. В весенний период в осиново-березовом лесу, как и в предыдущей экосистеме, наиболее обильно представлены разные формы стерильного мицелия *Mortierella ramanniana*, *Aureobasidium pullulans*, *Chaetomium globosum*, *Ch. spirale*, *Ch. indicum*, *Geomyces pannorum*, *Penicillium purpurescens*, *P. raciborsskii*, *Trichoderma viride*, *T. sympodianum*, *Trichoderma sp.*, *T. album*, *T. koningii*, *Penicillium purpurescens*, *P. raciborsskii*. Обилие остальных родов и стерильного темноокрашенного мицелия *Mycelia sterilia* невысокое. В осенний период по обилию продолжают преобладать *Mortierella ramanniana*, *Chaetomium globosum*, *Aureobasidium pullulans* var. *Pullulans*, *T. viride*, из разряда случайных *Mucor racemosus* перешел в разряд доминантов, остальные весенние доминанты осенью высоким обилием не отличались.

В весенних почвенных пробах осиново-березового насаждения наибольшим обилием обладали *Mycelia sterilia* (59 %) и *Cladosporium* (20 %), обилие остальных родов невелико. В осенних пробах максимального обилия достигает род *Mortierella* (49 %), уменьшается обилие *Mycelia sterilia* (25 %). Довольно высоко обилие рода *Penicillium* (25 %), обилие остальных родов незначительно.

Из физиологических групп среди целлюлозолитиков наиболее обильны были *Geomyces pannorum*, *Mycelia sterilia*, *Chaetomium globosum*, *Ch. spirale*, а в осенний период – *Chaetomium globosum*, *Phoma sp.* Необходимо отметить, среди целлюлозолитиков высокой частотой и обилием выделялись актиномицеты как в весенний, так и осенний периоды отбора проб (таблица).

Таким образом, видовой состав микромицетов насчитывает более 30 видов, что в 1,4 раза выше, чем в среднетаежных ельниках [9]. Особенностью березово-елового молодняка является сплошной рост целлюлозоразрушителей рода *Chaetomium*. Их развитие в молодняке не случайно и является результатом разложения порубочных и корневых остатков в почве после рубки.

**Библиографический список**

1. Карпачевский, Л.О. О методике учета опада и подстилки в смешанных лесах / Л.О. Карпачевский, Н.К. Киселева // Лесоведение. – 1968. – № 3. – С. 73–80.
2. Литвинов, М.А. Методы изучения почвенных микроскопических грибов / М.А. Литвинов. – Л.: Наука, 1969. – 118 с.
3. Литвинов, М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов / М.А. Литвинов. – Л.: Наука, 1967. – 303 с.
4. Милько, А.А. Определитель мукопоровых грибов / А.А. Милько. – Киев: Наукова думка, 1974. – 303 с.
5. Билай, В.И. Микромицеты почв / В.И. Билай, И.А. Элланская, Т.С. Кириленко и др. – Киев: Наукова Думка, 1984. – 264 с.
6. Мирчинк, Т.Г. Способы выявления типичных для определенных условий комплексов микроскопических грибов на основе характеристики их структуры / Т.Г. Мирчинк, С.М. Озерская, О.Е. Марфина // Биологические науки. – 1982. – Вып. 20. – С. 198–226.
7. Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М., 1992. – 184 с.
8. Аристовская, Т.В. Микробиология процессов почвообразования / Т.В. Аристовская. – Л.: Наука, 1980. – С. 189–185.
9. Хабибулина, Ф.М. Роль микромицетов в трансформации растительных остатков в ельнике чернично-зеленомошном средней подзоны тайги / Ф.М. Хабибулина, Т.А. Творожникова // Лесной журнал. – 2007. – №4.
10. Кураков, А.В. Методы выделения и характеристики комплексов микроскопических грибов наземных экосистем: учебно-методическое пособие / А.В. Кураков. – М.: МАКС Пресс, 2001. – 92 с.
11. Raper B., Thom C., Fennell D. I. A manual of Penicillia. New York; London: Hafner Publishing Company, 1968. 875 p.
12. Ramirez C. Manual and atlas of the Penicillia. Amsterdam; New York; Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.

**СОДЕРЖАНИЕ ЗАПАСНЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ  
В ТКАНЯХ ОДНОЛЕТНИХ ПОБЕГОВ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА БОБОВЫЕ (*FABACEAE* LINDL.),  
ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В НИЖЕГОРОДСКУЮ ОБЛАСТЬ**

Е.И. ЗАХАРОВА, ст. преподаватель каф. лесных культур Нижегородской ГСХА

*robinia@bk.ru*

Приспособление организма к внешней среде является одним из важнейших вопросов при интродукции его в новые районы [1–3]. Растительный организм представляет собой сложную биологическую систему, поэтому изменения условий внешней среды вызывают соответствующую перестройку как в функциях растений, так и в структуре, которая способствует повышению устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов [4].

Успех интродукции растений в Нижегородскую область зависит главным образом от их зимостойкости. Даже незначительные, но часто повторяющиеся повреждения побегов зимними морозами или заморозками могут привести к гибели растения.

В повышении зимостойкости интродуцированных растений большое значение имеют сроки накопления запасных питательных веществ, таких как крахмал и жиры, и их ди-

намика в течение зимы [5, 6]. Общеизвестно, что динамика запасных питательных веществ характеризует состояние растений и служит критерием оценки их морозостойкости [7].

Для выявления степени зимостойкости древесных представителей семейства бобовые нами применялись гистохимические методы изучения сезонных изменений содержания запасных веществ в побегах [1, 8].

Объектами исследования служили виды семейства *FABACEAE* Lindl., имеющиеся в коллекции питомника-дендрария Держинского лесхоза Нижегородской области: робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.), аморфа кустарниковая (*Amorpha fruticosa* L.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.). Наблюдения проводились в течение трех лет с 2007 по 2009 гг.

Для осуществления гистохимических анализов использовались однолетние побеги.

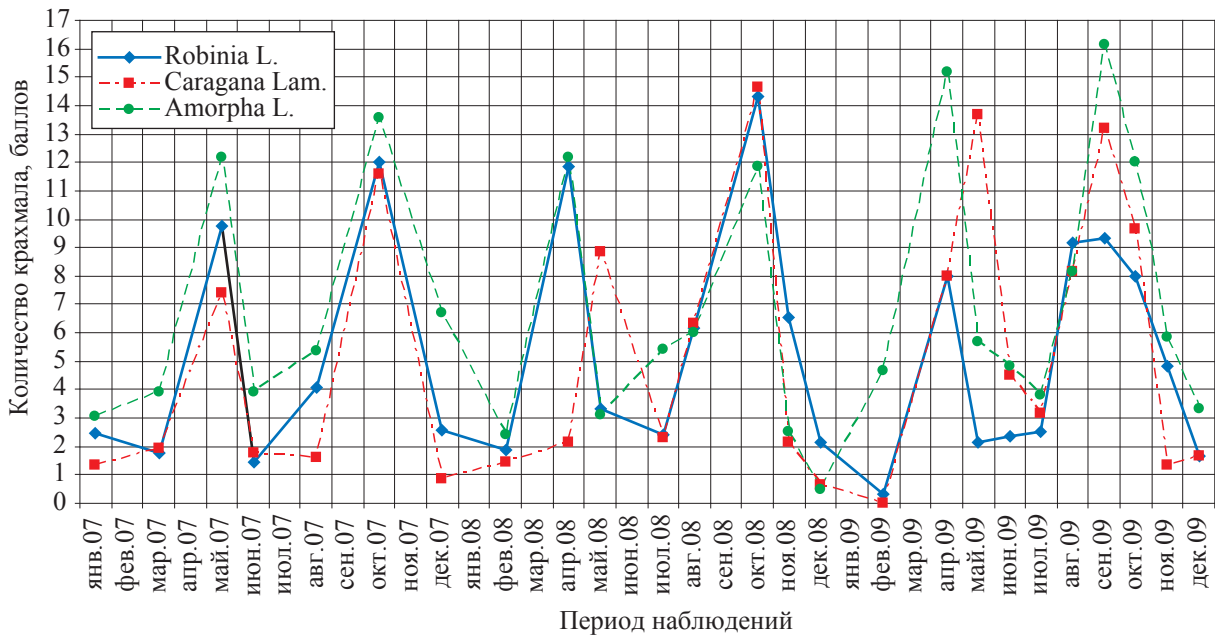


Рис. 1. Динамика содержания крахмала в клетках годичных побегов древесно-кустарниковых представителей семейства *FABACEAE Lindl.*

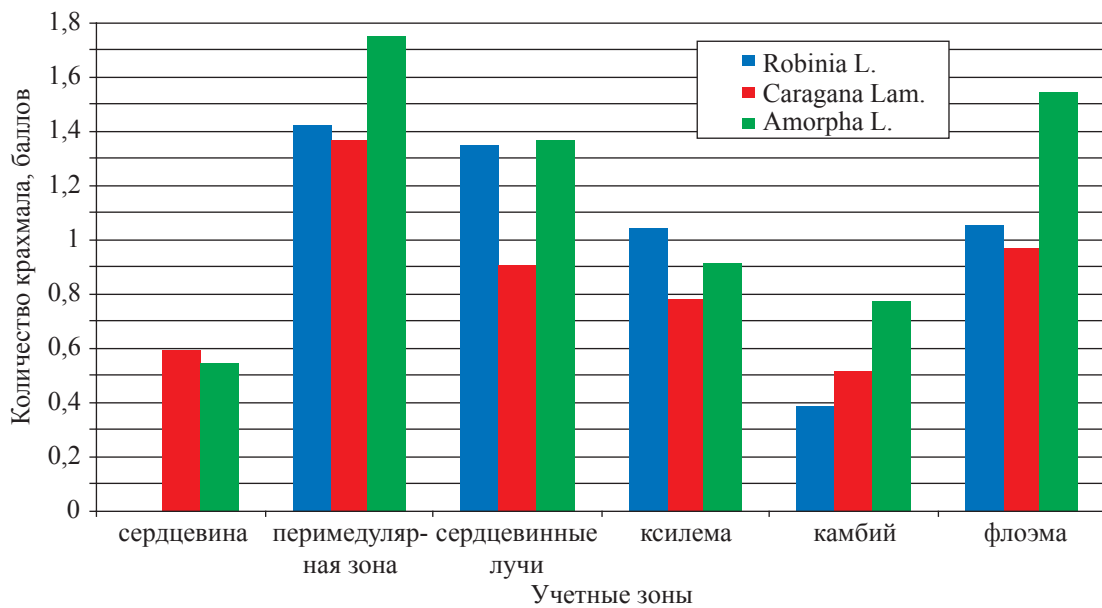


Рис. 2. Среднестатистическое содержание крахмала в учетных зонах древесно-кустарниковых представителей семейства *FABACEAE Lindl.*

Временные препараты (окрашенные поперечные срезы побегов) исследовались с помощью микроскопа МИКМЕД-1.

Наличие в клетках запасных питательных веществ оценивалось дифференцировано по учетным зонам каждой из тканей, привлеченных для анализа: сердцевина, перимедулярная зона ксилемы, сердцевинные лучи, ксилема, камбий, флоэма. Оценка давалась по каждой учетной зоне тканей отдельно, а также в сумме баллов по всем учетным зонам

и в средних значениях балльных оценок для учетной зоны. В качестве контроля выступали неокрашенные срезы.

Крахмал определялся по йодной реакции в растворе Люголя. В этот раствор помещали поперечные срезы исследуемых объектов. Оценка содержания крахмала давалась в баллах с учетом существующих разработок [8, 9]: 0 – крахмал отсутствует полностью: крахмальные зерна не обнаружены ни в одной клетке учитываемой ткани; 1 – крахмал

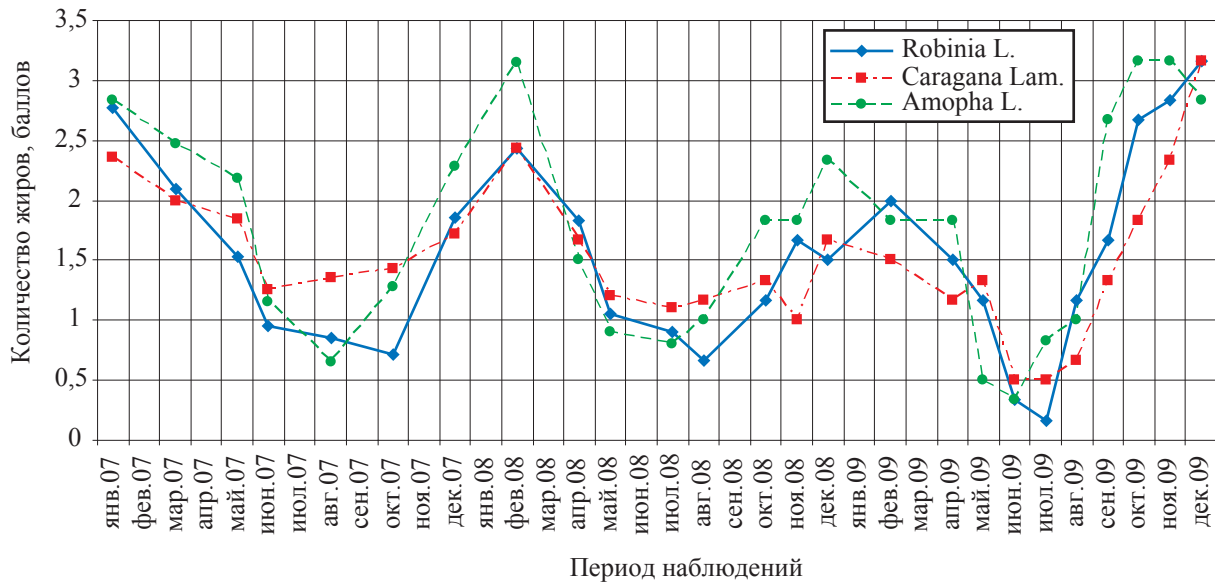


Рис. 3. Динамика содержания жиров в клетках годичных побегов древесно-кустарниковых представителей семейства *FABACEAE Lindl.*

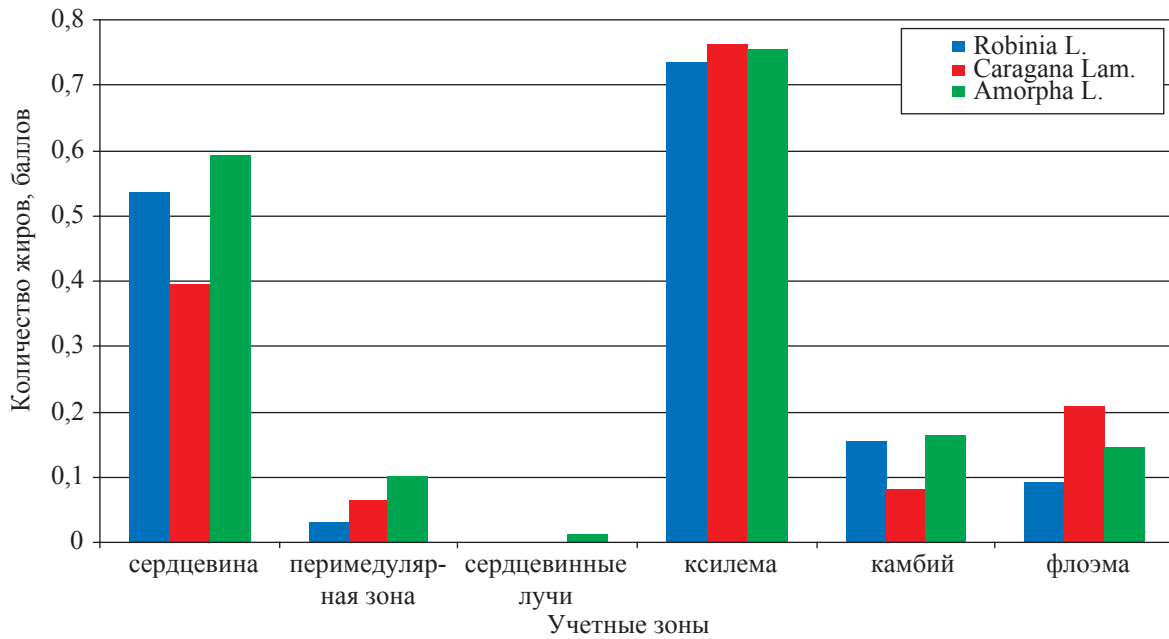


Рис. 4. Среднестатистическое содержание жиров в учетных зонах древесных представителей семейства *FABACEAE Lindl.*

в ограниченном количестве присутствует в единичных клетках учитываемой ткани (до 10 %); 2 – окрашенные крахмальные зерна удается зафиксировать примерно в 20–30 % клеток учитываемой зоны; 3 – крахмал фиксируется примерно в половине всех учитываемых клеток ткани (40–60 %); 4 – крахмал отмечается в большей части клеток (70–90 %); 5 – крахмал присутствует во всех клетках учитываемой ткани.

Реактивом на жиры служит раствор Судана III. Содержание жиров учитывалось также в условных баллах: 0 – жир отсутствует полностью: ни в одной из клеток учитываемой ткани не обнаруживается изменение окраски в сторону появления розового оттенка; 1 – клетки тканей окрашиваются в слабо заметный бледно-розовый цвет; 2 – клетки тканей имеют хорошо заметную бледно-розовую окраску; 3 – клетки тканей приобретают



хорошо различимую розовую окраску средней интенсивности; 4 – клетки ткани окрашиваются в хорошо заметный розовый цвет, в единичных клетках ткани удается зафиксировать жиры в капельножидком состоянии; 5 – клетки, содержащие жиры, легко обнаруживаются по всей ткани, их окраска интенсивно-розовая, во многих клетках обнаруживаются жиры в капельножидком состоянии [8, 10].

Анализ динамики содержания крахмала и жиров в клетках годичных побегов выявил следующие общие тенденции (рис. 1, 3).

Как видно на рис. 1, в годичном цикле изучаемых видов наблюдается два крахмальных максимума и минимума. Данная закономерность проявлялась во все годы проводимых наблюдений.

В зимний период, в состоянии покоя у побегов изучаемых видов, наблюдается незначительное количество крахмала во всех исследуемых тканях – от 0 до 2,5 баллов – зимний крахмальный минимум. Это обусловлено тем, что в клетках растений в поздне-осенний период происходит постепенный гидролиз крахмала и накопление растворимых сахаров и жиров. Уменьшение количества запасного крахмала во всех учетных зонах происходит примерно в одно и то же время. Однако степень превращения веществ по учетным зонам была не одинаковой. Наиболее полно гидролиз крахмала наблюдается в камбии и в сердцевине, наименее полно – во флоэме и перимедулярной зоне ксилемы. Повышение температуры воздуха в конце зимы вызывает распад жиров и повторное накопление крахмала, вызванное усилением синтетической функции растений – весенний крахмальный максимум. Содержание крахмала в этот период соответствует 7–15 баллам. Данный период совпадает с моментом выхода растений из состояния покоя и приходится на середину апреля – начало мая. К началу распускания почек запасной крахмал опять распадается с образованием растворимых сахаров, которые используются растением на процессы роста. В июне–июле наблюдается летний крахмальный минимум, когда содержание крахмала опускается до 1 балла. С прекращением ростовых процессов в августе происходит накоп-

ление крахмала, содержание которого в середине сентября – начале октября достигает максимума. В ноябре содержание его начинает снижаться, достигая минимума в январе – феврале.

Глубокое превращение веществ, при переходе в состояние покоя, свидетельствует о морозоустойчивости видов.

Однако содержание крахмала в учетных зонах было неодинаково, что отражено на рис. 2.

На рис. 2 видно, что наибольшее количество крахмала накапливается в перимедулярной зоне ксилемы. В перимедулярной зоне побегов робинии лжеакации в среднем накапливается 1,42 балла крахмала, при максимуме в 3,71 балл; караганы древовидной – 1,37 балла, при максимуме в 3,67 балла; аморфы кустарниковой – 1,75 балла, при максимуме 4 балла. У всех исследуемых видов содержание крахмала в перимедулярной зоне в зимний период может снижаться до 0 баллов.

На втором месте по содержанию крахмала в клетках находится зона сердцевинных лучей и флоэмы.

Сердцевинные лучи робинии лжеакации в среднем содержат 1,35 балла крахмала (max. 4 балла; min. 0); караганы древовидной – 0,91 балла (max. 3,71 балла; min. 0); аморфы кустарниковой – 1,36 балла (max. 3,67 балла; min. 0). Наибольшее количество крахмала в зоне флоэмы, среди изучаемых видов, зафиксировано у аморфы кустарниковой – 1,54 балла при max. = 3,83 балла и при min. = 0,17 баллов. Робиния лжеакация и карагана древовидная содержат в данной зоне по 1,05, 0,97 баллов, соответственно, при максимуме в 3,5 балла и при минимуме в 0 баллов.

Полное отсутствие крахмала у робинии лжеакации наблюдается в зоне сердцевинной во все сроки наблюдений. Также незначительное его количество фиксируется в камбии данной породы.

Наименьшее количество крахмала у караганы древовидной зафиксировано в камбии (0,52 балла), а у аморфы кустарниковой – в сердцевине (0,55 балла).

Характер превращения жиров отражается на рис. 3.

Как видно на рис. 3, для всех изучаемых видов представителей семейства *FABACEAE Lindl.* характерна взаимно противоположная направленность процессов изменения содержания жиров и крахмала в течение всего периода наблюдений. Минимум содержания жиров приходится на вегетационный период растений и колеблется в этот период в разные годы от 0,1 до 1,2 балла.

При переходе в состояние покоя количество жиров в побегах изучаемых видов увеличивается, не достигая, однако, 3,5 баллов. На рис. 3 видно, что максимальное для вида содержание жиров наблюдается в наиболее холодное время года. При этом накопление жиров в тканях растений происходит неодинаково. Больше всего жиров в зимний период накапливается в сердцевине и ксилеме, что характерно для всех изучаемых видов.

Наличие жиров в различных учетных зонах изображено на рис. 4.

На рис. 4 видно, что наибольшее количество жиров содержится в клетках ксилемы. Клетки древесины робинии лжеакации в среднем накапливают 0,73 балла жиров (min. = 0,16, max. = 1,33); караганы древовидной – 0,76 балла (min. = 0,37, max. = 1,14); аморфы кустарниковой – 0,77 балла (min. = 0,11, max. = 1,5). Второе место по количеству содержания жиров занимает сердцевина. В клетках сердцевины робинии лжеакации содержится в среднем 0,54 балла жиров при максимуме 1 балл; караганы древовидной – 0,39 балла, при максимуме в 1 балл; аморфы кустарниковой – 0,59 балла (max. = 1,05 балла). При этом в вегетационный период жиры в данной учетной зоне полностью отсутствуют. В сердцевинных лучах робинии лжеакации и караганы древовидной жиры не были зафиксированы ни в один из периодов наблюдения. В сердцевинных лучах аморфы кустарниковой жиры присутствовали в зимний период наблюдений в незначительных количествах – 0,01 балла.

Превращение крахмала в жиры является результатом приспособления растений-интродуцентов к зимним условиям при переходе в покой. Содержащие жиры в зимний период растения являются более морозоустойчивыми, чем запасующие крахмал. Гидролиз крах-

мала сопровождается обезвоживанием клеток и способствует перезимовке растений. Способность растений выносить продолжительное время очень сильные морозы достигается накоплением в клетках защитных веществ неспособных замерзнуть – жиров.

На основании приведенных результатов можно сделать вывод о том, что изучаемые представители семейства *FABACEAE Lindl.* являются перспективными интродуцентами в условиях Нижегородской области, поскольку в критические сезоны года достаточно полно гидролизуют крахмал с образованием жиров.

### Библиографический список

1. Генкель, П.А. Состояние покоя и морозоустойчивость плодовых растений / П.А. Генкель, Е.З. Окнина. – М.: Изд-во Наука, 1964. – 245 с.
2. Лапин, П.И. Сезонный ритм развития у видов рода *Sorbus* при интродукции / П.И. Лапин, С.В. Сиднева // Бюлл. Гл. ботан. сада. – 1971. – Вып. 79. – С. 3–9.
3. Плотникова, Л.С. Научные основы интродукции и охраны древесной растительности флоры СССР / Л.С. Плотникова. – М.: Наука, 1988. – 264 с.
4. Петухова, И.П. Эколого-физиологические основы интродукции древесных растений / И.П. Петухова. – М.: Изд-во Наука, 1981. – 124 с.
5. Петрова, И.П. Некоторые гистохимические показатели зимостойкости среднеазиатских растений / И.П. Петрова // Бюлл. Гл. бот. сада. – 1968. – Вып. 71. – С. 20–24.
6. Кудряшова, Н.А. Биологические особенности декоративных кустарников рода *Spiraea* L. в условиях степной зоны Южного Урала: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Н.А. Кудряшова. – Оренбург, 2005. – 148 с.
7. Сергеев, Л.И. О появлении крахмала в генеративных почках древесных растений зимой / Л.И. Сергеев, К.А. Сергеева, И.В. Кандарова // Бюлл. Гл. бот. сада. – 1959. – Вып. 35. – С. 70–75.
8. Бессчетнова, Н.Н. Сравнительный анализ семян сосны обыкновенной по физиологическому состоянию в Семеновском специализированном семеноводческом лесхозе / Н.Н. Бессчетнова и др. // Актуальные проблемы лесного хозяйства Нижегородского Поволжья и пути их решения. – Н.Новгород, 2005. – С. 29–40.
9. Бессчетнов, В.П. Полиморфизм казахстанских популяций облепихи крушиновидной (*Hipporhae rhamnoides* L.) по хозяйственным и адаптивным признакам: дис. ... док. биол. наук: 03.00.05 / В.П. Бессчетнов. – Алматы, 1994. – 543 с.
10. Прозина, Н.М. Ботаническая микротехника / Н.М. Прозина. – М.: Высшая школа, 1960. – 205 с.

## СОСТОЯНИЕ ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО (*ACER PLATANOIDES* L.) В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

К.А. ВАСИЛЬЕВА, асп. каф. экологии и природопользования Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы,

Г.А. ЗАЙЦЕВ, доц. Института биологии УНЦ РАН, д-р биол. наук,

А.Ю. КУЛАГИН, проф. Института биологии УНЦ РАН, д-р биол. наук

*ksuba14@mail.ru; forestry@mail.ru*

Вопросы устойчивости древесных растений к различным типам загрязнения окружающей среды остаются до сих пор слабо изученными. Клен остролистный не является основной лесообразующей породой. При этом он широко представлен в подлеске практически во всех типах леса, а также в городских лесах. Несмотря на широкое распространение, до настоящего времени до конца не изучены эколого-биологические характеристики клена остролистного в различных лесорастительных условиях. Также слабо изучены остаются вопросы устойчивости клена к различным типам загрязнения окружающей среды.

Цель работы – изучение содержания различных фотосинтетических пигментов ассимиляционного аппарата клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях нефтехимического и полиметаллического типов загрязнения окружающей среды. Исследования проводились в течение вегетационного периода в пределах границ Уфимского и Стерлитамакского промышленных центров. Территория Уфимского промышленного центра была условно поделена на три зоны: максимального уровня нефтехимического загрязнения, среднего уровня и условного контроля. В каждой зоне были заложены постоянные и временные пробные площади. Территория Стерлитамакского промышленного центра была условно поделена на две части: северную (зона загрязнения) и южную (относительный контроль). В каждой зоне также были заложены постоянные и временные пробные площади.

Фотосинтез – очень чувствительный физиологический процесс, зависящий от состояния ассимиляционного аппарата

и растения в целом. Хлорофилл – основной фотосинтетический пигмент растения. Хлорофилл имеет несколько модификаций, из которых хлорофиллу *a* принадлежит ведущая роль в функционировании фотосинтетических систем листа. В то же время процесс фотосинтеза возможен лишь при наличии всех компонентов пигментного комплекса. Помимо хлорофилла *a* это также хлорофилл *b* и каротиноиды. Таким образом, представляет интерес анализ влияния техногенной нагрузки на содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов.

Процесс фотосинтеза и дыхания является чувствительной функцией растения [6]. Содержание пигментов и фотосинтез связаны с почвенно-климатическими условиями. Из факторов природной среды, определяющих интенсивность фотосинтеза древесных растений, наиболее важными являются солнечная радиация, температура воздуха, почвенная влагообеспеченность, условия минерального питания, содержание углекислоты в воздухе и др. Действие всех этих факторов взаимосвязано, но их роль в фотосинтезе неоднозначна [6, 2].

Содержание пигментов, их соотношение являются важными показателями сформированности фотосинтетического аппарата. Нехватка хлорофилла ограничивает скорость фотосинтеза [1]. Большую роль в фотосинтетической активности играет соотношение скоростей образования новых и разрушение старых молекул хлорофилла. Последнее же находится в прямой зависимости от физиологического состояния клетки и растения, определяемого во многом условиями произрастания [8]. В условиях города из-за более высоких температур воздуха, асфальтового

покрытия, повышенной плотности и загрязненности почв солями уменьшается листовая поверхность и существенно снижается содержание пигментов [3]. К факторам, снижающим фотосинтетическую активность древесных растений в условиях техногенеза, следует отнести также пыль и сажу в воздухе [4]. Таким образом, в условиях интенсивной техногенной нагрузки могут происходить изменения в пигментном фонде, которые могут служить индикатором толерантности к этому фактору [4, 7].

Для определения содержания пигментов в листьях образцы отбирались из средней части кроны не менее чем с 20 деревьев [5]. Отбор растительного материала производился в середине дня (11.00–14.00), когда содержание пигментов в листьях наибольшее. Собранные листья измельчали, после чего навески (0,1 г), взвешенные на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 (Госметр, Россия), помещали в пробирки, заливали 10 мл 96 %-го этилового спирта и хранили в темном помещении во избежание разрушения пигментов фотосинтеза на свету. Через 12 часов проводили измерения содержания пигментов фотосинтеза – хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов методом спектрофотометрии с использованием спектрофотометра КФК-5М (Россия). Содержание пигментов в листьях рассчитывали в два этапа по формулам.

I этап – Расчет концентрации пигментов листьев в спиртовом растворе (мг/л)

$$\begin{aligned} C_{\text{хлорофилл } a} &= 13,7 \cdot D_{665} - 5,76 \cdot D_{649}; \\ C_{\text{хлорофилл } b} &= 25,8 \cdot D_{649} - 7,6 \cdot D_{665}; \\ C_{\text{каротиноиды}} &= 4,6957 \cdot D_{440,5} - \\ &- 0,268 \cdot (D_{\text{хлорофилл } a} + D_{\text{хлорофилл } b}), \end{aligned}$$

где  $D_{665}$ ,  $D_{649}$  и  $D_{440,5}$  – показатели оптической плотности спиртового раствора при соответствующих длинах волн (665, 649 и 440,5 нм).

II этап – Расчет количества пигментов в листьях (мг/г сырой массы)

$$A = V \cdot C / P \cdot 1000,$$

где  $V$  – объем спиртовой вытяжки (10 мл);

$C$  – концентрация пигментов в спиртовом растворе (мг/л);

$P$  – навеска растительного материала (0,1 г).

В результате исследований было установлено, что при развитии растений клена остролистного в условиях нефтехимического загрязнения Уфимского промышленного центра основную массу пигментов составляют каротиноиды, количество которых в течение сезона не снижается ниже 2 мг/г сырой массы. Установлено, что в зоне максимального уровня загрязнения сумма пигментов ниже по сравнению со средней зоной и контролем – в июле и августе здесь отмечено минимальное содержание пигментов, а в июне содержание пигментов выше, чем в контроле и средней зоне. Содержание хлорофилла *a* в листьях клена остролистного в течение вегетационного периода варьирует от 1,196 до 1,365 мг/г сырой массы. Максимальная концентрация хлорофилла *a* зафиксирована в июле в зоне контроля. Минимальная – в зоне среднего загрязнения в начале вегетации (рис. 1а).

В зоне среднего загрязнения происходит увеличение содержания хлорофилла *a* в течение вегетационного периода. В зоне сильного загрязнения наблюдается относительная стабильность содержания хлорофилла *a*. В контроле же отмечено снижение содержания хлорофилла *a* к концу вегетационного периода. Данное обстоятельство можно объяснить естественным разрушением пигментов в ходе вегетации по мере старения листьев.

Что же касается содержания хлорофилла *b*, то его меньше, чем хлорофилла *a*. Оно варьирует от 0,6 до 0,75 мг/г сырой массы. Максимум концентрации хлорофилла *b* наблюдается в середине вегетационного периода в зоне относительного контроля. Минимум – в начале вегетационного периода в зоне среднего загрязнения (рис. 2а).

Анализ содержания хлорофилла *b* в листьях клена остролистного показывает, что данный фотосинтетический пигмент значительно более чувствителен к промышленному загрязнению, нежели хлорофилл *a*. Об этом свидетельствует тот факт, что в течение вегетационного периода содержание хлорофилла *b* в зоне контроля выше такового в зоне сильного загрязнения. Содержание хлорофилла *b* в зоне сильного загрязнения устойчиво снижается от июня к августу.

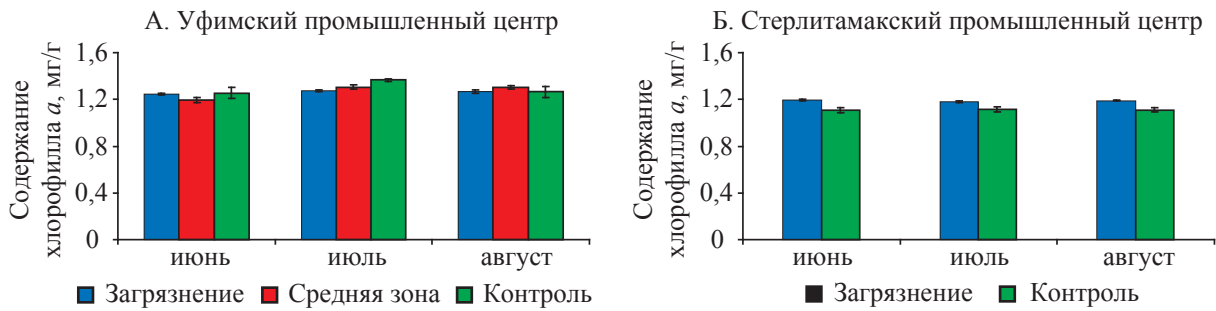


Рис. 1. Содержание хлорофилла *a* (мг/г) в листьях клена остролистного в условиях промышленного загрязнения

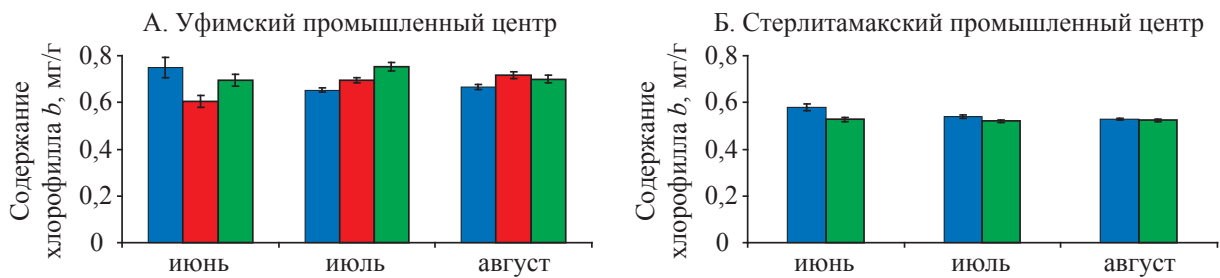


Рис. 2. Содержание хлорофилла *b* (мг/г) в листьях клена остролистного в условиях промышленного загрязнения

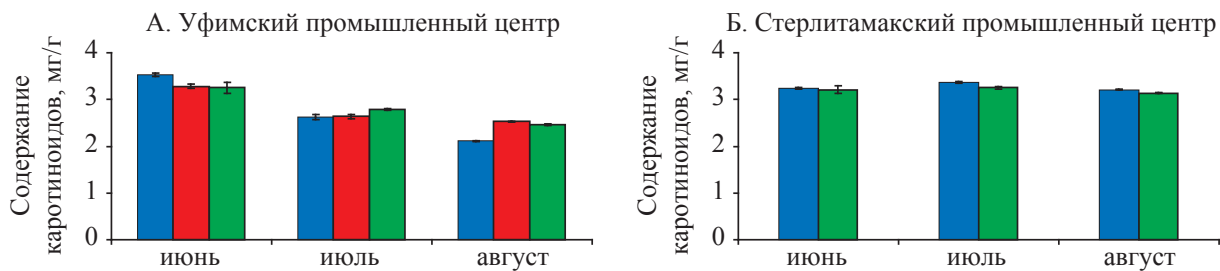


Рис. 3. Содержание каротиноидов в листьях клена остролистного в условиях промышленного загрязнения

Общих закономерностей для всех зон произрастания особенностей изменения концентрации хлорофилла *b* не обнаружено.

Что же касается содержания каротиноидов в листьях клена остролистного, то содержание варьирует от 2,1 до 3,5 мг/г. Максимальная и минимальная концентрация каротиноидов зафиксированы в зоне сильного загрязнения в начале и конце вегетации соответственно (рис. 3а).

Максимальные значения по зонам загрязнения приходятся на начало вегетационного периода, а минимальные – на конец вегетации. В начале периода вегетации наибольшее количество каротиноидов приходится на зону сильного загрязнения, в июле – в зоне контроля, в конце вегетации оно ста-

новится выше в условиях среднего загрязнения.

Нами не было обнаружено строгих закономерностей изменения в ходе вегетации различий в концентрации анализируемого комплекса пигментов между зонами загрязнения.

Исследования пигментного комплекса листьев клена остролистного, произрастающего на территории Стерлитамакского промышленного центра, показали, что в условиях полиметаллического загрязнения в течение всего вегетационного периода содержание пигментов выше по сравнению с контролем. В условиях загрязнения основную массу пигментов составляют каротиноиды (на долю которых приходится 64,65–66,19 %). В ус-

ловиях контроля основную массу пигментов также составляют каротиноиды, однако здесь их доля немного выше (65,77–66,61 %), чем в условиях загрязнения.

Таким образом, пигментный комплекс клена остролистного характеризуется низкой устойчивостью к увеличению уровня промышленной нагрузки. Установлено, что под влиянием загрязнения происходят изменения в структуре пигментного фонда: уменьшается содержание пигментов хлорофилльного комплекса и концентрация каротиноидов.

Содержание хлорофилла *a* в листьях клена остролистного варьирует от 1,108 до 1,195 мг/г сырой массы. Максимальная концентрация хлорофилла *a* зафиксирована в июне в зоне загрязнения. Минимальная для того же месяца – в зоне контроля (рис. 3б).

В зоне загрязнения происходит уменьшение содержания хлорофилла *a* в течение вегетационного периода, в то время как в зоне относительного контроля оно практически не изменяется.

На протяжении всего вегетационного периода в зоне загрязнения содержание хлорофилла *a* выше, чем в зоне контроля. Данное обстоятельство может свидетельствовать о широких адаптационных возможностях пигментного комплекса клена остролистного.

Содержание хлорофилла *b* меньше, чем таковое хлорофилла *a*. Оно варьирует от 0,52 до 0,58 мг/г сырой массы. Максимум концентрации хлорофилла *b* наблюдается в начале вегетационного периода в зоне загрязнения. Минимум – в середине вегетационного периода в зоне контроля. Для данного фотосинтетического пигмента характерно уменьшение разницы в концентрации хлорофилла *b* между зонами (рис. 2 б).

Анализ содержания хлорофилла *b* в листьях клена остролистного показывает, что данный фотосинтетический пигмент чувствителен к промышленному загрязнению. Об этом свидетельствует тот факт, что в течение всего вегетационного периода содержание хлорофилла *b* в зоне загрязнения выше такового в зоне контроля. То есть под влиянием техногенного загрязнения у клена остролистного в отношении хлорофилла *b* формирует-

ся ярко выраженная мезоморфная структура листа.

Содержание хлорофилла *b* устойчиво снижается от июня к августу. Это легко объяснимо, так как хлорофилл *b* образуется из хлорофилла *a*. Одновременно происходит уменьшение разницы в концентрации хлорофилла *b* между зонами, что может быть связано с усилением синтеза данного пигмента под влиянием ксенобиотиков. Разница между содержанием хлорофилла *b* в листьях в начале и в конце вегетации выше в зоне загрязнения.

Для содержания каротиноидов клена остролистного, как и для других комплексов пигментного фонда, характерно увеличение их концентрации под влиянием промышленного загрязнения (рис. 3б).

Содержание каротиноидов в листьях клена остролистного в условиях полиметаллического загрязнения в течение вегетационного периода варьирует от 3,14 до 3,37 мг/г. Максимальная концентрация каротиноидов зафиксирована в зоне загрязнения в середине вегетации, минимальная – в зоне контроля в конце вегетации. Максимальное значение по зоне загрязнения приходится на середину вегетационного периода, а минимальное – на конец вегетации.

Увеличение концентрации каротиноидов под влиянием полиметаллического загрязнения может быть связано с их фоторецепторной и антиоксидантной функциями и может рассматриваться в качестве адаптационного механизма пигментного комплекса клена остролистного к техногенным воздействиям.

Таким образом, пигментный комплекс клена остролистного характеризуется повышенной устойчивостью к увеличению уровня промышленной нагрузки. Установлено, что под влиянием загрязнения происходят изменения в структуре пигментного фонда: увеличивается содержание пигментов хлорофилльного комплекса и концентрация каротиноидов. Отмечен факт увеличения синтеза хлорофилла под влиянием загрязнения. Адаптационный механизм подобных перестроек направлен на снижение деструктивного влия-

ния газообразных токсикантов на фотосинтетическую активность и может рассматриваться в качестве видоспецифической реакции данного вида к условиям техногенеза.

В заключение следует отметить, что пигментный комплекс клена остролистного характеризуется высокой чувствительностью к усилению загрязнения. Показателем этого является снижение концентрации хлорофилла и концентрации каротиноидов на территории Уфимского промышленного центра и увеличение на территории Стерлитамакского промышленного центра при усилении загрязнения.

Работа выполнена при поддержке Гранта «Адаптивный потенциал и устойчивость древесных растений в техногенных условиях» (Аналитическая ведомственная целевая программа Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы», регистрационный номер: 2.1.1/11330).

### Библиографический список

1. Беликов, П.С. Физиология растений / П.С. Беликов, Г.А. Дмитриева. – М.: РУДН, 1992. – 248 с.
2. Белоус, В.К. Фотосинтез древесных растений в условиях токсикации сернистым газом: Автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.К. Белоус. – М.: ИФР АН СССР, 1991. – 20 с.
3. Гетко, Н.В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата / Н.В. Гетко. – Минск.: Наука и техника, 1989. – 208 с.
4. Илькун, Г.М. Загрязнители атмосферы и растения / Г.М. Илькун. – Киев: Наукова думка, 1978. – 246 с.
5. Клейн, Р.М. Методы исследования растений / Р.М. Клейн, Д.Т. Клейн. – М.: Колос, 1974. – 527 с.
6. Мокроносов, А.Т. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма / А.Т. Мокроносов. – М.: Наука, 1983. – 64 с.
7. Сергейчик, С.А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде С.А. Сергейчик. – Минск: Наука і тэхніка, 1994. – 279 с.
8. Шлык, А.А. Биосинтез хлорофилла и формирование фотосинтетических систем А.А. Шлык // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. – М.: Наука, 1972. – С. 34–50.

## ПРОЦЕСС МИКОРИЗАЦИИ *PINUS SYLVESTRIS* L. В ОТВАЛЬНЫХ ПОЧВОГРУНТАХ КУМЕРТАУСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

Э.Р. РАДОСТЕВА, *асп. лаборатории лесоведения Института биологии УНЦ РАН,*  
Л.И. ФАИЗОВА, *асп. каф. биологии Елецкого ГУ им. И.А. Бунина,*  
Г.А. ЗАЙЦЕВ, *доц., гл. н. с. лаборатории лесоведения Института биологии УНЦ РАН,*  
*д-р биол. наук,*  
А.Ю. КУЛАГИН, *проф. зав. лабораторией лесоведения Института биологии УНЦ РАН,*  
*д-р биол. наук*

*elza\_85.85@mail.ru; faizka@mail.ru; forestry@mail.ru; coolagin@list.ru*

Среди техногенных ландшафтов наиболее опасными по степени отрицательного влияния на окружающую среду являются промышленные отвалы. Это обусловлено неблагоприятными физико-химическими свойствами субстратов и их фитотоксичностью [2]. На данных нарушенных открытыми горными работами территориях естественное восстановление почвенно-растительного покрова идет по пути первичной сукцессии. При освоении техногенных грунтов неблагоприятные внешние условия, с которыми сталкиваются растения, локализованы в большинстве случаев в подземной сфере. Целью данной работы

является изучение агрохимических параметров почвогрунтов и особенностей строения корневых систем сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза (КБР).

### Методика исследований

Для изучения техногенного влияния промышленных загрязнений на насаждения сосны был проведен отбор почвенных образцов на определение тяжелых металлов (ТМ); корней сосны обыкновенной для изучения процесса микоризации на постоянных и временных пробных площадях отвалов

**Результаты химических анализов почвогрунтов Кумертауского бурогольного разреза**

Глубина отбора образца, см	Гумус, %	рН, водный	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	N <sup>+</sup>	Сумма поглощенных оснований	NO <sub>3</sub> на 100 г подвижный	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> на 100 г подвижный	K <sub>2</sub> O на 100 г подвижный
			мг/экв на 100 г						
Почвогрунты отвалов, насаждения сосны									
0–20	3,0	5,8	11,9	3,24	4,23	22,4	0,6	2,6	18,95
Условный контроль, насаждения сосны									
0–20	11,5	4,6	16,8	5,52	11,7	42,8	4,25	4,5	23,4

бурогольного разреза. Выбор участков отбора проб проводился с учетом известных и общепринятых методических подходов [8]. Условным контролем служили сосновые насаждения, расположенные в 15 км от промышленных отвалов и 500 м от автодороги Уфа–Оренбург.

В лабораторных условиях были определены химические параметры почв: содержание гумуса (ГОСТ 26213–91), гидролитическая кислотность (ГОСТ 26212–91), рН, сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821–88) и их состав (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) (ГОСТ 26487–85), подвижный фосфор, калий, азот. Изучение содержания валовых форм ТМ в почвах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе Contr-AA (Analytik Jena AG, Germany) в центральной лаборатории Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК» [4]. Определение подвижных форм ТМ проводилось методом экстракции проб почв аммонийно-ацетатным буфером (ААБ) с рН 4,8 с использованием вольтамперометрического комплекса «СТА» (ООО «ЮМХ», Россия). Методика позволяет проводить определение металлов в одном растворе методом добавок. Для экотоксикологической оценки почв использовали предельно допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов по их валовым и подвижным формам [7].

При изучении анатомо-морфологической структуры всасывающих корней изучаемый материал предварительно фиксировали в этиловом спирте [1, 10]. Поперечные срезы (толщиной 10–15 мкм) поглощающих корней готовили на санном микротоме МС-2 (Точмедприбор, Россия) [3]. Постоянные и временные препараты просматривали на световом микроскопе исследовательского класса с реализацией ДИК-контраста «Axio Imager

A2» (Carl Zeiss Jena, Germany). Рассчитывали следующие параметры: наличие грибного чехла, общий радиус микоризного окончания (от середины центрального цилиндра до наружной кромки чехла), толщину грибного чехла, радиус корня растения в микоризном окончании, рассчитывали долю чехла в объеме микоризного окончания. Фиксировали корневые окончания, утерьявшие тургор, и наличие таниновых клеток в коре корня.

**Результаты и обсуждения**

Отвалы Кумертауского бурогольного разреза характеризуются большой неоднородностью состава отсыпных пород. Коренные породы представлены пермскими и третичными глинами, конгломератами, песчаниками, известняками, древнеаллювиальными песками и галечником [2]. Установлено (табл. 1), что почвогрунты под сосновыми насаждениями имеют сильноокислую среду, слабо обеспечены фосфором (2,6 мг/100 г), достаточно калием (18,95 мг/100 г), содержат минимальное количество подвижного азота (0,6 мг/100 г). Гидролитическая кислотность в верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах минимальна (4,23 мг/экв на 100 г), содержание гумуса составляет 3,0 %.

Почвы условного контроля относятся к черноземам выщелоченным [5], среда кислее, чем на отвалах. По результатам агрохимических показателей почвы в условиях относительного контроля характеризуются слабой обеспеченностью фосфором (5,5 мг/100 г), достаточно калием (23,4 мг/100 г), содержат значительное количество подвижного азота (4,25 мг/100 г) относительно результатов почвогрунтов промышленных отвалов. Гидролитическая кислотность – 11,7 мг/экв на 100 г почвы. Процесс аккумуляции гумуса в



**Содержание валовых и подвижных форм металлов (мг/кг)  
в почвогрунтах под насаждениями сосны**

Cu		Zn		Pb		Cd	
Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма
Кумертауский буроугольный разрез							
11,5±2,12	0,6±0,04	39,14±4,38	0,68±0,08	5,4±3,97	0,18±0,03	0,68±0,52	0,28±0,02
Условный контроль							
66,5±10,66	0,66±0,06	48,6±5,62	2,05±0,13	5,2±4,74	0,22±0,01	0,56±0,31	0,12±0,04
Значение ПДК							
23	2	85	23	32	6	1,5	0,24

зональных почвах выражен сильно (11,5 %). По содержанию  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  почвогрунты приближаются к зональным почвам. Выявлено, что отвальные грунты характеризуются достаточным количеством поглощенных оснований (табл. 1) и дефицитом некоторых микроэлементов (табл. 2).

В отвальном субстрате под сосновыми насаждениями содержание валовой формы меди составляет 11,5 мг/кг, что ниже значений ПДК для данного элемента в 2 раза. В условиях контроля обнаружено превышение ПДК для валовых форм меди в 2,8 раза. По содержанию доступных для растений форм меди установлено, что количество данного элемента в грунтах КБР и контроля значительно ниже нормы.

Согласно значениям ПДК для цинка и свинца концентрация валовых и подвижных форм данных металлов в изученных образцах находится в пределах допустимого. Однако отмечается дефицит доступных растениям форм цинка.

Содержание валовых форм кадмия в почвогрунтах ниже значений ПДК в 1,02 раза, но подвижные формы металла отмечаются на пороговом уровне (превышают значения ПДК в 1,2 раза).

Исследование процессов микоризации позволило установить следующие особенности. В условиях отвалов буроугольного разреза наблюдается увеличение общего радиуса микоризных окончаний сосны на 12–17 % – на 13–28 мкм по сравнению с контролем. Также отмечены различия значений среднего радиуса корня в эктомикоризе в условиях КБР, который равен 161,3±7 мкм, а в условиях

относительного контроля – 153,7±9 мкм, что также выше на 13 %. Установлены различия в толщине микоризного чехла. Средняя толщина грибного чехла у всех исследованных объектов возрастает на 18 %.

У большинства микориз сосны в условиях загрязнения в наружных слоях коры корня встречаются таниновые клетки, примерно у 24 % микориз клетки всех слоев коры корня потеряли тургор, а около 8 % – имеют на разрезе форму многолучевой звезды, то есть характеризуются глубокой потерей тургора клеток коры корня. Перечисленные структурные признаки указывают на старение микориз, их повреждение и отмирание [6]. Вполне вероятно, что поглощающая активность микориз с отмирающими клеточными элементами понижена. Можно предположить, что встречаемость таниновых клеток, потеря тургора и звездообразная на срезе форма диагностируют последовательные этапы снижения физиологической активности поглощающих корней.

Характеристикой, которая позволяет сравнить степень техногенной трансформации размеров собственно корня и грибного чехла, является доля чехла в общем объеме микоризного окончания. Этот показатель у сосны на отвалах КБР составляет 23,1 %, а в условиях контроля 22,1 %.

Следует отметить, что в условиях отвалов повышена интенсивность микоризации поглощающих корней. Так, если в контрольных условиях микоризовано 78 % всех поглощающих корней сосны, то в условиях промышленных отвалов – 83 %.

Данные изменения рассматриваются как адаптивные реакции, направленные на

обеспечение устойчивого роста и развития данного вида в условиях недостатка микроэлементов в почве.

Реакция подземной части деревьев разных категорий состояния на антропогенное воздействие исследована недостаточно. Известно, что промышленное загрязнение как сильное действующий экологический фактор может изменять уровень индивидуальной изменчивости растений, и амплитуда варьирования признака в неблагоприятных условиях увеличивается. Степень variability зависит от экстремальности воздействия, и с увеличением силы действия фактора возрастает средняя повреждаемость растений и одновременно уменьшается уровень изменчивости [6].

Исследование реакции микориз на техногенные воздействия представляет значительный теоретический и практический интерес, так как микоризы являются активной поглощающей частью корневой системы деревьев, и их повреждение рассматривается иногда в качестве одной из ведущих причин техногенно обусловленной деградации лесов [9].

Работа выполнена при поддержке гранта «Адаптивный потенциал и устойчивость древесных растений в техногенных условиях» (АВЦП Минобрнауки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы». Регистрационный номер: 2.1.1/11330).

### Библиографический список

1. Барыкина, Р.П. Практикум по анатомии растений / Р.П. Барыкина, Л.Н. Кострикова. – М.: Росвузиздат, 1963. – 184 с.
2. Баталов, А.А. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала / А.А. Баталов, Н.А. Мартыанов, А.Ю. Кулагин и др. – Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. – 140 с.
3. Згуровская, Л.Н. Анатомо-физиологическое исследование всасывающих ростовых и проводящих корней древесных пород / Л.Н. Згуровская // Тр. ин-та леса и древесины АН СССР. – 1958. – Т. 41. – Вып. 2. – С. 5–33.
4. Методика выполнения измерений массовых концентраций меди, цинка, кадмия и свинца в пробах почв методом атомно-абсорбционной спектроскопии. РД 52.18.685-2006.
5. Почвы Башкортостана. Т.1: Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика / Под ред. Ф.Х. Хазиева. – Уфа: Гилем, 1995. – 384 с.
6. Семенова, Л.А. Морфология микориз сосны обыкновенной в спелых лесах / Л.А. Семенова // Микоризные грибы и микоризы лесообразующих пород Севера. – Петрозаводск, 1980. – С. 103–132.
7. Система оценки степени деградации почв / В.В. Снакин и др. – Пушкино, 1992. – 19 с.
8. Сукачев, В.Н. Программа и методика биогеоценологических исследований / В.Н. Сукачев. – М.: Наука, 1966. – 333 с.
9. Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере / В.Т. Ярмишко. – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1997. – 210 с.
10. Яценко-Хмельевский, А.А. Краткий курс анатомии растений / А.А. Яценко-Хмельевский. – М.: Высшая школа, 1961. – 282 с.

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИТОТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ И ХРОМОСОМНЫЕ АБЕРРАЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЮЖНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ РФ

А.В. СКОК, доц. каф. садово-паркового и ландшафтного строительства БГИТА, канд. биол. наук,  
И.Н. ГЛАЗУН, доц. каф. садово-паркового и ландшафтного строительства БГИТА, канд.с.-х. наук,  
Е.Н. САМОШКИН, проф. каф. садово-паркового и ландшафтного строительства БГИТА,  
заслуженный деятель науки РФ, д-р биол. наук

*s.anna.v@mail.ru*

При хроническом облучении растений происходит накопление повреждений, т.е. кумулятивный эффект [1]. В зависимости от дозы повреждения бывают трех типов: физиологические (первичные), генные (точ-

ковые) мутации и хромосомные aberrации [6].

Для изучения влияния облучения на появление aberrаций хромосом в 2000, 2001, 2002 гг. был проведен анализ митозов

в корешках проростков сосны обыкновенной. Методика приготовления цитообразцов, анализ их под микроскопом описаны ранее [2].

Для каждого модельного дерева изготовлено и просмотрено 20 препаратов. На «временных» препаратах определяли общее количество просмотренных клеток, в т.ч. делящихся; клеток с анафазами; анафаз с нарушениями и их типы: хромосомные aberrации (мосты и фрагменты), нарушения клеточных делений (выход хромосом вперед, их отставание, одновременно выход и отставание).

Определяли митотический индекс (МИ) как количество делящихся клеток от их общего количества (%), относительную продолжительность фаз митоза как количество клеток в определенной фазе от количества делящихся [3].

МИ и патологические митозы (ПМ) включены в шкалу критериев цитогенетического мониторинга, количество ПМ отражает степень влияния ионизирующего излучения и помогает фиксировать его интегральный эффект [4].

Наши исследования проводились на территории хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Заложено 6 пробных площадей (ПП), на каждой находится 15 модельных деревьев. Ежегодно на постоянных реперных точках (не менее 5 на каждой ПП) в пятикратной повторности проводили измерения мощности экспозиционной дозы (МЭД) на высоте 1 м от поверхности земли и на почве дозиметром ДРГ – 01Т с точностью до 1,0 мкР/ч. Из полученных значений вычисляли среднее МЭД для каждой ПП.

ПП расположены на территории с разным уровнем радиоактивного загрязнения: в зоне отчуждения – Красногорское лесничество, ПЗП свыше 80 Ки/км<sup>2</sup>, кв.4, ПП№ 31, МЭД = 758,1 мкР/ч; ПЗП – 40...80 Ки/км<sup>2</sup>, кв.21, ПП№ 35, МЭД = 260,1 мкР/ч; в зоне проживания с правом на отселение – ПЗП – 5,1 ... 15 Ки/км<sup>2</sup> – Красногорское лесничество кв.16, ПП №36, МЭД = 222,0 мкР/ч, ПП №37, МЭД = 172,3 мкР/ч, кв. 14, ПП №32, МЭД = 51,4 мкР/ч и в относительно чистой зоне (ПЗП – менее 1 Ки/км<sup>2</sup>) – опытное лесничество Брянской

государственной инженерно-технологической академии (кв.75, ПП№ 15, МЭД = 12 мкР/ч – контроль).

Были вычислены [5]  $M \pm m_x$ , достоверность различия  $M \pm m_x$  оценивали по  $t$  критерию Стьюдента с учетом трех доверительных уровней ( $P = 95; 99; 99,9 \%$ ).

Анализ показал, что в 2000 г. МИ в корешках проростков при максимальной МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч достоверно (на 1,63 %) уменьшен по сравнению с контролем (7,15 ± 0,780 %,  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0 \%$ ), при МЭД = 260,1 ± 6,01 мкР/ч – незначительно, только на 0,27 % ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ). Однако в опыте с МЭД = 51,4 ± 1,98 мкР/ч достоверно увеличен (на 2,21 %) МИ в сравнении с максимальной МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0 \%$ ), но незначимо (на 0,59 %) – с контролем ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ). Интересно, что МИ при МЭД = 260,1 ± 6,01 и МЭД = 51,4 ± 1,98 мкР/ч существенно не отличался, хотя МЭД разнится в 5 раз.

Количество клеток в стадии профазы варьирует на уровне контроля:  $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ .

При максимальной МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч больше (на 3,18 %), чем в контроле (33,80 ± 0,312 %), количество клеток в стадии метафазы ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0 \%$ ). Количество клеток в стадии метафазы при МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч существенно выше (на 4,9 %), чем при МЭД = 260,1 ± 6,01 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0 \%$ ).

С увеличением МЭД уменьшается в сравнении с контролем (35,96 ± 0,440 %) количество клеток в стадии анафазы: недостоверно (на 0,8 %) при МЭД = 51,4 ± 1,98 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ), существенно (на 3,19 %) при МЭД = 260,1 ± 6,01 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0 \%$ ). На 7,33 % меньше количество клеток с анафазами при МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч в сравнении с МЭД = 260,1 ± 6,01 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0 \%$ ) и на 9,72 % – с МЭД = 51,4 ± 1,98 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ).

Количество клеток в стадии телофазы значимо увеличено по сравнению с контролем (10,76 ± 2,270 %) при МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч (на 8,66 %), при МЭД = 260,1 ± 6,01 мкР/ч (на 2,57 %) и при МЭД = 51,4 ± 1,98 мкР/ч (на 7,07 %):  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0 \%$ . Существенно (на 6,09 %) увеличено количест-

во клеток с телофазами в опыте с МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч в сравнении с МЭД = 260,1 ± 6,01 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 95,0 %).

С ростом МЭД растет количество ПМ: наибольшее (37,04 %) – при максимальной МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч, наименьшее (15,82 %) – при МЭД = 51,4 ± 1,98 мкР/ч. Любопытно, что в контроле количество ПМ (19,3 %) выше (на 3,5 %), чем в опыте с МЭД = 51,4 ± 1,98 мкР/ч, что связано, видимо, с влиянием других экологических, в частности климатических, факторов.

Количество анафаз с мостами росло с увеличением МЭД: наибольшее (6,16 %) – при МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч, меньше (4,68 %) – при МЭД = 260,1 ± 6,01 мкР/ч, самое малое (1,35 %) – при МЭД = 51,4 ± 1,98 мкР/ч, что даже ниже, чем в контроле (2,59 %).

Количество анафаз с фрагментами и выходом хромосом вперед достоверно не отличалось от контроля. В опыте с МЭД = 51,4 ± 1,98 мкР/ч анафазы с фрагментами не обнаружены.

С ростом МЭД существенно увеличивалось (от 4,66 % до 7,56 %) по сравнению с контролем (2,12 %) количество анафаз с отставанием хромосом ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 99,9 %).

Количество анафаз с одновременным выходом и отставанием хромосом при МЭД = 260,1 ± 6,01 мкР/ч увеличено по сравнению с контролем в 2 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 99,0 %), при МЭД = 758,1 ± 23,49 мкР/ч – в 3,5 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 99,9 %).

В 2000 г. в целом с увеличением МЭД закономерно уменьшается митотическая активность (МИ) и количество клеток в стадии анафазы, а количество клеток в стадии телофазы и метафазы (при самой высокой МЭД), наоборот, увеличивается. Растет количество ПМ, анафаз с мостами, с отставанием, а также с одновременным выходом и отставанием хромосом. Радиационное загрязнение уменьшает количество делящихся клеток, увеличивает количество ПМ и изменяет продолжительность отдельных фаз митоза.

В 2001 г. МИ в корешках проростков увеличивался от минимума (в контроле – 6,65 ± 0,088 %) до максимума (8,51 ± 0,632 %) при МЭД = 239,7 ± 28,54 мкР/ч, т.е. доля делящихся

клеток увеличена, тогда как в 2000 г. она была уменьшена. МИ существенно превышал (на 1,86 %) контроль при МЭД = 239,7 ± 28,54 мкР/ч, МЭД = 222,0 ± 8,5 мкР/ч (на 1,76 %) и МЭД = 172,3 ± 12,90 мкР/ч (на 1,15 %):  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 95,0 %.

С ростом МЭД увеличивалось в сравнении с контролем (12,77 ± 0,837 %) количество клеток в профазе: при МЭД = 222,0 ± 8,5 мкР/ч – в 2 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 99,9 %). Однако при МЭД = 239,7 ± 28,54 мкР/ч, самой высокой МЭД = 685,5 ± 33,77 мкР/ч и самой низкой МЭД = 41,8 ± 2,01 мкР/ч различие с контролем несущественно. В 2 раза выше количество анафаз с профазами при МЭД = 222,0 ± 8,5 мкР/ч в сравнении с МЭД = 41,8 ± 2,01 мкР/ч (P = 99,9 %). Существенно увеличено (P = 95 %) количество клеток с профазами в опыте с МЭД = 222,0 ± 8,5 мкР/ч в сравнении с МЭД = 685,5 ± 33,77 мкР/ч (на 10,2 %) и с МЭД = 239,7 ± 28,54 мкР/ч (на 13,23 %).

Не отмечено существенного влияния МЭД на количество клеток в стадии метафазы, кроме максимального фона (МЭД = 685,5 ± 33,77 мкР/ч), где этот показатель увеличен (на 6,26 %) в сравнении с контролем – 34,60 ± 1,681 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 95,0 %).

Увеличение радиационного фона уменьшило количество клеток с анафазами: в контроле – 39,00 ± 0,23 %, при МЭД = 222,0 ± 8,5 мкР/ч – 27,34 ± 2,50 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 99 %). Достоверно уменьшено (на 7,54 %) по сравнению с контролем количество клеток с анафазами при МЭД = 685,5 ± 33,77 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 99,9 %) и на 4,81 % при МЭД = 41,8 ± 2,01 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 99,0 %). Количество клеток с анафазами существенно выше (на 6,85 %) в опыте с МЭД = 41,8 ± 2,01 мкР/ч в сравнении с МЭД = 222,0 ± 8,5 мкР/ч, на 4,33 % в опыте с МЭД = 239,7 ± 28,54 мкР/ч и на 8,45 % в опыте с МЭД = 222,0 ± 8,5 мкР/ч в сравнении с МЭД = 685,5 ± 33,77 мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , P = 95,0 %).

Радиационный фон не оказал достоверного влияния на количество клеток в стадии телофазы.

Любопытно, что количество ПМ в сравнении с контролем (10,81 %) снижено при самых высоких МЭД: 685,5 ± 33,77 мкР/ч (до 7,83 %) и 239,7 ± 28,54 мкР/ч (до 7,12 %).

Количество анафаз с мостами при увеличении МЭД растет, хотя и нечетко: наибольшее количество (на 2,7 % выше контроля) при МЭД =  $172,3 \pm 12,90$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95$  %).

Фрагменты наблюдались единично и только при МЭД =  $239,7 \pm 28,54$  мкР/ч.

Существенно уменьшено (на 4,0 %) по сравнению с контролем (6,63 %) количество клеток с выходом хромосом вперед при МЭД =  $239,7 \pm 28,54$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0$  %).

Количество клеток с отставанием хромосом достоверно увеличено ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95$  %) на 0,99 % при МЭД =  $41,8 \pm 2,01$  мкР/ч и на 0,95 % при МЭД =  $172,3 \pm 12,90$  мкР/ч по сравнению с контролем ( $1,73 \pm 0,17$  %); при МЭД =  $41,8 \pm 2,01$  мкР/ч – на 2,63 % в сравнении с МЭД =  $685,5 \pm 33,77$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %) и на 1,85 % при МЭД =  $239,7 \pm 28,54$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0$  %).

По сравнению с контролем ( $1,60 \pm 0,142$  %) существенно уменьшено количество клеток с одновременным выходом и отставанием хромосом при МЭД =  $172,3 \pm 12,90$  мкР/ч на 1,11 % и на 1,37 % при МЭД =  $222,0 \pm 8,5$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95$  %).

Следовательно, под влиянием радиоактивного загрязнения в 2001 г. увеличена доля делящихся клеток (в 2000 г. – уменьшена), возросла продолжительность профазы, метафазы (при самой высокой МЭД), количество анафаз с мостами, с отставанием хромосом (при низких МЭД); уменьшено количество клеток в стадии анафазы, количество ПМ; отмечены единичные фрагменты (только при МЭД =  $239,7 \pm 28,34$  мкР/ч), при МЭД =  $685,5 \pm 33,7$  и  $239,7 \pm 28,54$  мкР/ч уменьшено количество анафаз с выходом хромосом вперед.

В 2002 г. действие излучения существенно увеличило по сравнению с контролем ( $6,64 \pm 0,439$  %) митотическую активность клеток (МИ): на 1,92 % – при МЭД =  $204,3 \pm 6,52$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0$  %), на 1,89 % – при МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч, на 1,43 % – при МЭД =  $239,1 \pm 8,94$  мкР/ч и на 1,45 % – при МЭД =  $40,3 \pm 0,68$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0$  %).

Количество клеток в стадии профазы значимо превышает контроль (13,44 %) на 5,73 % – при МЭД =  $239,1 \pm 8,94$  мкР/ч

и на 6,47 % – при МЭД =  $204,1 \pm 6,52$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0$  %).

Не отмечено существенного влияния излучения на продолжительность метафазы и анафазы.

Если продолжительность профазы растет при увеличении излучения, то телофазы, наоборот, уменьшается, кроме варианта с самой высокой МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч, где она на уровне контроля. В контроле количество клеток в стадии телофазы максимально (18,42 %), но уменьшено на 7,23 % при МЭД =  $204,3 \pm 6,52$  мкР/ч, на 6,67 % при МЭД =  $239,1 \pm 8,94$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0$  %) и на 6,28 % при МЭД =  $40,3 \pm 0,67$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0$  %). В опыте с МЭД =  $192,5 \pm 4,21$  мкР/ч на 3,88 % больше количество клеток в стадии телофазы чем при МЭД =  $239,1 \pm 8,94$  мкР/ч и на 4,44 % – чем при МЭД =  $204,3 \pm 6,52$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0$  %). При максимальной МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч количество клеток в стадии телофазы достоверно выше (на 5,94 %), чем при минимальной МЭД =  $40,3 \pm 0,67$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0$  %). При максимальной МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч увеличена относительная продолжительность телофазы в сравнении с МЭД =  $204,3 \pm 6,52$  мкР/ч на 6,89 % и с МЭД =  $239,1 \pm 8,94$  мкР/ч на 6,33 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0$  %).

С ростом МЭД увеличивается число ПМ: наибольшее (13,42 %) – при максимальной МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч, минимальное (4,89 %) – в контроле.

Закономерно растет количество анафаз с мостами (в контроле они не обнаружены): при МЭД =  $40,3 \pm 0,67$  мкР/ч (минимальное значение) – 0,2 %, при МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч (максимальное) – 2,61 %. При высоких МЭД ( $643,7 \pm 19,26$ ;  $239,1 \pm 8,94$ ;  $204,3 \pm 6,52$  мкР/ч) существенно увеличено ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0$  %) количество анафаз с мостами в сравнении с минимальной МЭД =  $40,3 \pm 0,67$  мкР/ч, однако их больше на 1,87 % при МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч, чем при МЭД =  $192,5 \pm 4,21$  мкР/ч, и на 0,97 %, чем при МЭД =  $239,1 \pm 8,94$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0$  %).

Фрагменты наблюдались в небольшом количестве и только при МЭД =  $239,1 \pm 8,94$  мкР/ч (0,03 %) и МЭД =  $204,3 \pm$

$\pm 6,52$  мкР/ч (0,17 %), в контроле они отсутствуют.

Количество анафаз с выходом хромосом вперед больше, чем в контроле ( $3,66 \pm 0,731$  %): при максимальной МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч на 2,37 %, при МЭД =  $239,1 \pm 8,94$  мкР/ч на 3,30 % и при МЭД =  $204,3 \pm 6,52$  мкР/ч на 1,27 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0$  %).

С ростом МЭД количество анафаз с отставанием хромосом в сравнении с контролем закономерно увеличивалось: на 1,69 % при МЭД =  $239,1 \pm 8,94$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0$  %), на 2,09 % при МЭД =  $643,7 \pm 6,52$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %).

С увеличением радиационного фона растет количество анафаз с одновременным выходом и отставанием хромосом: наибольшее (1,93 %) – при максимальной МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч, наименьшее (0,47 %) – в контроле. Количество анафаз с таким нарушением существенно выше контроля (на 1,47 %) при МЭД =  $643,7 \pm 19,26$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0$  %) и (на 1,16 %) – при МЭД =  $204,3 \pm 6,52$  мкР/ч ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %).

Результаты эксперимента 2002 г. показали, что с увеличением МЭД растет митотическая активность клеток, количество клеток в стадии профазы, число анафаз с мостами, с выходом хромосом (при самой высокой МЭД), с отставанием и одновременным выходом и отставанием, но в стадии телофазы уменьшается, кроме варианта с самой высокой МЭД. Радиационный фон не изменил существенно продолжительность метафазы и

анафазы, в небольшом количестве отмечены анафазы с фрагментами.

Таким образом, анализ результатов 2000–2002 гг. в целом свидетельствует о том, что сосновые насаждения активно реагируют на ионизирующее загрязнение, однако в отдельные годы влияние различно, что, видимо, связано с климатическими особенностями вегетационных периодов.

### Библиографический список

1. Глазун, И.Н. Мониторинг за репродуктивной способностью хвойных растений в условиях хронического облучения ионизирующей радиацией в Брянской области / И.Н. Глазун, Е.Н. Самошкин // Регион. и муницип. проблемы устойчивого развития территорий: материалы науч.-практич. конф. (Москва, 16 мая 2006 г.). – М., 2007. – С. 105–113.
2. Глазун, И.Н. Влияние хронического ионизирующего излучения на продолжительность фаз митоза и хромосомные нарушения сосны обыкновенной / И.Н. Глазун, Е.Н. Самошкин, А.В. Скок. – Лесной журнал. – 2006. – № 2. – С. 7.
3. Паушева, З.П. Практикум по цитологии растений / З.П. Паушева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.
4. Буторина, А.К. Изучение цитогенетических показателей у березы повислой в условиях антропогенной нагрузки / А.К. Буторина, Т.В. Вострикова // Интеграция науки и высшего лесотехнического образования по управлению качеством леса и лесной продукции: материалы междунар. науч.-практич. конф. (Воронеж, 25-27 сент. 2001г.). – Воронеж, 2001. – С. 78–92.
5. Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1990. – С. 24.
6. Gaul, A. Mutationen in der Pflanzenzucht / A. Gaul // Ztschr. Pflanzenzucht. – 1963. – Bd. 5–8. – S. 194–307.

## НАНОТЕХНОЛОГИИ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В.Д. БУРКОВ, *проф. каф ИИС и ТП МГУЛ, д-р техн. наук,*  
 В.Ф. КРАПИВИН, *проф. каф ИИС и ТП МГУЛ, д-р физ.-мат. наук,*  
 В.Ю. СОЛДАТОВ, *асп. каф ИИС и ТП МГУЛ,*  
 В.С. ШАЛАЕВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук*

*burkov@mgul.ac.ru*

Начало 21-го столетия можно охарактеризовать как период бурного развития нанотехнологий и их применения в различных областях деятельности: медицине, транспорте, сельском

хозяйстве, энергетике, производстве различных материалов, системах связи и информационных технологиях. Конечно, это в первую очередь относится к развитым государствам, где

нанотехнологическая наука и промышленность являются незаменимым атрибутом общества, перешагнувшего барьер между индустриальной и постиндустриальной фазами развития [5, 11, 12]. Тем не менее, многие азиатские регионы также интенсивно развиваются, заботясь о сохранении природной среды. Эта озабоченность была озвучена на первой международной конференции по применению нанотехнологий в охране окружающей среды тихоокеанского региона, которая состоялась в 2005 г. в Бангкоке (Таиланд) [15].

И если в последние годы речь шла о создании технологий защиты окружающей природной среды от загрязнения в традиционном понимании этого термина, то сейчас идет речь о появлении совершенного нового понимания этой проблемы, а именно о защите от нанозагрязнений. Другими словами, развитие нанотехнологий требует создания защитных средств от загрязнения почвы, воздуха и гидросферы совершенно нового поколения. Ведь существующие очистные сооружения не могут защитить окружающую природную среду от нанозагрязнений.

Экологический мониторинг в ближайшем будущем ждут большие перемены, которые в первую очередь потребуют:

- разработать эффективные методы обнаружения наночастиц в природных средах (воде, воздухе и почве);
- развить методики определения токсичности наночастиц;
- создать фильтры и системы очистки воды от наночастиц;
- развить методы оценки риска от применения нанотехнологий.

Организация мониторинга окружающей среды в условиях применения наночастиц невозможна без изучения путей их миграции в пространстве и понимания законов формирования из них наноструктур. Известно [5], что миллионы молекул содержат атомы углерода. Поэтому развитие нанотехнологий в первую очередь сопровождается изучением свойств атомов углерода. Есть три обстоятельства, без понимания которых невозможно проследить пути миграции наноматериалов в окружающем пространстве.

– Связь атомов углерода с другими типами атомов реализуется за счет ковалентной связи. При этом формируются молекулы со свойствами, характерными для других атомов.

– Каждый атом углерода может формировать ковалентные связи с четырьмя другими атомами одновременно. Эта особенность атома углерода позволяет образовывать цепочку углеродных атомов и соответственно обеспечивать получение наноматериалов с широким спектром свойств.

– Нет других элементов в периодической таблице Менделеева, которые так надежно связывались бы между собой в цепочки различной длины. При этом короткие цепочки атомов углерода являются характерными для газа, например пропана. Длинные цепочки атомов углерода входят в твердые вещества. Образование же двух- и трехмерных решеток из атомов углерода соответствует, например, алмазу.

### **Преимущества нанотехнологий при мониторинге окружающей среды**

В первую очередь необходимо отметить те положительные эффекты, которые могут возникать при применении нанотехнологий, если оценивать качество окружающей природной среды. Согласно [9], можно выделить следующие области деятельности человека, где применение нанотехнологий может решить некоторые проблемы охраны окружающей среды:

- распознавание и обнаружение химических веществ в воде и воздухе;
- корректировка и обработка природных сред в условиях их загрязнения;
- предотвращение загрязнения природной среды.

Использование материалов наноразмеров в системах мониторинга окружающей среды связано с созданием сенсоров газа и ферментов, иммуносенсоров и геносенсоров, различных каталитических биосенсоров и сенсоров биологической схожести.

Определенный успех уже достигнут при решении задач повышения эффективности мониторинга атмосферного воздуха и водных систем. Например, твердотельные

сенсоры газа, основанные на тонких пленках нанокристаллического оксида металлов, по сравнению с обычными методами хемилюминесценции или ультракрасной спектроскопии обеспечивают высокое разрешение по элементам и увеличивают оперативность измерений. Твердотельные сенсоры газа традиционно изготавливаются из оксидов металлов, таких как олово, цинк, алюминий и др. При этом используются пленки толщиной менее 100 нм, что обеспечивает высокую чувствительность, улучшенную избирательность и сокращенное время отклика сенсора. Это преимущество достигается за счет того, что твердотельные сенсоры из нанопленок имеют на поверхности более активные области, способные поглощать больше молекул газа. За счет этого повышается возможность идентифицировать состав газа с большей надежностью.

Согласно [6], большие перспективы заложены в применении методов акустической спектроскопии при диагностике полидисперсных систем. В частности, использование акустической спектроскопии позволяет достичь точности в 2 % при определении наличия наночастиц оксидов металлов (200–700 нм) в жидкой среде.

Особое значение приобретает применение нанотехнологий в решении задач экологического мониторинга водных систем. В 2000 г. в Европе был принят новый стандарт точности измерения содержания химических веществ в воде на уровне единиц мкг/л. Для достижения этой цели в университете Tübingen и в технологическом Центре водных ресурсов в Karlsruhe была создана система AWACSS (Automated Water Analyzer Computer Supported System), которая может примерно за 18 мин тестировать 32 различных химических вещества с точностью 1 мкг/л [16]. Система работает на основе использования TIRF (Total Internal Reflection Fluorescence) технологии [17].

Другим важным направлением применения нанотехнологий в решении задач охраны окружающей среды является использование наноматериалов для очистки воздуха и воды от загрязнения. Например, наноразмерные частицы нульвалентного железа могут эффективно выводить из водных растворов

тяжелые металлы, пестициды, хлорированные органические растворители, летучие органические компоненты и т.п. Особое значение приобретает технология наночистоты воды и воздуха с помощью наномембран. Сейчас широко распространены наномембраны на основе углеродных нанотрубок или нанокapиллярных матриц. Они могут иметь две функции по выведению загрязнителя из среды: механическим путем или химической активностью. Химически активные наномембраны превращают загрязнитель в побочный продукт, который не обладает ингибирующим свойством. О темпах развития этого направления можно судить на основе прогнозируемого производства нанотрубок с 3 млрд \$ в 2009 г. до 13 млрд. в 2014 г.

Загрязнение окружающей среды в значительной мере связано с производством и использованием энергии. Нанотехнологии вносят в эти процессы ряд аспектов, обеспечивающих повышение эффективности энергетических ресурсов за счет более точного контроля температурных параметров и создания энергоемких осветительных устройств, а также путем создания более легких и прочных материалов для автомобильной промышленности. Среди этих материалов в последнее время появились сверхпрочные и химически стойкие нанопластики или нанокристаллическая керамика, для производства которых применяются цирконий, нитрид кремния и карбид кремния.

Особое внимание уделяется производству солнечных фотогальванических устройств на основе наноматериалов. Здесь применяются комбинированные кристаллические и некристаллические нанопленки солнечных элементов, изготавливаемые с использованием теллурида кадмия, полимеров и органических активированных красителей [3]. Например, на основе сульфида и теллурида кадмия были получены гибкие солнечные элементы с эффективностью 11,4 %.

#### **Современные наноматериалы для мониторинга окружающей среды**

В применении современных наноматериалов для природного мониторинга можно указать на два направления:



**Примеры современных наноматериалов для использования в системах природного мониторинга**

Наноматериалы	Тип	Свойства	Потенциальное применение
Углеродные нанотрубки	Одно- и многооболочковые с различными диаметрами и длинами	Электрокаталитическая активность, высокая абсорбирующая способность	Сорбирующие вещества, различные типы химических и биологических сенсоров
Металлические наночастицы	Au, Ag различных форм и размерностей	Электрокаталитическая активность, Ag имеет антибактериальную активность	Сорбенты, различные типы химических и биологических сенсоров
Оксид магнитного железа	$Fe_2O_3$ , $Fe_3O_4$ , $Fe_3S_4$ , $MeO-Fe_2O_3$ , где M = Ni, Co, Zn и др.	Суперпарамагнетизм, каталитический участок для $H_2O_2$	Иммуномагнитическое разделение и сгущение веществ
Оксиды полупроводниковых металлов	$TiO_2$ , ZnO, $ZrO_2$ , $CtO_2$	Фотокаталитическая, антибактериальная и электрокаталитическая активность	Фотокаталитическое тестирование вредных газов и биотестирование
Квантовые точки	Неорганические флуорофоры с интенсивным изменением размеров и состава	Фотолюминесценция, высокая сорбирующая способность, биологическая совместимость с ферментами, DNA и Ab.	Обнаружение изменений в интенсивности фотолюминесценции
Синтетические полимеры	Сверхразветвленные наноструктуры с различной длиной и ветвями наноразмеров	Большая площадь поверхности с функционализированными конечными группами, высокая сорбирующая способность	Сенсоры и микроматрицы DNA, построение фильтров для очистки воды

– корректирующие функции и обработка, в которых наноматериалы действуют как абсорбенты или разрушители загрязняющих природную среду химических веществ;  
 – элементы устройств, которые осуществляют обнаружение и идентификацию загрязнителей окружающей среды.

Наночастицы и наноструктуры имеют размеры менее 100 нм и это обеспечивает им особые свойства по сравнению с традиционными материалами. К современным наноматериалам относятся металлические, полупроводниковые и керамические наночастицы, нанопроводники, нанотрубки и нановетви, а также их композиции. Уникальность этих материалов определяется их механическими, электрическими, оптическими, каталитическими, магнитными и фотонными свойствами, а также экстремально высокой площадью поверхности.

Табл. 1 суммирует наиболее значимые современные наноматериалы и наноструктуры с указанием их характеристик и потенциального применения в области природного мониторинга. В частности, УНТ делятся на два типа:

- одностенные углеродные нанотрубки диаметром примерно 1,5 нм;
- многостенные углеродные трубки с 2–30 концентрическими слоями графита диаметром 3–50 нм.

Металлические наночастицы из золота, серебра и железа составляют одно из наиболее важных направлений нанотехнологии вследствие их электронных, оптических, каталитических и термальных свойств. В частности, на их основе создаются электрохимические DNA сенсоры, позволяющие обнаруживать ртуть в почве, воде и рыбе с высокой точностью. Магнитные наночастицы оксида железа используются в системах мониторинга, обеспечивая им функции обнаружения загрязнителей воды и воздуха. Оксиды металлов, такие как двуокись титана, широко используются в сенсорах для обнаружения пестицидов, органических красителей и фенолов в воде, а также метана, окислов азота и углерода в воздухе.

Нанокпозиционные материалы, комбинируемые из материалов нанометрового размера (например углеродные трубки, металлические наночастицы) с золь-гель полимерами или другими компоновщиками,

**Биосенсоры и области их практического применения [13]**

Фермент	Индикаторный электрод	Определяемое вещество	Область применения
Уреаза	Аммонийный, газочувствительный CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>	Мочевина (субстрат), фториды, тяжелые металлы	Клиническая диагностика, экология
Пенициллиназа	pH-метрический	Пенициллин	Фармацевтическая промышленность
Оксидаза L-аминокислот	Аммонийный	L-аминокислоты: цистеин, лейцин, тирозин, триптофан, фенилаланин, метионин и другие	Пищевая промышленность, производство биопрепаратов, санитарная экспертиза и др.
Оксидаза D-аминокислот	Аммонийный, газочувствительный NH <sub>3</sub>	D-аминокислоты: фенилаланин, тирозин, метионин, лейцин, триптофан и другие	Клинический анализ, производство биохимических препаратов, пищевая промышленность
Моноаминоксидаза	Газочувствительный NH <sub>3</sub>	Биогенные амины: серотонин, тирамин, адреналин, триптамин, норадреналин, бензил-амин; производные бензимидазолов, гидразина, акридинны, атропин, метацин и др.	Клиническая диагностика, фармацевтическая и пищевая промышленность, санэкспертиза, сельское хозяйство
Ацетил-, бутирил- холинэстераза	pH-метрический, редоксимметрический, газочувствительный CO <sub>2</sub>	Субстраты – холиновые и тиохолиновые эфиры уксусной, пропионовой и масляной кислот; атропин, эзерин, прозерин, пестициды антихолинэстеразного действия, ионы металлов	Химико-токсикологический анализ, сельское хозяйство, ветеринария
Аспарагиназа	Аммонийный	Аспарагин	Медицина, производство биопрепаратов, пищевая промышленность
Глюкозооксидаза	Иодидный, pH-метрический	Глюкоза	Медицина
Нитритредуктаза	Аммонийный	Нитриты	Сельское хозяйство, токсикология, экология, ветеринария, санэкспертиза
Нитратредуктаза	Газочувствительный NH <sub>3</sub>	Нитраты	Сельское хозяйство, токсикология, экология, ветеринария, санэкспертиза
Креатиназа	Газочувствительный NH <sub>3</sub>	Креатинин	Клинический анализ, производство биопрепаратов

позволяют решать специфические задачи мониторинга. В частности, такие материалы могут выступать в роли сорбентов ароматических компонент, фильтров для очистки воды и применяться в виде биодатчиков. Нанопористые сорбенты типа цеолитов с высокоупорядоченной структурой алюминия, кремния и кислорода обладают перестраиваемым ионным обменом и имеют гидрофобные или органотфильные поглощающие свойства.

Объекты с квантовыми свойствами в виде коллоидных неорганических нанокристаллических флуорофоров с уникальными фотофизическими характеристиками используются как сенсоры ионов металлов, пестицидов, фенолов и взрывчатых веществ.

Древовидные полимерные наноструктуры с различным числом ветвей и различными длинами широко применяются при создании наночувствительных фильтров для выведения органических загрязнителей из многих сред.

Ферментные сенсоры имеют широкую область применения в медицинских и биологических исследованиях, сельском хозяйстве и ветеринарии, экологии, пищевой промышленности и т.д. С помощью ферментных электродов диагностируются лекарственные препараты и их метаболиты, пестициды, тяжелые металлы, биогенные амины и другие жизненно важные биологически активные вещества. Табл. 2 дает краткую характеристику применяемых биосенсоров (биоэлектродов).

Некоторые из перечисленных в табл. 2 ферментных электродов выпускаются для продажи и используются для определения мочевины, креатинина, аминокислот, спиртов, глюкозы и некоторых других веществ в многокомпонентных растворах. Свойство предметной избирательности ферментных электродов является их преимуществом по сравнению с большинством распространенных методов диагностики растворов. Особенно важны биосенсоры на основе ферментных электродов при диагностике экологических систем с целью выявления присутствия в них определенного класса химических соединений. Такие биосенсоры могут работать в режиме реального времени. Примером такого биосенсора можно назвать ферментный электрод, разработанный во Франции [7,8] на основе ацетилхолинэстеразы. Он способен автономно фиксировать до десяти показателей качества вод, определяя 0.003 мг этилпараоксона, 0.005 мг метилпараоксона, 0.004 мг малатиона, 0.014 мг этилпратиона и метилпратиона и другие антихолинэстеразного действия вещества. Измерениям не мешает минерализация вод на уровне не более 0.1 моль/л хлорида калия. Предусмотрена реактивация ацетилхолинэстеразы после действия необратимых ингибиторов растворами оксимов. В частности, фирма *Compagnie Generale des Eaux* (Франция) использует этот сенсор для качественного контроля водопроводной воды в Париже. Вообще биосенсоры широко используются в пищевой промышленности и медицине [10, 14].

Широкое распространение получили оптические наносенсоры [1, 2], используемые для контроля биологических процессов, анализа эффективности лекарственных средств и мониторинга окружающей среды. Они позволяют с высокой чувствительностью и разрешением обнаруживать и количественно оценивать химические и биологически активные вещества. В настоящее время разработаны несколько конструкций биосенсоров, из которых можно выделить:

- основанные на использовании плазмонного резонанса;
- так называемое «оптическое резонансное зеркало».

В обоих случаях детектирование межмолекулярного взаимодействия основано на регистрации изменения показателя преломления среды при образовании комплекса белка, иммобилизованного на резонансном слое измерительной кюветы с его партнером, и очень высокой чувствительностью за счет использования резонансных эффектов.

### **Экологическая опасность нанотехнологий**

Основная идея нанотехнологии состоит в том, что производство нанопродуктов осуществляется из деталей, размеры которых находятся на атомном уровне. Опасность наноматериалов заключается в их микроскопических размерах, что в современных условиях приводит ко многим эффектам:

- химические свойства «нановещества» могут в значительной степени меняться из-за проявлений квантовых эффектов, что в итоге может сделать безопасное вещество очень опасным;

- в силу малых размеров наночастицы могут свободно проходить сквозь клеточные мембраны в живых организмах, повреждая клеточные органеллы и нарушая работу клеток;

- процессы переноса наночастиц в окружающей среде с воздушными и водными потоками, их накопления в почве, донных отложениях могут значительно отличаться от поведения частиц веществ более крупного размера;

- многие наноматериалы обладают гидрофобными свойствами или являются электрически заряженными, что усиливает процессы адсорбции на них различных токсиантов и способность последних проникать через барьеры организма;

- неизвестно, смогут ли защитные системы организма человека распознавать наночастицы и выводить их из организма, а следовательно, возможно их накопление.

Наноматериалы применяются во многих сферах человеческой жизни, включая их использование при производстве, например различных кремов в парфюмерии. Нанесение таких кремов на кожу может вызвать проникновение наночастиц в кровь человека с непредсказуемыми последствиями для

здоровья. Среди известных эффектов отрицательного характера можно отметить:

– распыление нанотрубок в атмосфере приводит к их попаданию в легкие и последующему распространению через кровь по всему организму;

– поступление нанотрубок в водную среду вызывает распространение нановолокон по пищевым цепям и гибель живых организмов;

– попадание нанотрубок в питьевую воду не могут предотвратить даже новейшие современные очистители питьевой воды;

Применение наночастиц без развития новой инфраструктуры, например обработки сточных вод, может вызвать непредсказуемые последствия из-за быстрого распространения наноматериалов в водоемах. К сожалению, имеется множество примеров, когда опасности такого рода становятся реальностью. Например, в США изобретена наноткань для борьбы с нефтяными разливами. Но ведь очевидно, что при ее применении неизбежны повреждения этой ткани и попадание нановолокон в водную среду. Другими словами, наряду с использованием термина нанозагрязнения должно развиваться совершенно новое направление наноэкологии. Уже сейчас необходимо разрабатывать эффективные методы обнаружения наночастиц в природных средах (воде, воздухе и почве), разрабатывать методики определения токсичности наноматериалов и нормировать содержание различных наночастиц в окружающей среде, разрабатывать новые методы оценки воздействия на окружающую среду антропогенной деятельности.

Наряду с экологической опасностью применения нанотехнологий очевидно их военное применение. Ведь создание взрывных устройств с начинкой нанотрубками приведет к опасности, превосходящей атомное оружие.

### Библиографический список

1. Кобзева, И.Н. Оптические сенсоры для биосенсорных диагностических систем на основе поверхностно-плазмонного резонанса / И.Н. Кобзева // Вестник КДПУ им. М. Остроградского. – 2009. – Т. 57. – № 4. – С. 53–56.
2. Компанец, О.Н. Оптические биосенсоры гено-токсикантов на основе наноконструкций ДНК

- и портативных дихрометров / О.Н. Компанец, Ю.М. Евдокимов // УФН. – 2009. – Т. 179. – № 3. – С. 329–334.
3. Хрипунов, Г.С. Гибкие солнечные модули на основе сульфида и теллурида кадмия / Г.С. Хрипунов, Е.П. Черных, Н.А. Ковтун и др. // Физика и техника полупроводников. – 2009. – Т. 43. – № 8. – С. 1084–1089.
4. Andreescu S., Njagi J., Ispas C., and Ravalli M.T. JEM spotlight: applications of advanced nanomaterials for environmental monitoring // Journal of Environmental Monitoring, 2009, No. 11, pp. 27–40.
5. Booker R. and Boysen E. Nanotechnology for Dummies. Wiley Publ., Inc., Indianapolis, Indiana, USA, 2005, 387 pp.
6. Dukhin A.S., Goetz P.J., Fang X., and Somasundaran P. Monitoring nanoparticles in the presence of larger particles in liquids using acoustics and electron microscopy // Journal of Colloid and Interface Science, 2010, vol. 342, no. 1, pp. 18–25.
7. El Yamani H., Tran-Minh C., Abdul M.A., Chavanne D. Automated system for pesticide detection. // Sens. Actuators. 1988.– Vol.15.– P.193.
8. El Yamani H., Tran-Minh C., Abdul M., Dupont M. Automatic unit for measurement of toxicity of river water. // J.Fr.Hydrol.– 1987.– Vol.18.– N1.– P.67-75.
9. Hristozov D. and Ertel J. Nanotechnology and sustainability: benefits and risks of nanotechnology for environmental sustainability // Forum der Forschung, 2009, vol. 22, pp. 161-168.
10. Liao KC, Hogen-Esch T, Richmond FJ, Marcu L, Clifton W, Loeb GE. Percutaneous fiber-optic sensor for chronic glucose monitoring in vivo // Biosens Bioelectron. 2008 May 15; 23(10):1458-65.
11. Nanotechnology in environmental applications. BCC Research, 2006, Wellesley, M.A., 274 pp.
12. Nanotechnology and the Environment. Report of the National Nanotechnology Initiative Workshop, May 8-9, 2003, Arlington, V.A., 54 pp.
13. Palleschi G., Mascini M., Martinez-Fabregas E. and Alegret S. Urea Determination in Human Sera With an Ammonium Ion Selective Electrode Made With Solid Inner Electric Contact and Immobilised Urease // Analytical Letters. – 1988. – Vol. 21, No. 7. – P.1115–1129.
14. Pickup J.C., Zhi Z.L., Khan F., Saxl T., Birch D.J.. Nanomedicine and its potential in diabetes research and practice // Diabetes Metab Res Rev. 2008 Nov-Dec;24(8):604-10.
15. Schulte J. and Dutta J. Nanotechnology in environmental protection and pollution // Science and Technology of Advanced Materials, 2005, no. 6, pp. 219–220.
16. Slobodnic J. and Proll G. AWACSS-Automated Water Analyser Computer Supported System // www.ei.skjdovc/WPS\_Newsletter\_AWACSS\_Final.pdf.
17. Takayuki N. Total internal reflection fluorescence microscopy and its illumination optics //J. of the National Institute of Information and Communication Technology, 2005, vol. 52, no. 1/2, pp. 301–302.

## ПРАВОВОЙ РЕЖИМ ЛЕСОУСТРОЙСТВА И ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ: СХОДСТВО, РАЗЛИЧИЯ, ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Е.И. МАЙОРОВА, *проф. каф. права МГУЛ, д-р юридических наук,*  
Г.В. АНИСОЧКИН, *ст. преподаватель каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ,*  
П.К. ИЛИЙ, *асп. каф. права МГУЛ,*  
Л.В. ХОРОЛЕНКОВА, *ст. преподаватель каф. права МГУЛ*

*mayorova@mgul.ac.ru*

Осень 2010 г. прошла под знаком обсуждения неотложных мер, необходимых для предотвращения повторения летней ситуации с лесными пожарами. Состоялись парламентские слушания по вопросам развития системы правового обеспечения охраны лесов от пожаров. Среди основных причин были названы такие, как экстремальные погодные условия, беспечное и безответственное отношение граждан к лесу, сельскохозяйственные палы, бездействие региональных властей, отсутствие надлежащего контроля и надзора в лесах [3].

В меньшей степени обсуждались законодательные недочеты, хотя очевидно, что с таким трудом принятый в 2006 г. Лесной Кодекс РФ (далее ЛК-2006) далек от совершенства.

В частности, вызывает много вопросов сокращение функций лесоустройства и правоприменение нововведенной процедуры – государственной инвентаризации лесов (ГИЛ).

Ранее в Лесном Кодексе РФ от 1997 года (далее ЛК-97) обе эти функции были совмещены в ст.ст. 72–74, посвященных лесоустройству. В ЛК-2006 они разнесены по ст.ст. 67, 68 (Лесоустройство) и 90 (ГИЛ).

Согласно ст. 72 ЛК-97 под лесоустройством понималась система мероприятий по обеспечению рационального использования лесного фонда, повышению эффективного ведения лесного хозяйства и реализации единой научно-технической политики в лесном хозяйстве. Кроме того, в данную правовую категорию входила связанная с лесным хозяйством организация земель лесного фонда.

Проблемам лесоустройства посвящена трехтомная монография выдающегося

русского лесоведа М.М. Орлова (2), в этой области работали многие выдающиеся русские лесоводы. Лесоустройство являлось одним из важнейших институтов лесного хозяйства и представляло фундамент для формирования соответствующего правового института лесного права. В целом система лесоустройства отражала новейшие достижения лесной науки; при этом само лесоустройство было одним из основных источников знаний о жизни лесных экосистем, одним из главных двигателей развития наук о лесе.

В ЛК РФ ст.ст. 67, 68 содержат весьма краткий перечень действий, осуществляемых при лесоустройстве. Это 1) проектирование лесничеств и лесопарков (Федеральный закон от 14 марта 2009 № 32-ФЗ «О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» упразднил понятие «лесопарки»; теперь это «лесопарковые зоны и зеленые зоны»); 2) проектирование эксплуатационных лесов, защитных лесов, резервных лесов, а также особо защищенных участков леса; 3) проектирование лесных участков; 4) закрепление на местности местоположения границ лесничеств, лесопарков, эксплуатационных лесов, защитных лесов, резервных лесов, особо защищенных участков леса и лесных участков; 5) таксация лесов (выявление, учет, оценка качественных и количественных характеристик лесных ресурсов); проектирование мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов; проектирование мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов; 6) документальное закрепление границ.

Таксация осуществляется с максимально возможным сохранением контуров

выделов, установленных предыдущим лесоустройством с уточнением их по АФС на текущий момент, и с учетом изменений, произошедших в результате хозяйственной деятельности. Однако геодезические и картографические работы в соответствии с Федеральным законом от 26 декабря 1995 г. № 209-ФЗ «О геодезии и картографии» больше не считаются лесоустройством. Таким образом, основу лесоустройства составляет таксация и закрепление на местности границ лесных участков.

В результате непрерывного лесоустройства предприятию, в котором оно проводится, выдаются:

- материалы ежегодного представления – учет лесного фонда, таксационные описания на выделы с изменившейся основной таксационной характеристикой, ведомости поквартальных итогов на кварталы с изменениями в лесном фонде, сведения о качестве ведения лесного хозяйства и лесопользования по специальным формам, планы ведения лесного хозяйства и лесопользования с их территориальным размещением на очередной год;

- материалы, представляемые каждый ревизионный период: государственный учет лесного фонда (в установленный срок), таксационное описание, актуализированное на естественный рост насаждений, скорректированные ведомости проектируемых лесохозяйственных мероприятий; а также обновленные лесные карты в объеме полных листов или фрагментарно на изменившуюся часть территории лесного фонда, с заданной периодичностью или по требованию пользователя в зависимости от их состояния и пригодности к использованию. При этом в разных группах лесов ревизионный период различается в зависимости от удаленности региона.

Юридическое оформление границ лесного фонда по каждому лесхозу, организации, сельскохозяйственному формированию, ведущему лесное хозяйство, производится органами землеустройства районных администраций.

Порядок восстановления утраченных в натуре границ и межевых знаков и (или) при утере геологических данных определяет-

ся местными органами Комитета Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству по договоренности с органами лесного хозяйства и подразделением лесоустройства, выполняющим полевые работы.

Последним пунктом ч.1 ст.68 «Содержание лесоустройства» является «проектирование мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов».

Указанная деятельность направлена на достижение наибольшего лесоводственного и экономического эффекта от использования лесов путем проведения ухода за лесом, мероприятий по обеспечению санитарной и пожарной безопасности. Нельзя забывать, что 37 % площади лесного фонда относится к 1У и У классам с высокой и чрезвычайно высокой горимостью. [4]

Недостаточная правовая регламентация лесоустройства статьями кодекса, по видимому, была осознана и законодателем, в результате чего появилось Постановление Правительства РФ от 18 июня 2007 № 377, которым утверждены Правила проведения лесоустройства, устанавливающие порядок его осуществления на землях различных категорий. При этом разделение лесов на защитные, эксплуатационные и резервные рассматривается в качестве основы эффективности их освоения.

Анализируя соответствующие статьи ЛК-2006 и конкретизирующие их подзаконные акты, можно сделать вывод, что лесоустройство в классическом его понимании упразднено. С учетом произошедших изменений лесоустройством утерян статус независимого и объективного контролирующего органа. На момент принятия нового ЛК РФ насчитывалось 13 государственных лесоустроительных предприятий. Но законодатель не включил в главный лесной закон норму о проведении лесоустройства исключительно государственными структурами. Коммерческое лесоустройство призвано работать в интересах заказчика-арендатора и максимально учитывать его интересы. Законы рынка диктуют свои условия, и интересы государства как собственника лесных земель становятся, по меньшей мере, второстепенными.

Государство берет на себя обязательство силами лесоустроительных предприятий проводить только государственную инвентаризацию лесов (ГИЛ). Составление же проектных и плановых документов и материалов, в том числе в отношении просек, визиров (Визир – узкий коридор шириной 0,3–0,5 м внутри лесного квартала, используемый в качестве ходовой линии при таксации леса для привязки к местности таксационных выделов, а также элементов внутренней ситуации (реки, дороги и пр.). Визирный указательный столб – знак натурный лесоустроительный, устанавливаемый при пересечении с основными проезжими дорогами, трассами, с постоянными лесными тропами и судоходными реками (Лесное хозяйство: Терминологический словарь/ Под общ. ред. А.Н. Филипчука. М.: ВНИИЛМ, 2002. – 368 с.)) и лесных дорог в условиях рыночной экономики могут осуществлять коммерческие фирмы. Их деятельность регулируется ГК РФ, Федеральным законом от 21 июля 2005 «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд» № 94-ФЗ и – в определенной степени – Федеральным законом от 26 июля 2006 «О защите конкуренции».

Арендатор, осуществляя заготовку древесины и получая определенный доход от ее реализации, обязан выполнять затратные трудоемкие лесохозяйственные работы на арендованной территории, включая оплату лесоустройства, проекта освоения лесов, строительство дорог, принимать обязательное участие в тушении лесных пожаров и др. Подавляющему большинству арендаторов финансирование лесоустроительных работ не под силу. Оно ложится на них тяжким экономическим бременем. Поэтому арендаторами, скорее всего, будут предприниматься меры по затягиванию, отсрочке, переносу сроков проведения лесоустроительных работ на арендованных территориях. Это тем более вероятно, что до настоящего момента законодателем не установлено никаких нормативов, регламентирующих сроки указанной деятельности. Согласно действующему законодательству арендатор может самостоятельно обратиться

в специализированную коммерческую организацию и заказать проведение лесоустройства. Поскольку он является лицом заинтересованным, нет гарантий, что полученные данные будут объективными, а без них возникают серьезные трудности при освоении лесов. Наступает хаос в лесопользовании, неизбежным следствием которого становится снижение эффективности лесного хозяйства, утрата лесами их природоохранительных свойств.

По мнению авторов ЛК-2006, лесоустройство потребовало реформирования с целью адаптации его к условиям рыночной экономики. «Некоторые разделы лесоустройства выведены из его полномочий и должны рассматриваться в рамках лесопользования».

В частности, инвентаризация лесов, проводимая в целях выявления и прогнозирования негативных процессов в лесных насаждениях, оценка эффективности этих мероприятий из числа функций лесоустройства перешли к ГИЛ (новая редакция ст.14 ЛК от 04.12.2006 № 201-ФЗ); ГИЛ объявлена одним из элементов управления использованием, охраной, защитой и воспроизводством лесов, что законодательно закреплено Постановлением Правительства РФ от 26 июня 2007 № 407 «О проведении государственной инвентаризации лесов». Под государственной инвентаризацией понимаются мероприятия по проверке состояния лесов, их качественных и количественных характеристик, проводимые Федеральным агентством лесного хозяйства в отношении лесов, расположенных на землях лесного фонда и землях иных категорий [5].

Как следует из определения, функции лесоустройства (п.5 ст.68 ЛК РФ) и ГИЛ совпадают в отношении установления таксационных характеристик насаждений. Какие решения относительно наших многострадальных лесов будут приниматься соответствующими органами в случае несовпадения данных лесоустройства и ГИЛ?

Целями ГИЛ являются: своевременное выявление и прогнозирование развития процессов, оказывающих негативное воздействие на леса; оценка эффективности мероприятий по охране, защите, воспроизвод-

тву лесов, а также в области государственного лесного контроля и надзора.

Система ГИЛ информационно направлена на совершенствование управления лесами на национальном и региональном уровнях, равно как и на совершенствование ведения лесного хозяйства – на операционном (локальном) уровне на базе последовательного применения принципов экосистемного управления лесами.

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 26 июня 2007 № 407 ГИЛ проводится Федеральным агентством лесного хозяйства, в настоящее время получившим полномочия по выработке государственной политики, правовому регулированию и надзору в области лесного хозяйства, причем контроль деятельности агентства передан непосредственно Правительству РФ.

Создание отдельного от лесоустройства специального вида работ по ГИЛ на основе наземных дистанционных способов было призвано обеспечить всю систему лесосчетных работ необходимой информацией в отношении лесов, расположенных на землях лесного фонда и землях иных категорий. Проведение ГИЛ в отношении лесов, расположенных на землях обороны и безопасности, находящихся в федеральной собственности, предполагалось осуществлять по согласованию с федеральными органами исполнительной власти, уполномоченными в этой области.

Наиболее ценным оперативным инструментом, который может быть создан системой ГИЛ, следует признать обобщенные результаты в виде тематических цифровых картографических материалов. Эти и другие материалы предписано ежегодно направлять Рослесхозом в органы государственной власти, выполняющие функции управления в области охраны, защиты, воспроизводства лесов, а также органы государственной власти, уполномоченные в области государственного контроля и надзора.

В процессе ГИЛ для оценки эффективности мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов, должны были быть выявлены изменения, произошедшие в со-

стоянии лесов после проведения указанных мероприятий, а также соответствие мероприятий лесному плану субъекта РФ, лесохозяйственному регламенту и проекту освоения лесов.

Кроме количественных и качественных характеристик лесов (площадь насаждений, объемы и прирост древесины, распределение лесов различного целевого назначения по преобладающим древесным породам лесных насаждений, возрасту и т.д.), система ГИЛ призвана устанавливать и учитывать изменения в состоянии лесов, происходящие вследствие негативных воздействий (в т.ч. вредных организмов, лесных пожаров, ветровалов, использования лесов и др.), а также причины, приведшие к такому изменению. Более того, ч.2 ст.90 называет главной целью ГИЛ «своевременное выявление и прогнозирование развития процессов, оказывающих негативное воздействие на лес» [7].

В рамках лесоинвентаризационных работ осуществляется внедрение ГИС-технологий. Это повышает качество указанных работ, позволяет автоматизировать вычисление площадей, кварталов, выделов и т.д., создавать тематические карты, оперативно решать вопросы лесоуправления и контроля, осуществлять непрерывную инвентаризацию лесов.

С момента вступления в действие ЛК РФ Рослесхоз не только обязан был собирать необходимую информацию, запрашивая ее у органов исполнительной власти субъектов РФ, ОМС, юридических лиц и граждан, обеспечивающих в соответствии с лесным законодательством проведение лесоустройства с целью разработки лесных планов субъектов РФ, лесохозяйственных регламентов и проектов освоения лесов. Его основной задачей являлось осуществление единовременной периодической проверки состояния лесного фонда по всей стране в целях своевременного выявления и прогнозирования развития процессов, негативно воздействующих на леса. Именно на получение подобной информации нацелена деятельность ГИЛ.

Однако, как показали события лета 2010 г., эта деятельность оказалась неэффек-



тивной, как и декларации ст.53 ЛК РФ «Пожарная безопасность в лесах».

В странах, где доля частных лесов значительно превышает долю государственных (а аренда на 49 лет по многим показателям вполне может быть приравнена к праву частной собственности на леса), на протяжении десятилетий шло улучшение частных лесов на 70 % за счет государственных субсидий. Без существенного изменения законодательства в вопросах содержания лесоустроительных работ и их софинансирования государством коммерческое лесоустройство в ближайшие годы бесперспективно. Только усовершенствовав правовое регулирование лесоустройства, можно проводить осмысленную лесную политику и обеспечивать достоверный статистический сбор информации о лесах, на основе которого формировать хозяйственные планы, оказывающие влияние на мировое ценообразование в отношении лесопродукции.

Пока рынок лесоустроительных работ не создан, работы по лесоустройству в последние три года практически приостановлены.

Только события лета 2010 г. подвигли неповоротливые властные структуры на изменения в правовом режиме лесоустройства и ГИЛ. Они не только (как это уже стало привычным) призваны облегчить захват лесных земель под застройку и иные хозяйственные нужды, но и решить ряд конкретных наболевших вопросов. В настоящее время принят в первом чтении законопроект «О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации». В нем, в частности, предлагается

разделить полномочия по производству лесоустройства между федеральными органами государственной власти и органами государственной власти субъектов РФ. Причем органам федеральной исполнительной власти дается право оценивать эффективность исполнения регионами переданных полномочий в лесной сфере [3].

### Библиографический список

1. Конституция Российской Федерации (принята на всенародном голосовании 12 декабря 1993 г.).
2. Орлов, М.М. Лесоустройство: в 3-х т. / М.М. Орлов. – Л., 1924–1928.
3. Александр Фокин, зам. председателя ГД по природным ресурсам, Российская газета от 09 октября 2010 г., №42.
4. Крассов, О.И. Природные ресурсы России. Комментарий законодательства / О.И. Крассов. – М.: Дело, 2002. – 490 с.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 26 июня 2007 г. N 407 о «Проведении государственной инвентаризации лесов».
6. Лесной кодекс Российской Федерации», принят ГД ФС РФ 1997 г.
7. «Лесной кодекс Российской Федерации» от 04.12.2006 N 200-ФЗ, принят ГД ФС РФ 08.11.2006.
8. Туголуков, Е. Вырубки больше не будет. Российская газета от 26 ноября 2010 г., № 268.
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 июня 2007 г. N 377 о «Правилах проведения лесоустройства».
10. «Основы лесного законодательства Российской Федерации» утв. ВС РФ 06.03.1993 N 4613-1.
11. Федеральный закон от 26 декабря 1995 г. № 209 «О геодезии и картографии».
12. <http://www.forest.ru/> – все о российских лесах.
13. <http://www.forestforum.ru> – лесной форум Гринпис России.

## ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧИСТКИ ВЫРУБОК ОТ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

А.Ф. АЛЯБЬЕВ, доц. каф. механизации лесохозяйственных работ МГУЛ, канд. техн. наук

alyabievaf@rambler.ru

Оборудование для расчистки вырубок представляет собой, как правило, отвал с опорным устройством (МРП-2, КРП-2,6, ОКТ-3 и др.) или опорное устройство с зубьями (МП-2Б, МП-13А и др.). Рассмотрим микропрофиль микрорельефа, находящийся под лезвием ножа отвала. Микропрофиль вырубki  $\xi(x)$  можно рассматривать как гауссовский стационарный процесс. Среднее значение уровня  $y_{cp}$ , на котором находится отвал, определится по формуле

$$y_{cp} = \sum_{k=1}^n y_k P(B_k), \quad (1)$$

где  $P(B_k)$  – вероятность нахождения отвала на уровне  $y_k$ .

Введем систему координат: ось  $OY$  – вертикальная ось, проходит через левый край отвала; ось  $OX$  – проходит параллельно лезвию ножа отвала, через средние значения микронеровностей вырубki (рис. 1).

Пусть отвал 1 находится на одном уровне и в одной линии с опорным устройством 2, и пусть они находятся на одном уровне  $y$  в интервале  $(y_k, y_k+dy)$ . Вероятность нахождения отвала на уровне  $y \in (y_k, y_k+dy)$  будет являться произведением трех событий:

события  $C_k$  – неровности в какой-либо точке находятся в интервале  $(y_k, y_k+dy)$ , события  $C_k^*$  – эта точка находится под опорным устройством и события  $C_k^{**}$  – опорное устройство находится над участком, где неровности не превышают уровень  $(y_k, y_k+dy)$ . Так как эти события независимы, то

$$P(B_k) = \frac{P(C_k C_k^* C_k^{**})}{\int_{-\infty}^{\infty} P(C C^* C^{**}) dy} = \frac{P(C_k) P(C_k^*) P(C_k^{**})}{\int_{-\infty}^{\infty} P(C) P(C^*) P(C^{**}) dy}. \quad (2)$$

Знаменатель в соотношении (2) необходим, так как нахождение рабочего органа на каком-либо уровне  $y$  является достоверным событием, вероятность которого равна 1. Знаменатель обеспечивает выполнение этого условия.

Вероятность  $P(C_k)$  можно записать следующим образом

$$P(C_k) = P\{y_k < \xi(x) < y_k + dy\} = P\{\xi(x) < y_k + dy\} - P\{\xi(x) < y_k\} = \frac{P\{\xi(x) < y_k + dy\} - P\{\xi(x) < y_k\}}{dy}. \quad (3)$$

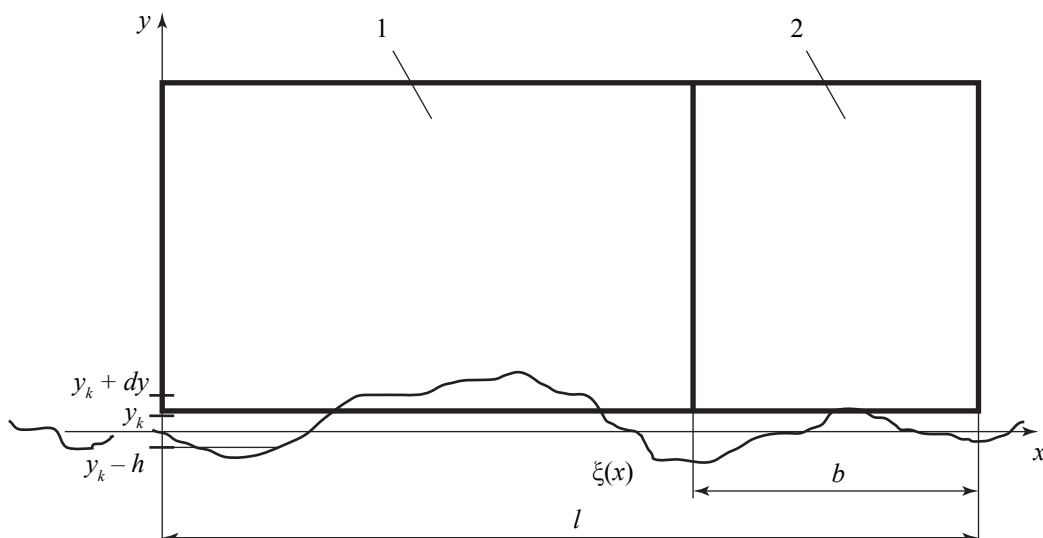


Рис. 1. Взаимодействие отвала с микропрофилем вырубki

Вероятность  $P(C_k^*)$  найдется из условия равномерного распределения случайной величины  $x$  на интервале длиной  $\Delta_k^- + \Delta_k^+$

$$P(C_k^*) = b / (\Delta_k^- + \Delta_k^+). \quad (4)$$

где  $\Delta_k^-$ ,  $\Delta_k^+$  – средняя длительность выброса за уровень  $y_k$ , соответственно сверху вниз и снизу вверх, определяются по формулам [1]

$$\Delta^+ = \sqrt{-\frac{2\pi}{B''(0)}} \cdot \int_{y_k}^{\infty} \exp\left(-\frac{y^2 - y_k^2}{2B(0)}\right) dy,$$

$$\Delta^- = \sqrt{-\frac{2\pi}{B''(0)}} \cdot \int_{-\infty}^{y_k} \exp\left(-\frac{y^2 - y_k^2}{2B(0)}\right) dy,$$

$B(x)$  – корреляционная функция микропрофиля, аппроксимируется выражением [2]

$$B(x) = e^{-\alpha x} D \cos(2\pi f_0 x),$$

$D$  – дисперсия рассматриваемого процесса  $\xi(x)$ ;

$\alpha$  – интенсивность затухания корреляционной функции;

$f_0$  – частота периодической составляющей случайного процесса.

Вероятность  $P(C_k^{**})$  найдется из условия равномерного распределения случайной величины  $x$  на интервале длиной  $\Delta_k^-$ , т. е.

$$P(C_k^{**}) = (\Delta_k^- - b) / \Delta_k^-. \quad (5)$$

Подставляя соотношения (8–10) в (7), получим

$$P(B_k) = \frac{\left( \frac{P\{\xi(x) < y_k + dy\} - P\{\xi(x) < y_k\}}{dy} \times \frac{b(\Delta_k^- - b)}{(\Delta_k^- + \Delta_k^+) \Delta_k^-} dy \right)}{\int_{-\infty}^{\infty} P(C)P(C^*)P(C^{**})dy}. \quad (6)$$

Так как вероятность не может быть отрицательной, то самое нижнее положение, в котором может оказаться отвал, это когда  $\Delta_k^- = b$ . Из этого условия можно найти нижний уровень  $y^*$ , от которого начинается суммирование в формуле (1)

$$b = \sqrt{-\frac{2\pi}{B''(0)}} \int_{-\infty}^{y^*} \exp\left(-\frac{y^2 - y^{*2}}{2B(0)}\right) dy.$$

Здесь рассматривается выброс за уровень  $y^*$ , «сверху вниз». После подстановки (6) в (1) и перехода к пределу получим

$$y_{cp} = \frac{\int_{y^*}^{\infty} y \frac{p(y)b(\Delta^- - b)}{(\Delta^- - \Delta^+)\Delta^-} dy}{\int_{y^*}^{\infty} P(C)P(C^*)P(C^{**})dy}. \quad (7)$$

Для  $D = 16 \text{ см}^2$ ,  $f_0 = 0,35 \text{ 1/м}$ ,  $\alpha = 0,2 \text{ 1/м}$  построены графики зависимости  $y^*$  и  $y_{cp}$  от ширины опорного устройства  $b$  (рис. 2).

Качественными показателями при расчистке вырубок являются количество удаляемой почвы, степень минерализации вырубки (отношение минерализованной площади к общей расчищенной площади) и количество оставленных порубочных остатков.

Средняя площадь вырезаемого сечения при расчистке будет определяться интегралом

$$S_{cp} = \int_{y_{cp}}^{\infty} \frac{\Delta^+ l}{\Delta^- + \Delta^+} dy.$$

Максимальная площадь вырезаемого сечения расчета будет определяться аналогично

$$S_{max} = \int_{y^*}^{\infty} \Delta(y) dy.$$

Для  $D = 16 \text{ см}^2$ ,  $f_0 = 0,35 \text{ 1/м}$ ,  $\alpha = 0,2 \text{ 1/м}$ ,  $l = 3 \text{ м}$  построены графики зависимости площади вырезаемого сечения от ширины опорного устройства  $b$  (рис. 3).

Пусть событие  $A$  – пропуск порубочных остатков. Тогда по формуле полной вероятности

$$P(A) = \sum_{k=1}^n P(B_k)P(A/B_k), \quad (8)$$

где  $P(B_k)$  – вероятность нахождения отвала на уровне  $y_k$ ;

$P(A/B_k)$  – вероятность пропуска порубочных остатков при условии, что отвал находится на уровне  $y_k$ .

Пропуск порубочных остатков возможен, если расстояние  $h$ , между отвалом и поверхностью вырубки, больше чем

$$h > R(1 + \cos\varphi),$$

где  $2R$  – максимально допустимый диаметр порубочных остатков, остающихся на расчищенной полосе;

$\varphi$  – угол трения порубочных остатков о почву.

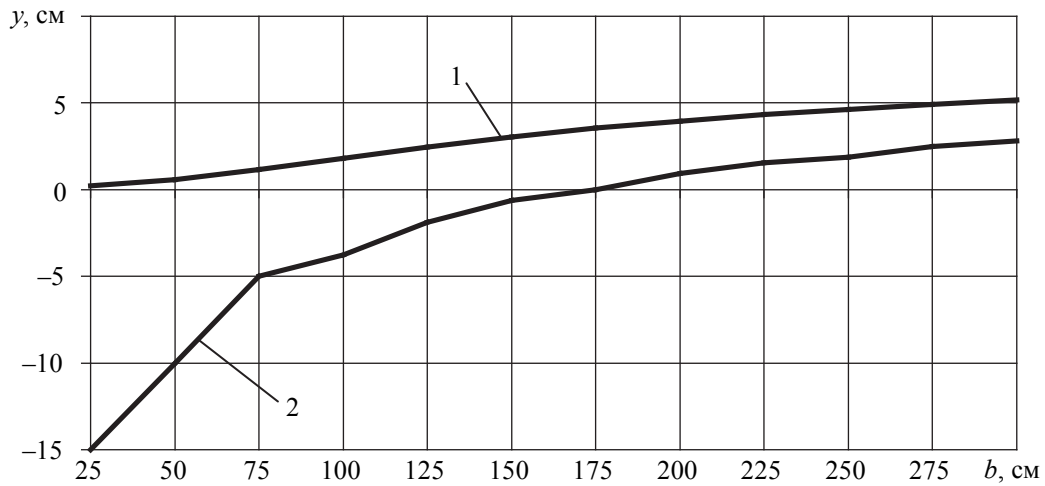


Рис. 2. Зависимость уровня, на котором находится отвал, от ширины опорного устройства: 1 – среднее значение  $y_{cp}$ , 2 – минимальное значение  $y^*$

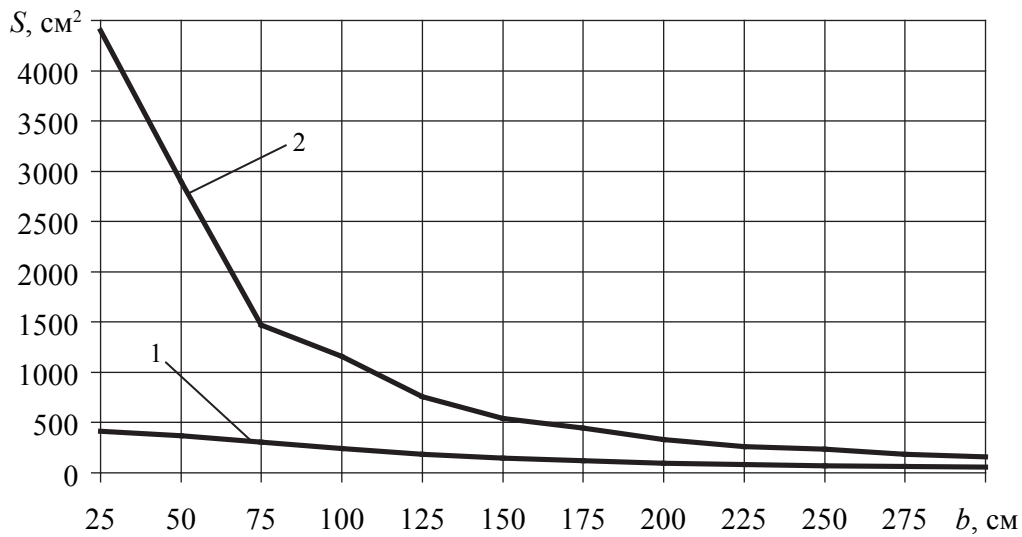


Рис. 3. Зависимость площади вырезаемого сечения от ширины опорного устройства: 1 – среднее значение, 2 – максимальное значение

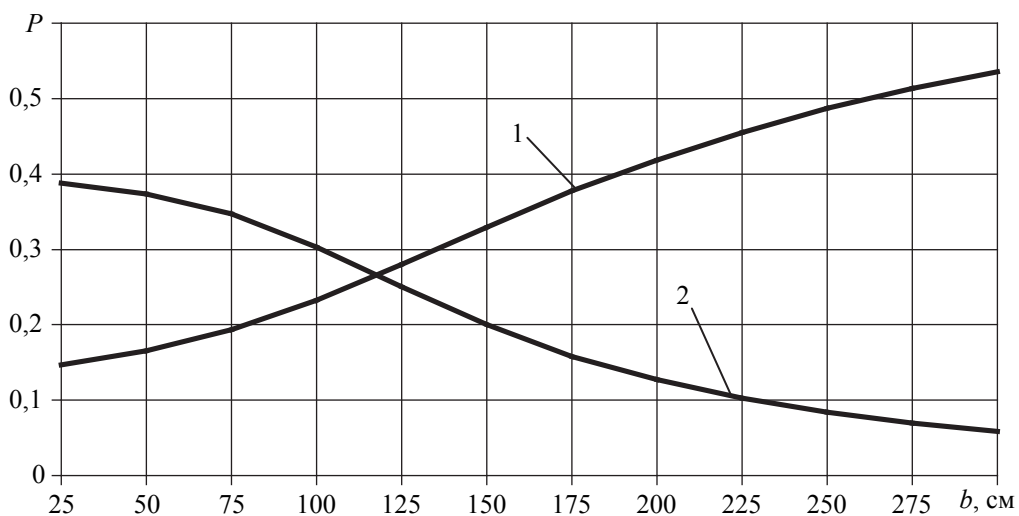


Рис. 4. Зависимость вероятности пропуска порубочных остатков и вероятности минерализации почвы от ширины опорного устройства: 1 – пропуск порубочных остатков, 2 – минерализация почвы

Таким образом, вероятность пропуска порубочных остатков на интервале длиной  $\Delta_k^{-*} + \Delta_k^{+*}$  равна вероятности выброса вниз за уровень  $y_k - h$

$$P(A / B_k) = P\{\xi(x) < (y_k - h)\}.$$

Вероятность пропуска порубочных остатков на интервале длиной  $l$  будет определяться зависимостью

$$P(A / B_k) = IP\{\xi(x) < (y_k - h)\} / (\Delta_k^{-*} + \Delta_k^{+*}). \quad (9)$$

Подставляя найденные значения  $P(B_k)$  и  $P(A/B_k)$  из формул (6) и (9) в (8), устремляя  $dy$  к нулю и переходя к пределу, получим

$$P(A) = \int_{y^*}^{\infty} P(B) \frac{IP\{\xi(x) < (y-h)\}}{\Delta^{-*} + \Delta^{+*}} dy. \quad (10)$$

Вероятность минерализации расчищенной полосы определится по формуле полной вероятности

$$P(A_1) = \sum_{k=1}^n P(B_k) P(A_1 / B_k), \quad (11)$$

где  $P(A_1/B_k)$  – вероятность минерализации полосы при условии, что отвал находится на уровне  $y_k$ .

Вероятность  $P(B_k)$  определяется по формуле (6). Пусть отвал находится на уровне  $y_k \in [y_k, y_k + dy]$ . Минерализация возможна, когда поверхность вырубki выше ножа отвала, т.е.  $\xi(x) > y$

$$P(A_1 / B_k) = \frac{IP\{\xi(x) > y_k\}}{\Delta_k^{-*} + \Delta_k^{+*}}. \quad (12)$$

Подставляя в формулу (11) найденные значения вероятностей (6) и (12), устремляя  $dy$  к нулю и переходя к пределу, получим

$$P(A_1) = \int_{y^*}^{\infty} P(B) \frac{IP\{\xi(x) < (y)\}}{\Delta^{-*} + \Delta^{+*}} dy.$$

Для  $D = 16 \text{ см}^2, f_0 = 0,35 \text{ 1/м}, \alpha = 0,2 \text{ 1/м}, l = 3 \text{ м}$  и  $h = 5 \text{ см}$  построены графики зависимости вероятности пропуска порубочных остатков и вероятности минерализации почвы от ширины опорного устройства  $b$  (рис. 4).

Таким образом, определены зависимости качественных показателей работы оборудования для расчистки вырубok от его параметров: длины отвала и ширины опорного устройства. Предложенная методика может быть расширена на оборудование в виде опорного устройства с зубьями.

#### Библиографический список

1. Прохоров, Ю.В. Теория вероятностей. Основные понятия. Предельные теоремы. Случайные процессы: справочник. / Ю.В. Прохоров, Ю.А. Розанов. – М.: Наука, 1987. – 400 с.
2. Гойденко, А.А. Об определении характеристик микропрофилей вырубok. / А.А. Гойденко, А.Ф. Алябьев // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. – 1989. – № 2. – С. 119–120.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ СХЕМ РАЗМЕЩЕНИЯ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ ПРИ СОРТИМЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ ЛЕСА

М.А. ПИСКУНОВ, доц. каф. технологии и оборудования лесного комплекса ПетрГУ, канд. техн. наук,

А.М. ВОРОНОВА, асп. каф. прикладной математики и кибернетики ПетрГУ

*piskunov\_mp@list.ru*

При рассмотрении схем размещения волокон на лесосеке традиционно оперируют некоторым набором типовых схем: параллельная с магистральным волоком и без него; перпендикулярная или под углом к магистральному волоку; диагональная; радиальная с магистральным волоком и без него. Этот набор хорошо знаком и приводится практически во всех учебных пособиях и монографиях, посвященных технологии лесосечных работ. Эти

схемы разрабатывались в период доминирования на лесозаготовках хлыстовой технологии, и одним из основных принципов их построения является то, что в процессе трелевки хлыстов или деревьев трелевочный трактор должен совершать преимущественно прямолинейные проходы и сокращать до минимума количество поворотов при трелевке пачки.

Невысокая маневренность при трелевке хлыстов определяла и требования к хо-

довым системам трелевочных тракторов. На трелевке в нашей стране преимущественно применялись гусеничные трактора, обладающие лучшей проходимостью, способные осуществлять движение в режиме многократных проходов по одному следу в условиях избыточного увлажнения грунта. Для показателей проходимости колесной техники при работе на слабых грунтах многократные проходы по одному следу – более значимый фактор.

В определенный момент стали появляться научные работы, которые прямым или косвенным образом указывали на то, что в соответствии с тенденциями развития лесных машин и технологий лесозаготовок целесообразно отказываться от жестких требований обязательного использования типовых схем волоков. В качестве таковой отметим работу [1]. Это подкрепляется и практикой, когда фактические схемы волоков в итоге значительно отличаются от схем, которые заранее планируются по известным принципам.

Развитие сортиментной технологии, главным образом трелевочных тракторов-форвардеров, укрепило эти позиции. Форвардеры как более маневренные машины способны осуществлять несколько поворотов в процессе движения к верхнему складу. Поэтому лесопромышленники отходят от неременного условия использования только типовых схем.

Использование типовых схем ограничено крайне узкой областью природно-производственных факторов. Оно целесообразно, если рельеф в границах всей лесосеки не имеет колебаний высот или эти колебания незначительны; если в границах лесосеки состояние почво-грунта характеризуется одинаковыми свойствами по всей площади (одинаковая несущая способность грунта; на лесосеке нет участков с избыточным увлажнением); нет ключевых биотопов на лесосеке, которые требуется сохранять по требованиям лесной сертификации. В большинстве случаев на лесосеках существуют различные участки, которые влияют на схему волоков; фактические схемы имеют более тесную связь с характеристиками лесосеки, причем существует тенденция учета все более мелких дета-

лей в процессе проектирования транспортной сети лесосеки.

Целью данной работы является исследование реальных схем волоков на лесосеках при сортиментной технологии. При этом учитывается вид схемы волоков при мозаичности почво-грунта на лесосеке, наличие переувлажненных участков и распределение проходов трактора по длине волока, как сильно могут изменяться фактические схемы по отношению к первоначальным схемам, какие изменения вносят природно-производственные особенности лесосеки в схему волоков.

### Методика и результаты

Исследования проводились в лесозаготовительном предприятии ОАО «Олонцлес» (Республика Карелия) для лесосек, расположенных в Мегрозерском и Михайловском лесничествах. Данное предприятие на лесосечных работах использует сортиментную технологию. Используется две системы машин: харвестер + форвардер; вальщики-сортиментщики + форвардер. На заготовке леса используются машины с колесным движителем. Предприятие обладает сертификатом системы добровольной лесной сертификации FSC.

В ходе исследования рассматривались лесосеки, назначаемые в рубку в соответствии с производственным планом, но исключались те лесосеки, рельеф которых в значительной степени влиял на конфигурацию схемы волоков. Это осуществлялось с целью определения влияния на схему волоков других факторов, главным образом мозаичности свойств грунта в границах лесосеки.

Составление схемы волоков осуществлялось следующим образом:

- предварительно мастер леса заполнял технологическую карту, где составлялась схема волоков без подробного учета особенностей каждой лесосеки;

- далее осуществлялся обход каждой делянки. Супервайзер определял наличие и расположение влажных участков; объектов, которые могут быть отнесены к ключевым биотопам; других мест, которые могут повлиять на движение трелевочных тракторов.

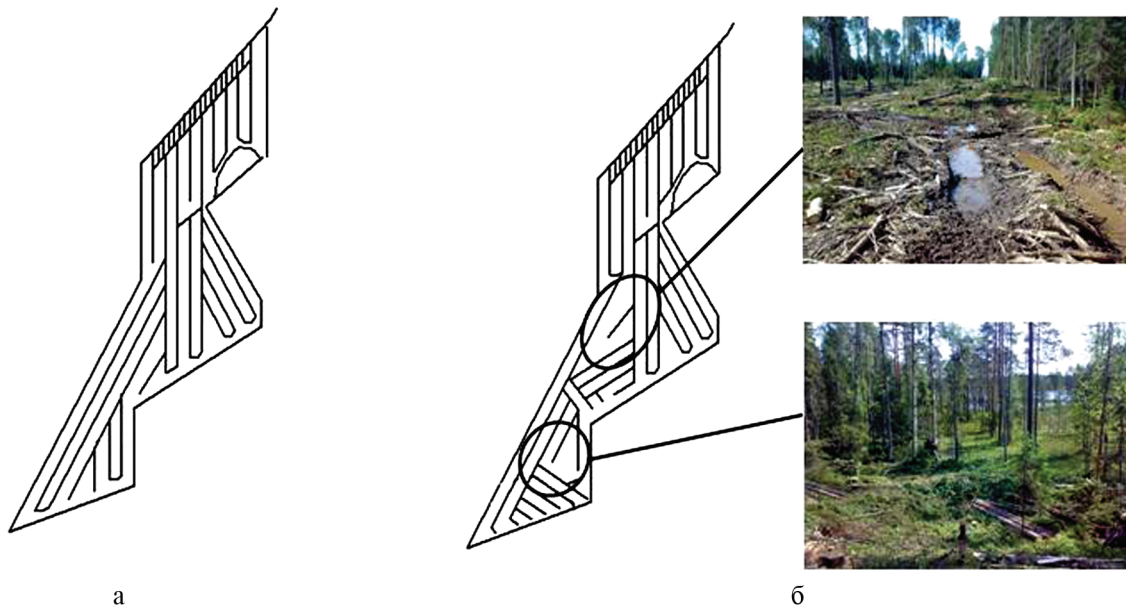


Рисунок. Схема размещения волоков: а) предварительная, б) скорректированная после детального изучения лесосеки

К осмотру делянок привлекались операторы лесозаготовительных машин. Операторы на основании своего опыта также выделяли наиболее проблемные участки лесосеки;

– предварительная схема волоков, составленная мастером, корректировалась на основе полученных данных подробного осмотра лесосеки. В соответствии с этой схемой осуществлялась заготовка леса.

На рисунке представлены примеры схем волоков: предварительная и скорректированная для делянки №23, расположенной в квартале №53 Мегрозерского лесничества. Показано расположение наиболее проблемных участков и то, как они повлияли на фактическую схему волоков.

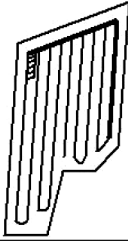
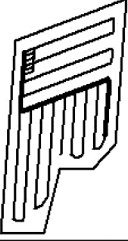
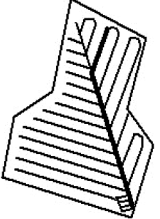
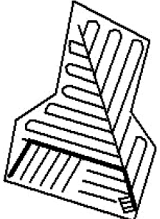
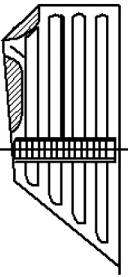
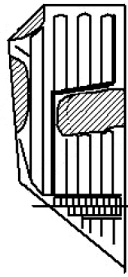
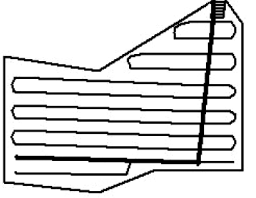
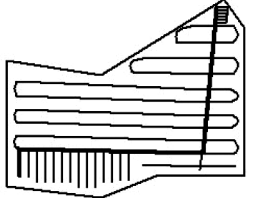
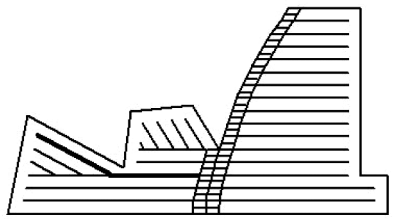
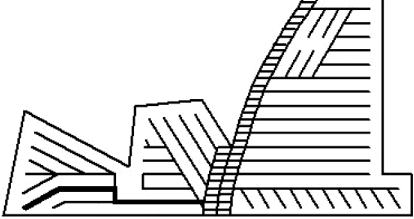
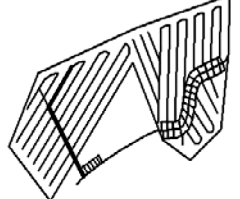
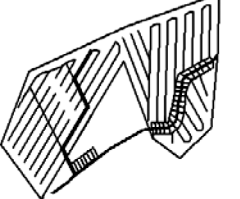
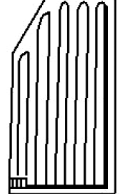
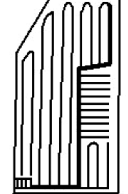
Аналогичным образом был исследован ряд лесосек, схемы волоков скорректированы на основе детального изучения лесосеки, и уже эти схемы являлись действительными, по которым осуществлялись лесосечные работы. Схемы волоков на всех лесосеках, которые подвергались изучению, были скорректированы. Общее количество лесосек, участвовавших в исследованиях, составило 20. Наиболее показательные схемы представлены в таблице.

На данном предприятии практика детального изучения лесосеки и составление с помощью полученных данных подробной

транспортной сети является обязательной. Если корректировка схем не происходит, то на практике при наличии труднопроходимых участков лесозаготовительные машины направляются по тем участкам, по которым наиболее удобно осуществлять трелевку по личному мнению оператора. Как правило, в этом случае, площадь поврежденной части лесосеки увеличивается; кроме этого не обращается внимания на ключевые биотопы.

Как показали исследования, фактические схемы волоков обладают ветвистой формой и значительно отличаются от типовых схем. Полученные данные позволяют предложить классификацию схем волоков по степени ветвистости. В качестве параметра классификации предлагается использовать максимальное количество поворотов, которое совершает трелевочный трактор при движении к погрузочному пункту в полностью погруженном состоянии, причем это количество поворотов должно быть неизбежным, то есть нельзя проехать, не совершив определенное количество поворотов. Если трелевочный трактор совершает в процессе разработки лесосеки при всех проходах в полностью погруженном состоянии не более 1 поворота, то схема волоков первого порядка; два поворота – второго порядка и т. д. На рисунке скорректированная схема относится к схемам четвер-

Предварительные и скорректированные схемы волоков

Расположение лесосеки	Предварительная схема волоков	Скорректированная схема волоков	Порядок схемы
Мегрозерское лесничество, Квартал 136, Делянка №187			Схема второго порядка
Михайловское лесничество, Квартал 15, Делянка №1			Схема второго порядка
Мегрозерское лесничество, Квартал 19, Делянка №2			Схема второго порядка
Михайловское лесничество, Квартал 70, Делянка №48			Схема второго порядка
Михайловское лесничество, Квартал 105, Делянка №29			Схема третьего порядка
Мегрозерское лесничество, Квартал 71, Делянка №281			Схема третьего порядка
Мегрозерское лесничество, Квартал 33, делянка №1			Схема третьего порядка



того порядка: в процессе перемещения сортиментов на погрузочный пункт трелевочный трактор неизбежно, хотя бы при одном грузовом рейсе, совершит 4 поворота. В таблице утолщенной линией выделены примеры траекторий, определяющие количество поворотов. Предварительные схемы волоков относятся к схемам нулевого или первого порядка, в то время как при корректировании порядок схемы возрастает. Порядок схем получается не ниже второго.

Таким образом, на практике при использовании колесных машин для сортиментной технологии лесосека рассматривается более детально, учитывается наличие и расположение различных участков. В этой связи схемы волоков при сортиментной технологии получают более ветвистые, чем для хлыстовой технологии. Такие схемы целесообразно классифицировать по степени ветвистости, признак классификации – количество поворо-

тов трактора при движении на верхний склад в полностью погруженном состоянии. Для предварительного сбора данных об особенностях лесосеки целесообразно использовать специальные приборы для быстрого сканирования свойств грунта и определения координат «проблемных» участков на лесосеке. Целесообразно внедрение систем поддержки принятия решений по составлению схем волоков на лесосеке на основе минимизации причиняемого ущерба от многократных проходов трелевочных тракторов при одновременной оптимизации затрат на лесосечные работы за счет рациональной организации транспортной сети лесосеки.

#### Библиографический список

1. Салминен, Э.О. Размещение волоков на заболоченных лесосеках / Э.О. Салминен, С.В. Гуров, Б.М. Большаков // Лесная промышленность. – 1988. – № 3. – С. 3.

## ТРАНСПОРТНЫЕ КАЧЕСТВА МОБИЛЬНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НАПОЛНЯЕМОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ БЕЗГРАНИЧНОГО ПОТОКА И МЕЛКОВОДЬЯ

М.А. СОРОКИН, *ст. преподаватель каф. транспорта леса МГУЛ*,  
А.Н. КОМЯКОВ, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук*

*sorokin@mgul.ac.ru*

На кафедре транспорта леса МГУЛ в последние годы проводятся работы по созданию мобильных гидротехнических сооружений (ГТС) наполняемого типа. Основными элементами их конструкции являются мягкая оболочка рукавного типа и наполнитель. В качестве наполнителя в известных конструкциях обычно используется вода или воздух. Обязательным условием работоспособности такой конструкции является герметичность оболочки. В случае нарушения герметичности оболочки сооружение теряет форму и перестает создавать напор.

В ГТС наполняемого типа конструкции МГУЛ (патент РФ № 62615) используется твердый наполнитель, который обеспечивает возможность создавать напор даже при повреждении оболочки, что особенно важно

при использовании на лесосплавных реках. В качестве наполнителя могут использоваться, к примеру, измельченные древесные отходы, использованная пластиковая тара и т.п.

На кафедре транспорта леса МГУЛ также разработана конструкция (рис. 1) (патент RU № 86601 от 01.06. 2009 г), состоящая из внешней эластичной оболочки, внутренних сферических (или цилиндрических) емкостей и системы их заполнения (опорожнения). В транспортном положении вода из емкостей и пространства между ними в надводной части оболочки удаляется, за счет чего обеспечивается плавучесть ГТС с минимальной осадкой. Минимальная осадка ГТС необходима для его доставки на место эксплуатации по воде, а также для выполнения переместительных операций по установке в нужном месте русла

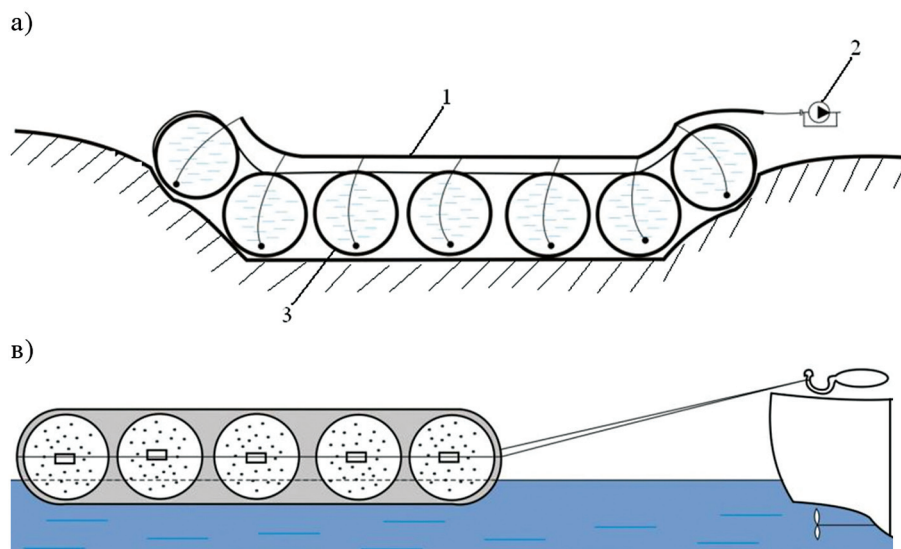


Рис. 1. Гидротехническое сооружение: а) в рабочем положении, б) в транспортном положении: 1 – система заполнения-опорожнения; 2 – насосная установка; 3 – сферические емкости (твердый наполнитель)

реки. В рабочем положении за счет собственного веса сооружения и заполнения внутренних емкостей (и пространства между ними) водой сооружение приобретает отрицательную плавучесть для обеспечения плотного прилегания к основанию.

При транспортировке и выполнении различных переместительных операций во время монтажа мобильные ГТС испытывают сопротивление воды своему движению. Влияние сопротивления воды особенно сильно проявляется при транспортировке таких сооружений по мелководью и при поперечном перемещении во время их установки. В опытовом бассейне лаборатории водного транспорта леса МГУЛ проведена обширная серия опытов с моделями ГТС данного типа. В процессе опытов в широких пределах варьировались геометрические параметры ГТС, их плавучесть, а также глубины и скорости транспортировки.

Для обеспечения большей точности замеров сопротивления воды движению моделей ГТС была усовершенствована буксировочная система гравитационного типа. Буксирно-замкнутая линия с «бесконечным» тяговым канатом была заменена на тяговый канат с системой блоков (полиспасть), который подсоединялся непосредственно к испытуемой модели. Это позволило свести к ми-

нимуму силы трения в системе и сделало ее более чувствительной к задаваемым тяговым усилиям.

Модели представляли собой рукав из тонкой полипропиленовой пленки, внутрь которого помещались сферические емкости. В общем случае сопротивление воды движению емкости (или сила гидродинамического воздействия набегающего потока на покоящуюся емкость) зависит от размеров и формы ее подводной части, шероховатости поверхности, скоростного режима и путевых условий.

Сопротивление воды движению цилиндрической эластичной емкости в условиях мелководья можно определить по формуле

$$R = K_M C_R \frac{\rho \cdot V^2}{2} \Omega, \quad (1)$$

где  $K_M$  – коэффициент, учитывающий влияние мелководья на сопротивление движению;

$C_R$  – коэффициент полного сопротивления воды движению емкости в условиях безграничного потока (отношение глубины потока к осадке  $H/T \geq 6$ );

$\rho$  – плотность воды;

$V$  – скорость движения емкости относительно потока;

$\Omega$  – площадь поперечного сечения подводной части емкости.

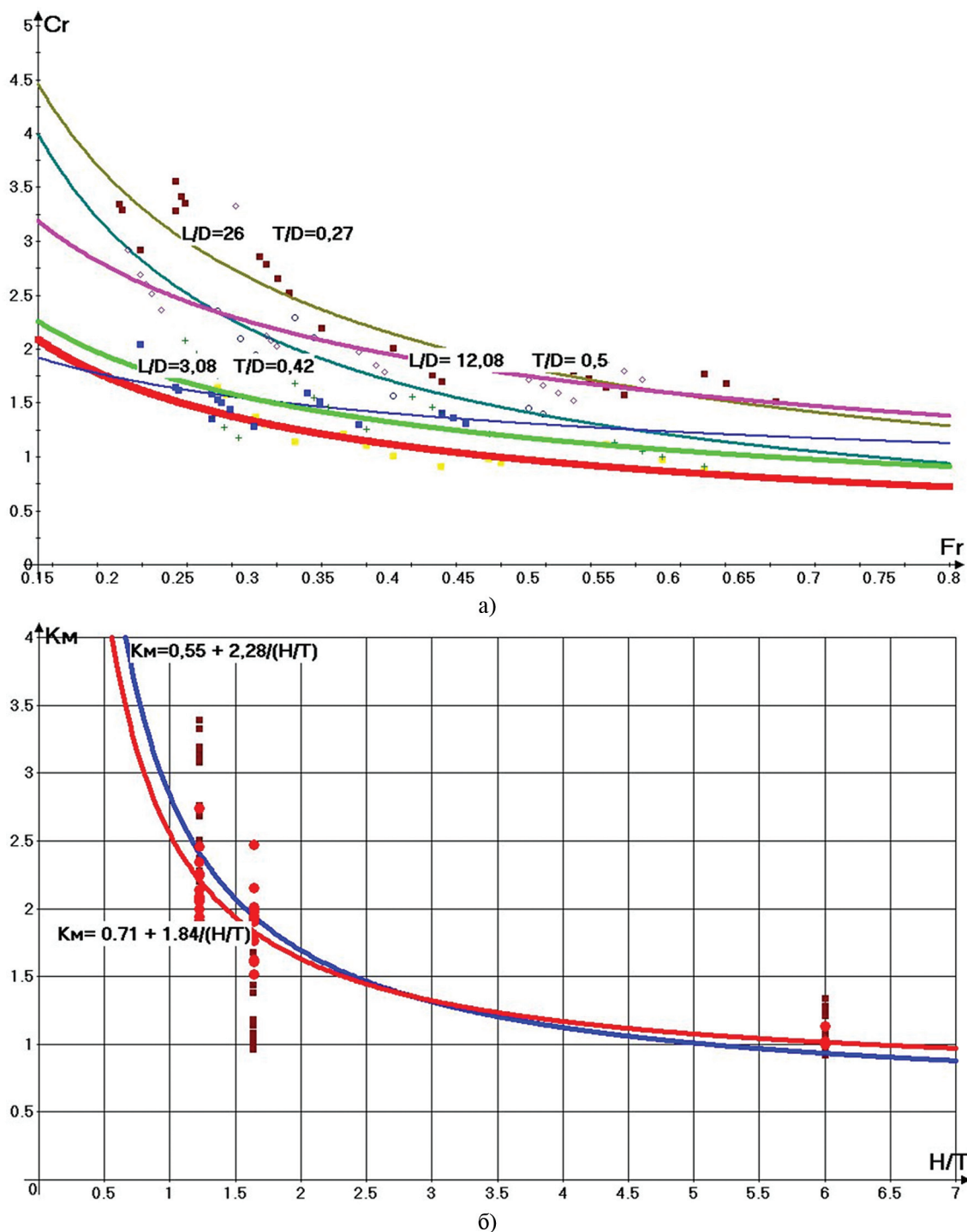


Рис. 2. а) Зависимость коэффициента сопротивления воды продольному перемещению емкости от числа Фруда. б) Зависимость коэффициента мелководья от относительной глубины потока

Как видно из формулы (1), на данном этапе исследования не делалось попыток разделить полное сопротивление на отдельные составляющие из предположения, что основной вклад в него у таких тел вносит сопротивление формы, особенно при поперечном расположении в потоке. При этом доля сопротивления

трения в полном сопротивлении относительно мала, а следовательно, и слаба зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса  $Re = VT / \nu$ , где  $\nu = h / r$  – кинематический коэффициент вязкости, а  $T$  – осадка емкости. По этой причине число Рейнольдса было исключено из числа определяющих факторов.

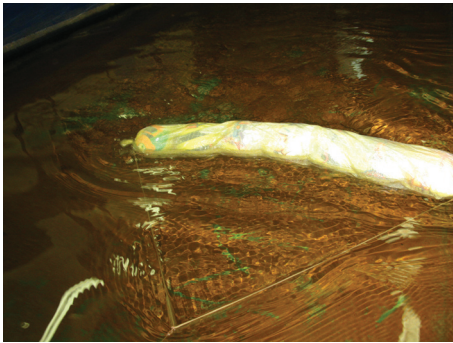


Рис. 3. Поперечное перемещение модели емкости

Целью экспериментов было установление зависимости коэффициента сопротивления воды движению цилиндрических емкостей от определяющих факторов

$$Cr = f(L/T, T/D, Fr),$$

где  $L$  и  $D$  – соответственно, длина и диаметр емкости,  $Fr = V^2/gT$  – число Фруда.

Варьирование параметра  $L/D$  (отношение длины емкости к ее диаметру) достигалось изменением количества емкостей внутри рукава, а изменение осадки  $T$  и параметра  $T/D$  – степенью заполнения этих емкостей водой. Нужные для опытов скорости буксировки достигались подбором весов тяговых грузов буксировочной системы. Модели буксировались вдоль и поперек по отношению к потоку в диапазоне чисел Фруда от 0,005 до 1,2. Относительная глубина потока  $H/T$  при изучении влияния мелководья изменялась за счет изменения глубины воды в опытовом бассейне.

Опыты показали (рис. 2а), что и при продольном и поперечном перемещении в потоке коэффициент сопротивления уменьшается с увеличением скорости движения и числа Фруда. Такой же характер имеет зависимость коэффициента местного гидравлического сопротивления от средней скорости проходящего через него потока.

В результате серии опытов были получены уравнения регрессии, с помощью которых можно вычислить сопротивление воды продольному и поперечному перемещению цилиндрических емкостей:

$$Cr = 3,18 + 0,04L/T - 3,5 Fr + 1,73 Fr^2 - 2,94T/D + 1,49 (T/D)^2 ; \quad (2)$$

$$Cr = 1,79 + 0,02 L/T - 3,46Fr + 0,0024 Fr^2. \quad (3)$$

Опыты показали, что и при продольном и при поперечном перемещении емкостей зависимость коэффициента сопротивления  $Cr$  от относительной длины  $L/T$  носит линейный характер. При этом коэффициент сопротивления растет с увеличением относительной длины. При продольном перемещении этот рост объясняется простым увеличением длины буксируемого тела. При поперечном перемещении рост может объясняться ухудшением обтекаемости и усилением вихреобразования у удлинённых емкостей.

Коэффициент, учитывающий влияние мелководья на сопротивление воды продольному и поперечному перемещению цилиндрических емкостей, определялся как отношение коэффициента сопротивления в условиях мелководья  $CrM$  к коэффициенту сопротивления в условиях безграничного потока  $Cr$  на схожих скоростных режимах буксировки

$$Km = CrM / Cr. \quad (4)$$

Для учета влияния мелководья на сопротивление движению получены следующие зависимости

$$- \text{при продольном перемещении} \\ Km = 0,71 + 1,84 / (H/T); \quad (5)$$

$$- \text{при поперечном перемещении} \\ Km = 0,55 + 2,28 / (H/T). \quad (6)$$

Очевидно, что результаты выполненных модельных исследований нуждаются в экспериментальной проверке и уточнении в натуральных условиях. Данные результаты могут быть применимы не только для расчета мобильных гидротехнических сооружений, но и других тел схожей геометрии, например мягких плавучих контейнеров.

### Библиографический список

1. Комяков, А.Н. Экспериментальные исследования сопротивления воды движению контейнерных плотов для сплава измельченной древесины / А.Н. Комяков // Научные труды. – Вып. 177. – М.: МЛТИ, 1986. – С. 77–86.
2. Родионов, П.М. Метод подобия и его применение к решению задач лесосплава: учебное пособие / П.М. Родионов. – Л.: ЛТА, 1982. – 84 с.
3. Комяков, А.Н. Гидродинамические характеристики плавучих контейнеров и контейнерных составов для доставки измельченных лесных грузов / А.Н. Комяков, М.А. Сорокин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – № 4(73). – С. 102–104.

## ОБОСНОВАНИЕ ПРОТЯЖЕННОСТИ ЛЕСОВОЗНОГО УСА

Д.Н. АФОНИЧЕВ, *проф. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, д-р техн. наук*

*dmafonichev@yandex.ru*

Правильный выбор конструкции и параметров лесовозного уса обеспечивает повышение эффективности работы лесовозного транспорта, бесперебойность транспортного процесса, снижение себестоимости заготовки древесины. В настоящее время при проектировании внутриплощадочных дорог решается вопрос о целесообразности прокладки уса в лесосеку. Профессор Б.А. Ильин [1, 2] предложил зависимость, по которой можно определить целесообразность постройки уса в лесосеку или прокладки магистрального трелевочного волока

$$Q_{\text{л}} \geq (C_{\text{в}} - C_{\text{МВ}}) / (b_{\text{МВ}} - b_{\text{в}}), \quad (1)$$

где  $Q_{\text{л}}$  – объем древесины, вывозимой из лесосеки, м<sup>3</sup>;

$C_{\text{в}}$  – удельная стоимость строительства уса, руб/км;

$C_{\text{МВ}}$  – удельная стоимость прокладки магистрального волока, руб/км;

$b_{\text{в}}$  – удельная стоимость вывозки древесины по усу, руб/(м<sup>3</sup>·км);

$b_{\text{МВ}}$  – удельная стоимость трелевки древесины по магистральному волоку, руб/(м<sup>3</sup>·км).

Если условие (1) выполняется, то постройка уса в лесосеку конструкции со стоимостью  $C_{\text{в}}$  целесообразна, если указанное условие не выполняется, то следует проложить в лесосеку магистральный волок.

Профессор А.И. Иевлев [3] установил целесообразность строительства уса в лесосеку по следующему условию

$$l_{\text{д}} \leq \frac{\left[ \frac{C_{\text{т2}}}{\Pi_2} - \left( \frac{C_{\text{т1}}}{\Pi_1} + C_{\text{в}} \right) \right] Q}{C_{\text{д}} - C_{\text{тп}}}, \quad (2)$$

где  $l_{\text{д}}$  – протяженность намечаемого к строительству уса, км;

$C_{\text{т1}}$ ,  $C_{\text{т2}}$  – себестоимость содержания машинокомплекса трелевочного средства при трелевке соответственно к усу и к ветке с учетом затрат на содержание транспортных путей, руб.;

$\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  – сменная производительность трелевочного средства при трелевке соответственно к усу и к ветке, м<sup>3</sup>;

$C_{\text{в}}$  – себестоимость вывозки древесины по усу, руб/м<sup>3</sup>;

$Q$  – ликвидный запас древесины на лесосеке, м<sup>3</sup>;

$C_{\text{д}}$  – удельная стоимость строительства уса, руб/км;

$C_{\text{тп}}$  – удельная стоимость подготовки магистрального трелевочного волока, руб/км.

В описанных методах устанавливается целесообразность прокладки лесовозного уса, но не обосновывается его протяженность в пределах лесосеки, а также не предусматривается возможность применения на лесовозном усе различных дорожных конструкций, хотя при значительной длине лесосеки это может быть оправдано [4]. Рассмотрим вариант устройства автомобильного лесовозного уса, состоящего из двух участков: головного протяженностью  $l_{\text{уп}}$ , имеющего покрытие, и глубинного – без покрытия, имеющего протяженность  $l_{\text{уг}}$ . Необходимо установить оптимальную длину уса для лесосеки с заданными параметрами и длины участков уса:  $l_{\text{уп}}$  и  $l_{\text{уг}}$ . Очевидно, что оптимальные параметры конструкции лесовозного уса  $l_{\text{уп}}$  и  $l_{\text{уг}}$  должны обеспечить минимум затрат  $Z$  (руб.) на вывозку древесины из лесосеки.

$$Z = \sum_{i=1}^6 Z_i \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $Z_1$  – затраты на устройство, содержание и ликвидацию лесовозного уса и погрузочных пунктов, руб.;

$Z_2$  – затраты на устройство магистральных трелевочных волоков, руб.;

$Z_3$  – затраты на вывозку древесины по усу, руб.;

$Z_4$  – затраты на трелевку лесоматериалов по магистральным волокам, руб.;

$Z_5$  – затраты на устройство пасечных трелевочных волоков, руб.;

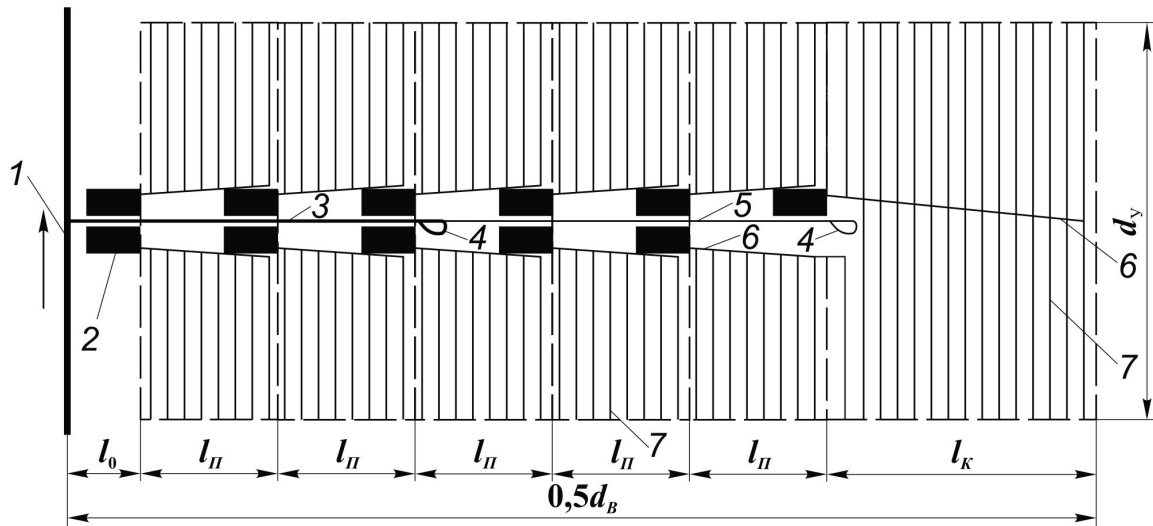


Рисунок. Схема лесосеки при размещении пасечных волоков перпендикулярно лесовозному усу:  
1 – ветка; 2 – погрузочный пункт; 3 – ус с покрытием; 4 – петлевой разворот; 5 – грунтовый ус; 6 – магистральный волок; 7 – пасечный волок

$Z_6$  – затраты на трелевку древесины по пасечным волокам, руб.

На рисунке представлена схема лесосеки с размещением пасечных волоков перпендикулярно лесовозному усу, которая широко используется как при машинном, так и механизированном способах разработки [3]. Лесовозный ус (рисунок) имеет протяженность меньше, чем длина лесосеки и состоит из двух участков: с покрытием 3 и грунтового 5, а длина (глубина) лесосеки  $l_{л}$  (км) согласно схеме составляет

$$l_{л} = 0,5d_{Б} - l_0 = ml_{П} + l_{К} = l_{УП} + l_{УГ} + l_{К} + l_0 = A / 100d_{У}, \quad (4)$$

- где  $d_{Б}$  – ширина зоны тяготения к ветке, км;  
 $l_0$  – расстояние от оси ветки до границы лесосеки, км;  
 $m$  – количество пасек, расположенных по одной стороне уса;  
 $l_{П}$  – расстояние между погрузочными пунктами, км;  
 $l_{К}$  – протяженность глубинного участка лесосеки, в которую не прокладывают ус, км;  
 $A$  – площадь лесосеки, га;  
 $d_{У}$  – ширина зоны тяготения к усу, км.

Из выражения (4) следует зависимость

$$l_{УГ} = (A / 100d_{У}) + l_0 - l_{УП} - l_{К}. \quad (5)$$

Для схемы лесосеки, представленной на рисунке, частные составляющие целевой

функции (3) определяются по следующим формулам.

$$Z_1 = k_{У}(l_{УП}C_{УП} + l_{УГ}C_{УГ}) + ((l_{УП} + l_{П} - l_0)C_{РП} / L_{РПП}) + l_{УГ}C_{РГ} / L_{РРГ} + K(km + 1), \quad (6)$$

- где  $k_{У}$  – коэффициент развития уса;  
 $C_{УП}$  – удельная стоимость строительства, содержания и ликвидации уса с покрытием, руб/км;  
 $C_{УГ}$  – удельная стоимость строительства, содержания и ликвидации грунтового уса, руб/км;  
 $C_{РП}$  – стоимость строительства, содержания и ликвидации одного петлевого разворота с покрытием, руб.;  
 $L_{РПП}$  – расстояние между петлевыми разворотами в пределах уса с покрытием, км;  
 $C_{РГ}$  – стоимость строительства, содержания и ликвидации одного грунтового петлевого разворота, руб.;  
 $L_{РРГ}$  – расстояние между петлевыми разворотами в пределах грунтового уса, км;  
 $K$  – стоимость устройства, содержания и ликвидации одного погрузочного пункта, руб.;  
 $k$  – коэффициент, зависящий от положения уса на лесосеке, при размещении уса по краю лесосеки  $k = 1$ , а при расположении уса по центру лесосеки или со смещением по направлению грузопотока вдоль ветки  $k = 2$ .

Величина  $(km + 1)$  представляет собой количество погрузочных пунктов на лесосеке, определяемое в зависимости от величины  $l_{\Pi}$  равной [4]

$$l_{\Pi} = 0,14 \sqrt{\frac{kK}{\gamma b_{\text{ТМВ}} k_{\text{РМВ}} d_y}}, \quad (7)$$

где  $\gamma$  – ликвидный запас древесины на 1 га, м<sup>3</sup>/га;

$b_{\text{ТМВ}}$  – удельная стоимость трелевки древесины по магистральным волокам, руб/(м<sup>3</sup>·км);

$k_{\text{РМВ}}$  – коэффициент удлинения магистральных волоков.

Для схемы лесосеки, приведенной на рисунке

$$m = (l_{\text{УП}} + l_{\text{УГ}} - l_0) / l_{\Pi}. \quad (8)$$

С учетом формулы (5) выражение (8) примет вид

$$m = \frac{1}{l_{\Pi}} \left( \frac{A}{100d_y} - l_K \right). \quad (9)$$

Значения  $L_{\text{ПРП}}$  и  $L_{\text{ПРГ}}$  можно установить, используя аналитические зависимости, приведенные в работе [5].

$$Z_2 = k_{\text{РМВ}} C_{\text{МВ}} [km(l_{\Pi} - a_0) + l_K - a_0], \quad (10)$$

где  $C_{\text{МВ}}$  – удельная стоимость устройства и содержания магистрального волока, руб/км;

$a_0$  – расстояние от крайнего пасечного волока до границы пасеки, км.

$$Z_3 = 100\gamma d_y k_y \left\{ \begin{array}{l} b_{\text{УП}}[(l_{\text{УП}} - l_0 + l_{\Pi})[l_0 - \\ - a_1 + 0,5(l_{\text{УП}} - l_0)] + \\ + l_{\text{УП}}(l_{\text{УГ}} - l_{\Pi} + l_K)] + \\ + b_{\text{УГ}}[(l_{\text{УГ}} - l_{\Pi})(0,5l_{\text{УГ}} - \\ - a_1) + l_K(l_{\text{УГ}} - a_1)] \end{array} \right\}, \quad (11)$$

где  $b_{\text{УП}}$  – удельная стоимость перевозки древесины по усу с покрытием, руб/(м<sup>3</sup>·км);

$a_1$  – расстояние от места погрузки до границы пасеки, км;

$b_{\text{УГ}}$  – удельная стоимость перевозки древесины по грунтовому усу, руб/(м<sup>3</sup>·км).

$$Z_4 = 100\gamma d_y b_{\text{ТМВ}} [(0,5l_{\Pi} k_{\text{РМВ}} + a)l_{\Pi} m + (0,5l_K k_{\text{РМВ}} + a)l_K], \quad (12)$$

где  $a$  – расстояние, проходимое трелевочной машиной в пределах погрузочного пункта, км.

$$Z_5 = (k_{\text{РПВ}} C_{\text{ПВ}} / a_{\Pi}) \{ l_{\Pi} m [d_y - k(z + c) - s_y] + l_K (d_y - s_{\text{МВ}} - kc) \}, \quad (13)$$

где  $k_{\text{РПВ}}$  – коэффициент развития пасечного волока;

$C_{\text{ПВ}}$  – удельные затраты на устройство пасечного волока, руб/км;

$a_{\Pi}$  – ширина зоны тяготения к пасечному волоку, км;

$z$  – расстояние от уса до магистрального трелевочного волока, км;

$c$  – расстояние от конца пасечного волока до границы лесосеки, км;

$s_y$  – ширина уса, км;

$s_{\text{МВ}}$  – ширина магистрального волока, км.

$$Z_6 = (50\gamma k_{\text{РПВ}} b_{\text{ТПВ}} / k) [l_{\Pi} m (d_y - kz - s_y)^2 + l_K (d_y - s_{\text{МВ}})^2], \quad (14)$$

где  $b_{\text{ТПВ}}$  – удельная стоимость трелевки древесины по пасечным волокам, руб/(м<sup>3</sup>·км).

Для поиска оптимальных значений параметров лесовозного уса  $l_{\text{УП}}$  и  $l_{\text{УГ}}$  найдем производные от целевой функции (3), при этом учтем, что функция (3) – аддитивная, а поэтому достаточно найти производные от ее составляющих  $Z_i$  и сложить их. В зависимостях (6), (10–14) переменными величинами являются:  $l_{\text{УП}}$ ,  $l_{\text{УГ}}$ ,  $l_K$ ,  $m$ , причем  $l_{\text{УГ}}$  и  $m$  в свою очередь зависят от  $l_{\text{УП}}$  и  $l_K$ , что подтверждают зависимости (5) и (9).

Производные частного порядка от функций (5) и (9) по аргументам  $l_{\text{УГ}}$  и  $l_K$  равны

$$\partial l_{\text{УГ}} / \partial l_{\text{УП}} = \partial l_{\text{УГ}} / \partial l_K = -1. \quad (15)$$

$$\partial m / \partial l_{\text{УП}} = 0; \quad \partial m / \partial l_K = -1 / l_{\Pi}. \quad (16)$$

Суммирование производных частного порядка от функций (6), (10–14) позволяет получить следующие уравнения

$$\sum_{i=1}^6 \frac{\partial Z_i}{\partial l_K} = -k_y C_{\text{УГ}} - \frac{C_{\text{РГ}}}{L_{\text{ПРГ}}} - \frac{kK}{l_{\Pi}} - \frac{kk_{\text{РМВ}} C_{\text{МВ}}}{l_{\Pi}} (l_{\Pi} - a_0) + 100\gamma d_y (0,5l_{\Pi} - l_K) (k_y b_{\text{УГ}} - b_{\text{ТМВ}} k_{\text{РМВ}}) + \frac{k_{\text{РПВ}} C_{\text{ПВ}}}{a_{\Pi}} \{ kz + s_y - s_{\text{МВ}} \} + \frac{50\gamma k_{\text{РПВ}} b_{\text{ТПВ}}}{k} \times \times [(d_y - s_{\text{МВ}})^2 - (d_y - kz - s_y)^2] = 0. \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^6 \frac{\partial Z_i}{\partial l_{\text{УП}}} = k_y (C_{\text{УП}} - C_{\text{УГ}}) + \frac{C_{\text{РП}}}{L_{\text{ПРП}}} - \frac{C_{\text{РГ}}}{L_{\text{ПРГ}}} + 100\gamma \times \times d_y k_y (b_{\text{УП}} - b_{\text{УГ}}) (l_{\text{УГ}} + l_K - 0,5l_{\Pi} - a_1) = 0. \quad (18)$$

Из уравнения (17) получим зависимость для расчета оптимального значения  $l_K$ , а из уравнения (18) –  $l_{\text{УГ}}$ .

$$l_K = \frac{1}{100\gamma d_v (k_v b_{vГ} - b_{ТМВ} k_{РМВ})} \times$$

$$\times \left\{ \begin{aligned} & \frac{k_{РПВ} C_{ПВ}}{a_{П}} \{kz + s_v - s_{МВ}\} + \\ & + \frac{50\gamma k_{РПВ} b_{ТПВ}}{k} [(d_v - s_{МВ})^2 - \\ & - (d_v - kz - s_v)^2] - k_v C_{vГ} - \\ & - \frac{C_{РГ}}{L_{РГ}} - \frac{kK}{l_{П}} - \frac{kk_{РМВ} C_{МВ}}{l_{П}} (l_{П} - a_0) \end{aligned} \right\} + 0,5l_{П}. \quad (19)$$

$$l_{vГ} = \frac{1}{100\gamma d_v k_v (b_{vП} - b_{vГ})} \left[ \frac{C_{РГ}}{L_{РГ}} - k_v (C_{vП} - \right.$$

$$\left. - C_{vГ}) - \frac{C_{РП}}{L_{РП}} \right] - l_K + 0,5l_{П} + a_1. \quad (20)$$

Анализ зависимостей (19) и (20) показывает, что протяженность лесовозного уса в пределах лесосеки, определяемая величиной  $l_K$ , зависит от размеров лесосеки и от соотношения удельных стоимостей строительства, содержания и ликвидации уса, магистрального волока, вывозки и трелевки древесины. Экономически целесообразно устраивать ус на протяжении 50–70 % от длины (глубины) лесосеки в зависимости от вышеперечисленных параметров. Целесообразность устройства головного участка уса более совершенной конструкции определяется соотношением удельных стоимостей строительства, содержания и ликвидации участков уса различной конструкции и вывозки древесины по ним, а также от протяженности уса.

При ограниченной протяженности уса устройство головного участка более совершенной конструкции может быть нецелесообразным, но зависимости (19) и (20) не учитывают потери от простоя транспорта в периоды, когда грунтовые дороги становятся непроезжими, а также увеличение затрат на вывозку по причине ухудшения состояния грунтовых дорог. Для устранения возможных потерь необходимо при организации вывозки древесины в неморозный период рассмотреть следующие варианты:

– устройство в отдельные лесосеки усов с покрытиями, которые можно эксплуатировать после затяжных дождей;

– устройство головных участков всех усов с покрытиями;

– устройство в отдельные лесосеки головных участков усов с покрытиями.

Выбор конкретного варианта представляет собой комплексную технико-экономическую задачу, решение которой невозможно без аналитических зависимостей, представленных в настоящей работе. Объемы строительства усов различных конструкций определяются в зависимости от климатических условий района и типа местности по степени и характеру увлажнения.

### Выводы

1. Анализ представленных аналитических зависимостей показывает, что экономически оправдано прокладывать ус в лесосеку на некоторую часть ее глубины, величина которой зависит от размеров лесосеки и от соотношения удельных стоимостей строительства, содержания и ликвидации уса, магистрального волока, вывозки и трелевки древесины, а также от ликвидного запаса древесины.

2. Выделение по протяженности уса участков различной конструкции, причем на головном участке устройство более совершенной дорожной конструкции обосновывается с учетом климатических условий района и типа местности по степени и характеру увлажнения, а также размеров лесосеки и сроков ее транспортного освоения.

### Библиографический список

1. Сухопутный транспорт леса / В.И. Алябьев, Б.А. Ильин, Б.И. Кувалдин и др. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 416 с.
2. Ильин, Б.А. Основы размещения лесовозных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий / Б.А. Ильин. – Л.: ЛТА, 1987. – 63 с.
3. Иевлев, А.И. Моделирование и оптимизация лесопромышленных процессов. – в 2-х ч. Ч. 2. / А.И. Иевлев, И.А. Сидельников. – Воронеж: ВГЛТА, 1997. – 76 с.
4. Афоничев, Д.Н. Оптимизация размещения внутриплощадочных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий / Д.Н. Афоничев // Природопользование: ресурсы, техническое обеспечение: межвуз. сб. научн. тр. ВГЛТА. – Воронеж, 2007. – Вып. 3. – С. 36–42.
5. Афоничев, Д.Н. Размещение петлевых разворотов на лесовозных усах / Д.Н. Афоничев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – № 6. – С. 93–97.



## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВО-ГРУНТОВ КОНСТРУКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Д.Н. АФОНИЧЕВ, проф. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, д-р техн. наук  
*dmafonichev@yandex.ru*

Одной из наиболее важных проблем развития транспортных сетей в лесных массивах является влияние дорог на изменение водного режима лесных почв и грунтов [1, 2]. Серьезный ущерб окружающей среде наносят выведенные из эксплуатации временные дороги: ветки и усы [3]. Элементы заброшенных дорожных конструкций портят лесной ландшафт, а почво-грунты в местах проложения использованных дорог уплотнены и на них не произрастают растения в течение нескольких лет по причине нарушения водо-физических свойств и теплового режима [4]. Причиной высокого уплотнения грунтов при эксплуатации временных дорог является применение примитивных низших типов конструкций покрытий или грунтовых дорог [5].

Сборно-разборные дорожные покрытия в виду особенностей их конструкции дают возможность создания экологически безопасных временных путей в лесных массивах. Их применение при условии минимизации давления, передаваемого на основание, позволит исключить или существенно снизить экологические последствия строительства и эксплуатации временных дорог.

При движении автопоездов динамические нагрузки от колес воспринимаются плитами покрытия и передаются на основание. Величина максимального давления  $p_{\max}$ , воспринимаемая основанием, характеризует степень уплотнения грунта подстилающего слоя и позволяет установить требуемую толщину  $h_0$ , усиливающего слоя основания, необходимую для обеспечения достаточной несущей способности.

На стадии разработки конструкций покрытий оценку создаваемого ими давления на основание можно произвести посредством имитационного моделирования взаимодействия автопоездов с элементами сборных до-

рожных покрытий. Для снижения негативного воздействия на лесные почво-грунты необходимо производить подбор таких конструктивных параметров элементов сборно-разборного покрытия (дорожных плит или щитов), которые обеспечивали бы наименьшее давление на основание. Целевая функция модели выглядит следующим образом

$$p_{\max} = k_{\text{ПЖ}} X_{\max} / Bc \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $k_{\text{ПЖ}}$  – коэффициент, учитывающий жесткость элемента сборно-разборного покрытия в поперечном направлении;  
 $X_{\max}$  – максимальное значение реакции основания, Н;

$B$  – ширина плиты или щита, м;

$c$  – длина элементарного участка, на которые разбивается элемент покрытия в продольном направлении, м.

$$X_{\max} = \max \{X_{1\max}, X_{2\max}, \dots, X_{E\max}\}, \quad (2)$$

где  $X_{1\max}, X_{2\max}, \dots, X_{E\max}$  – ряд максимальных значений реакции основания соответствующих определенным положениям внешних (колесных) нагрузок, Н;

$E$  – количество вариантов расположения внешних нагрузок, принятых при моделировании, определяемое в зависимости от межосевых расстояний, количества осей автопоезда и длины элемента покрытия.

$$X_{E\max} = \max \{X_1, X_2, \dots, X_U\}, \quad (3)$$

где  $X_1, X_2, \dots, X_U$  – ряд значений реакции основания в продольном направлении элемента покрытия, приложенных в центрах элементарных участков длиной  $c$  при некотором  $e$ -м положении внешних нагрузок, Н;

$U$  – количество элементарных участков длиной  $c$ , на которые разбивается элемент покрытия в продольном направлении.

Реакции  $X_1, X_2, \dots, X_U$  определяются путем составления и решения системы канонических уравнений

нических уравнений смешенного метода. Расчетные схемы к составлению уравнений приведены в работе [6].

Система канонических уравнений имеет вид матрицы, свободные члены которой  $\Delta_{ip}$  определяются через интеграл Максвелла-Мора [7], а коэффициенты  $\delta_{ij}$  включают в себя сумму прогиба балки по направлению единичной силы  $X_i$  от действия единичной силы  $X_j$ , определяемого интегралом Максвелла-Мора, и осадки основания, зависящей от расстояния  $z$  между точками, где она определяется и где приложена единичная сила ( $z = c_j - c_i, c_j, c_i$  – координаты точек приложения единичных сил  $X_i$  и  $X_j$ ). Общий вид матрицы канонических уравнений следующий

$$\begin{pmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1j} & \dots & \delta_{1U} & c_1 & 1 & \Delta_{1p} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2j} & \dots & \delta_{2U} & c_2 & 1 & \Delta_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{i1} & \delta_{i2} & \dots & \delta_{ij} & \dots & \delta_{iU} & c_i & 1 & \Delta_{ip} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{U1} & \delta_{U2} & \dots & \delta_{Uj} & \dots & \delta_{UU} & c_U & 1 & \Delta_{Up} \\ c_1 & c_2 & \dots & c_j & \dots & c_U & 0 & 0 & P_0 \frac{L^2}{2} + \sum_{\gamma=1}^n P_\gamma x_\gamma \\ 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & P_0 L + \sum_{\gamma=1}^n P_\gamma \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где  $P_0$  – собственный вес элемента покрытия, распределенный по его длине, Н/м.

Применительно к элементу сборно-разборного покрытия автодороги  $\delta_{ij}$  определяются по формуле

$$\delta_{ij} = \frac{(1 - \mu_0^2) F_{ij}}{\pi c K_0 E_0} + \frac{1}{EJ} \left( \frac{c_i^3}{3} + \frac{c_i^2}{2} z \right), \quad (5)$$

где  $\mu_0$  – коэффициент Пуассона материала основания;

$E, E_0$  – соответственно модули упругости материалов элемента покрытия и основания, Па;

$K_0$  – коэффициент перехода к модулю упругости материала основания под покрытием;

$J$  – момент инерции поперечного сечения элемента покрытия, м<sup>4</sup>;

$F_{ij}$  – функция, характеризующая условия осадки основания [7].

Свободный член  $\Delta_{ip}$  для произвольного случая нагружения элемента сборно-разборного покрытия с учетом его собственного веса в виде равномерно распределенной по длине нагрузки  $P_0 = g\gamma BH$  ( $\gamma$  – удельная масса материала элемента покрытия, кг/м<sup>3</sup>) определяется по формуле [6]

$$\begin{aligned} \Delta_{ip} = & \frac{1}{EJ} \left\{ \sum_{e=j+1}^n \left[ P_e \left( \left( \sum_{i=j}^{e-1} a_i - a \right) \frac{a^2}{2} + \frac{a^3}{3} \right) \right] + \right. \\ & + P_0 \left( \frac{a^4}{8} + (L - c_i) \left( \frac{L - c_i}{4} a^2 + \frac{a^3}{3} \right) \right) + \\ & + \sum_{k=1}^{j-1} \left[ \sum_{e=k+1}^n \left[ P_e \left( a + \sum_{i=k+1}^{j-1} a_i \right) a_k \sum_{i=k+1}^{e-1} a_i + \left( \sum_{i=k+1}^{e-1} a_i + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. + \sum_{i=k+1}^{j-1} a_i + a \right) \frac{a_k^2}{2} + \frac{a_k^3}{3} \right] + P_0 \left( \frac{a_k^4}{8} + \left( a + \sum_{i=k+1}^{j-1} a_i \right) \frac{a_k^3}{6} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \left( L - \sum_{i=1}^k a_i \right) \left( \frac{L - \sum_{i=1}^k a_i}{4} a_k^2 + \frac{a_k^3}{3} \right) \right] + \left( a + \sum_{i=k+1}^{j-1} a_i \right) \times \right. \\ & \left. \times \left( L - \sum_{i=1}^k a_i \right) \left( \frac{L - \sum_{i=1}^k a_i}{2} a_k + \frac{a_k^2}{2} \right) \right] \right\}. \quad (6) \\ & a = c_i - x_j, \quad (7) \end{aligned}$$

где  $j$  – номер внешней силы  $P_j$  после, которой приложена единичная  $i$ -ая сила  $X_i$ , то есть  $x_j < c_i < x_{j+1}$ .

Плотность почво-грунтов в местах проложения временных дорог также зависит от количества циклов нагружения, которое можно рассчитать для лесовозной дороги по формуле

$$n_{\text{нар}} = Q / k_{\text{исп}} Q_{\text{П}}, \quad (8)$$

где  $Q$  – грузооборот дороги, м<sup>3</sup>;

$k_{\text{исп}}$  – коэффициент использования полезной нагрузки;

$Q_{\text{П}}$  – полезная нагрузка на автопоезд, м<sup>3</sup>.

Для реализации модели (1) на ЭВМ разработана программа, которая позволяет установить для элементов сборно-разборного дорожного покрытия определенной конструкции с известными размерами (толщина, длина, ширина) максимальное значение давления на основание. Использование модели и разработанной ЭВМ-программы дает возможность в системе автоматизированного проек-

тирования выбрать из множества вариантов конструкций покрытий временных дорог конструкцию, которая обеспечит наименьшее давление на лесные почво-грунты.

### Библиографический список

1. Экологические проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог в условиях леса / В.К. Курьянов, Н.И. Чубов, Д.Н. Афоничев и др. // Экология и безопасность жизнедеятельности: сб. научн. тр. ВГТА. – Воронеж, 1997. – С. 29–33.
2. Чертов, О.Г. Экологические аспекты проблемы размещения лесотранспортных сетей постоянно действующих лесных предприятий / О.Г. Чертов, Е.Г. Гладков, Е.С. Никитина // Сухопутный транспорт леса: сб. научн. тр. ЛТА. – СПб., 1994. – С. 58–62.
3. Афоничев, Д.Н. Снижение воздействия временных автомобильных дорог на лесные экосистемы / Д.Н. Афоничев // Леса Белоруссии и их рациональное использование: Матер. междунар. научно-техн. конф. БГТУ. – Минск, 2000. – С. 422–424.
4. Матвеев, С.М. К методике оценки рекреационных участков по степени уплотнения почвы / С.М. Матвеев // Комплексная продуктивность лесов и организация многоцелевого (многопродуктивного) лесопользования: Тез. Всеросс. конф. ВГЛТА. – Воронеж, 1996. – С. 54–56.
5. Временные лесовозные дороги / Ю.М. Анастасюк, Е.А. Юдин, Н.А. Яковлев и др. // Лесная промышленность. – 1989. – № 11. – С. 20–21.
6. Курьянов, В.К. Совершенствование проектных решений сборных покрытий автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования / В.К. Курьянов, Д.Н. Афоничев. – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – 180 с.
7. Жемочкин, Б.Н. Практические методы расчета фундаментальных балок и плит на упругом основании / Б.Н. Жемочкин, А.П. Синицын. – М.: Стройиздат, 1962. – 232 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

М.Э. ИВАНОВА, *асп. каф. транспорта леса МГУЛ*

*mivanova008@rambler.ru*

Одной из важнейших задач в становлении лесного кластера является достижение оптимального уровня развития транспортной сети и плотности транзитных путей, среди которых – судоходные реки, железные дороги широкой колеи, автомобильные дороги федерального и регионального значения. Автомобильные дороги регионального значения подразделяются на дороги общего [1] и необщего (специализированного) пользования, в том числе лесные дороги.

Характеристики автомобильных дорог общего пользования определяются в соответствии со СНиП 2.05.02.-85 «Автомобильные дороги» [2] и Национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 52398-2005 [3], разработанным техническим комитетом по стандартизации ТК 418 «Дорожное хозяйство». На дороги промышленных предприятий распространяется СНиП 2.05.07-91 «Промышленный транспорт» [4].

При проектировании действующих лесовозных и лесохозяйственных дорог использовались нормативы, установленные

«Инструкцией по проектированию лесозаготовительных предприятий» – ВСН 01-82 [5] и «Инструкцией по проектированию лесохозяйственных автомобильных дорог» – ВСН 07-82 [6].

Лесной кодекс Российской Федерации, введенный в действие с 1 января 2007 г., внес значительные изменения в лесные отношения. Эти изменения затрагивают вопросы создания и эксплуатации лесной инфраструктуры. Признано нецелесообразным разделять лесные дороги на лесовозные и лесохозяйственные и иметь отдельные системы их классификации.

В соответствии с частью 8 статьи 83 ЛФ РФ Министерством сельского хозяйства Российской Федерации разработаны методические и инструктивные материалы об осуществлении переданных органам государственной власти субъектов Российской Федерации полномочий по созданию и эксплуатации лесных дорог, предназначенных для охраны, защиты и воспроизводства лесов, включающие:

– индикативные нормативы денежных затрат на создание лесных дорог класса IV-ЛД по субъектам Российской Федерации на 2009–2010 гг.;

– классификацию лесных дорог, предназначенных для охраны, защиты, воспроизводства и использования лесов, расположенных на землях лесного фонда;

– виды работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию лесных дорог, предназначенных для охраны, защиты и воспроизводства лесов, расположенных на землях лесного фонда;

– нормативы денежных затрат на содержание и ремонт лесных дорог, предоставляемых из федерального бюджета за счет субвенций бюджетам субъектов Российской Федерации и правила их расчета;

– методические рекомендации по планированию размещения лесных дорог;

– свод правил по проектированию лесных дорог необщего пользования;

– технико-экономическое обоснование нормативов затрат на строительство 1 км лесной дороги класса IV-ЛД.

Методические материалы находятся на рассмотрении и пока еще не вступили в действие. Они устанавливают новую классификацию лесных дорог и правила их эксплуатации.

В предлагаемой классификации лесные дороги подразделяются на классы (I-ЛД, II-ЛД, III-ЛД и IV-ЛД). В отдельный класс по условиям функционального назначения выделяются дороги IV-ЛД класса. Этот класс дорог предназначен для обеспечения проведения противопожарных мероприятий на территориях лесного фонда, не охваченных хозяйственной деятельностью. Дороги выполняются по упрощенной конструктивной схеме – однополосные с разъездами, без дорожного покрытия. При пересечении водотоков устраиваются малые искусственные сооружения.

Вместе с тем развитие сети лесных дорог в субъектах РФ требует дальнейшего совершенствования федерального законодательства. Автомобильные дороги общего пользования – это дороги, обеспечивающие

движение автомобилей, отвечающих требованиям государственного стандарта (по нагрузкам и габаритам) [7]. Они находятся на балансе органов управления дорожным хозяйством.

Лесные же дороги являются дорогами необщего пользования, создаются на землях лесного фонда, а также на землях иных категорий, на которых располагаются леса. Лесные дороги представляют единую транспортную сеть, соединяющую лесные массивы лесничеств и лесопарков, лесные участки и иные лесохозяйственные объекты (лесопожарные и лесосеменные центры, крупные лесные питомники, объекты единого генетико-селекционного комплекса и т.д.) между собой и с путями движения транспорта общего пользования [8].

Лесозаготовительные предприятия для поддержания деятельности вынуждены содержать существующие дороги в пригодном для эксплуатации состоянии и строить новые. Отнесение затрат на строительство дорог на себестоимость заготавливаемой древесины приводит к ее резкому удорожанию. Постановка построенных лесных дорог на баланс предприятия увеличивает налог на имущество.

В этой связи, по мнению лесопользователей, остается неурегулированным вопрос о собственнике построенных лесных дорог. Собственником леса является государство. Если дорога построена на территории государственного леса, то надо ее передать в собственность государства со всеми последствиями, т.е. вернуть предприятию затраты на строительство, сняв с предприятия затраты на амортизацию. Наличие дороги обеспечивает арендатору возможность эффективнее выполнять свои функции по лесопользованию (и платить налоги от полученного дохода), собственнику леса – государству – получать повышенную арендную плату за счет сдачи в аренду лесного участка, обеспеченного транспортной инфраструктурой (и налог от повышенного дохода лесопользователя).

Проанализируем сегодняшнее состояние лесных дорог на примере лесной дорожной сети Рязанской области (рис. 4).

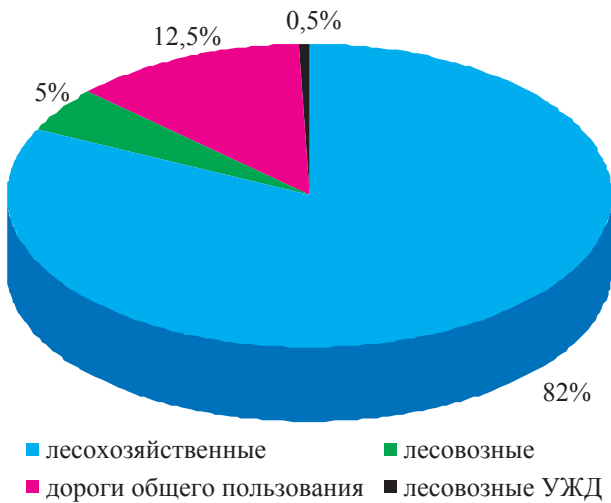


Рис. 1. Протяженность транспортной сети по всем типам дорог



Рис. 2. Протяженность автомобильных дорог по видам покрытия

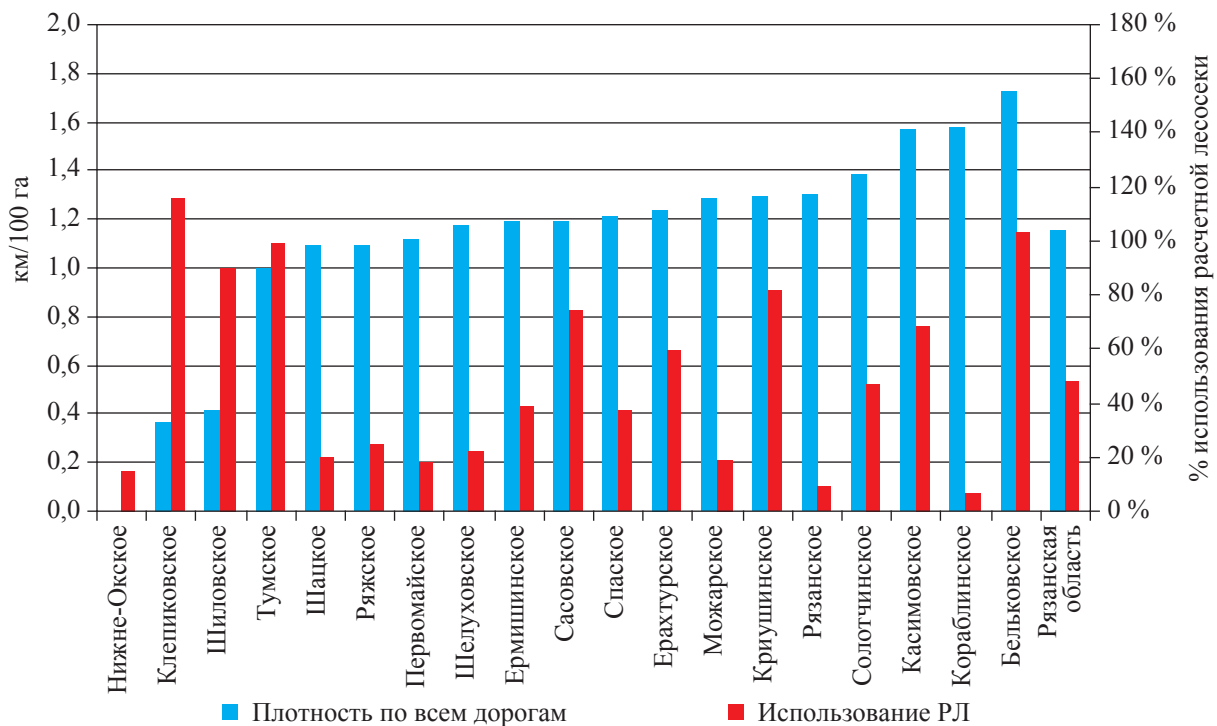


Рис. 3. Сравнение плотности существующих автодорог с ежегодным объемом использования лесов

В настоящее время в Рязанской области основными путями транспорта, по которым производится вывозка заготовленной древесины, являются дороги общего пользования и специализированные дороги, построенные лесозаготовителями. Они связывают места главных рубок леса и отдельные лесные кварталы с пунктами вывозки древесины и лесными поселками. Расстояние вывозки до пунктов переработки составляет от 30 до 180 км.

По состоянию на 1 января 2010 г. в лесничествах области имелось 10390 км всех видов дорог [9]. Железных дорог – 157,7 км, из них узкой колеи – 46 км, и автомобильных дорог – 10162 км (рис. 1).

При этом доля грунтовых дорог составляет 95 % от всех автомобильных дорог области (рис. 2). Из них круглогодичного действия 1985 км (21 %). Преобладающие грунтовые дороги в лесах не могут служить надежной базой для работы машин и механизмов.

**Показатели заготовки древесины и плотность дорог в Рязанской области**

Наименование лесничеств	Плотность автомобильной сети дорог, км/100 га		Годовой объем заготовки (2009 г.), тыс. кубм	Расчетная лесосека (РЛ), тыс. кубм	Использование РЛ, %
	по всем типам дорог	в т.ч. круглогодого действия			
Бельковское	1,73	0,42	103,2	89,7	115
Ерахтурское	1,24	0,54	61,7	93,1	66
Ермишинское	1,19	0,32	58,3	136,5	43
Касимовское	1,57	0,06	61,4	81,1	76
Клепиковское	0,37	0,29	45,1	35,1	128
Кораблинское	1,58	0,69	3,7	52,2	7
Криушинское	1,29	0,30	36,4	39,9	91
Можарское	1,28	0,31	20,3	97,6	21
Первомайское	1,12	0,05	23,6	119,1	20
Рязское	1,09	0,33	7,2	26,1	28
Рязанское	1,30	0,03	4,9	46,8	10
Сасовское	1,19	0,01	127,5	153,2	83
Солотчинское	1,38	1,26	42,5	81,7	52
Спасское	1,21	0,04	48,8	120	41
Тумское	1,00	0,07	72,8	66,4	110
Шацкое	1,09	0,27	20,7	93,5	22
Шелуховское	1,17	0,04	17,8	71,8	25
Шиловское	0,41	0,18	15,6	15,6	100
Нижне-Окское	0,00	0,00	9,9	59,7	17
Всего:	1,16	0,27	781,0	1479,3	53

Грунтовые дороги в лесу служат максимум 4–5 лет, затем разрушаются, и их нужно капитально ремонтировать.

Для освоения расчетной лесосеки в целях заготовки спелых и перестойных лесных насаждений независимо от породного состава в эксплуатационных лесах необходимо иметь не менее 30–35 % дорог с твердым покрытием, то есть обеспечивать гарантированное круглогодое их использование. При ведении интенсивного лесного хозяйства обеспеченность лесными дорогами является базовым условием осуществления нормативных рубок ухода за лесом.

В среднем по Рязанской области обеспеченность лесного фонда автомобильными дорогами составляет 1,16 км на 100 га площади лесного фонда.

По отдельным лесничествам протяженность дорог на 100 га площади лесного фонда варьируется. Наибольшая насыщенность дорогами отмечается в Бельковском лесничестве (1,73 км на 100 га лесного фонда), наименьшая – в Клепиковском (0,37 км на 100 га лесного фонда).

Результаты сопоставления плотности существующих дорог с ежегодным объемом использования лесов по лесничествам, представлены в табл. 1.

В Шиловском и Клепиковском лесничествах наименьшая плотность автомобильных дорог на 100 га площади лесного фонда (0,41 и 0,37 км/100 га соответственно), при этом расчетная лесосека в лесничествах используется на 100 % и 128 % (переруб). В Кораблинском лесничестве плотность дорог соответствует нормативной – 1,58 км/100 га, а расчетная лесосека используется всего на 7 % (рис. 3).

Снижение цен и обеспечение конкурентоспособности производства напрямую связано с возможностями вывоза заготовленной древесины. Наличие развитой дорожной сети круглогодого действия способно обеспечить высокую эффективность деятельности всего лесного сектора Рязанской области.

Важнейшим элементом технической доступности лесных ресурсов и экономической эффективной лесозаготовки является сеть дорог общего пользования и лесных дорог.

**Протяженность существующих дорог и необходимый ежегодный объем строительства лесных дорог**

Наименование лесничеств	Допустимый годовой объем заготовки, тыс. кубм	Запас на 1 га, кубм	Протяженность существующих дорог, км			Ежегодная потребность в строительстве дорог, км	
			всего	автомобильных	из них с твердым типом покрытия	в зоне ЛПЭ	в зоне ЛХ
Бельковское	89,7	149	1413	1413	74	5	7
Ерахтурское	93,1	152	464	449	5	6	7
Ермишинское	136,5	155	756	742	8	8	10
Касимовское	81,1	158	954	941	13	5	6
Клепиковское	35,1	157	293	193	110	2	3
Кораблинское	52,2	187	316	316	24	3	3
Криушинское	39,9	135	586	568	18	3	3
Можарское	97,6	184	518	518	5	5	6
Первомайское	119,1	210	555	535	13	5	7
Ряжское	26,1	204	195	195	6	1	1
Рязанское	46,8	205	321	321	4	2	3
Сасовское	153,2	166	838	824	10	8	11
Солотчинское	81,7	147	808	808	75	5	6
Спасское	120	163	688	688	10	7	8
Тумское	66,4	164	513	493	35	4	5
Шацкое	93,5	183	744	744	10	5	6
Нижне-Окское	59,7	165	315	313	7	3	4
Шелуховское	71,8	193	112,9	101,2	44	3	4
Шиловское	15,6	154	–	–	–	1	1
Итого по Рязанской области	1479,3	166	10390	10162	471	79	101

Многолетней практикой и нормами технологического проектирования установлено, что для организации регулярного лесопользования и ведения лесного хозяйства, рационального использования лесосырьевых запасов необходимо качество дорожного покрытия – 30–35 % дорог с твердым типом покрытия и надлежащая плотность лесных дорог должна составлять на 100 га лесной площади:

- в зоне лесопромышленной эксплуатации (ЛПЭ) 0,8–1,0 км;
- в зоне интенсивного ведения лесного хозяйства (ЛХ) 0,9–1,4 км.

Проектирование лесных дорог должно осуществляться с учетом существующих дорог, размещения объемов предстоящих работ, осуществляемых предприятиями лесного хозяйства и лесопользователями.

Плановый ежегодный объем строительства лесных дорог в зоне лесопромыш-

ленной эксплуатации для максимального использования расчетной лесосеки, рассчитанный по усредненным нормативам, определялся по формуле

$$L_{пл} = 9 \cdot (V_{заг} / S_{за}).$$

Плановый ежегодный объем строительства лесных дорог в зоне интенсивного ведения лесного хозяйства, рассчитанный по усредненным нормативам, определялся по формуле

$$L_{пл} = 11,5 \cdot (V_{заг} / S_{за}).$$

В приведенных формулах

$V_{заг}$  – годовой объем заготовки, тыс. м<sup>3</sup>

$S_{за}$  – средний запас на 1 га, м<sup>3</sup>

Ежегодная потребность в строительстве лесных дорог в зонах ЛПЭ и ЛХ по лесничествам приведена в табл. 2. Расчет потребности лесных дорог выполнен без разделения их по классам.

Плановая ежегодная потребность в строительстве лесных дорог составляет в

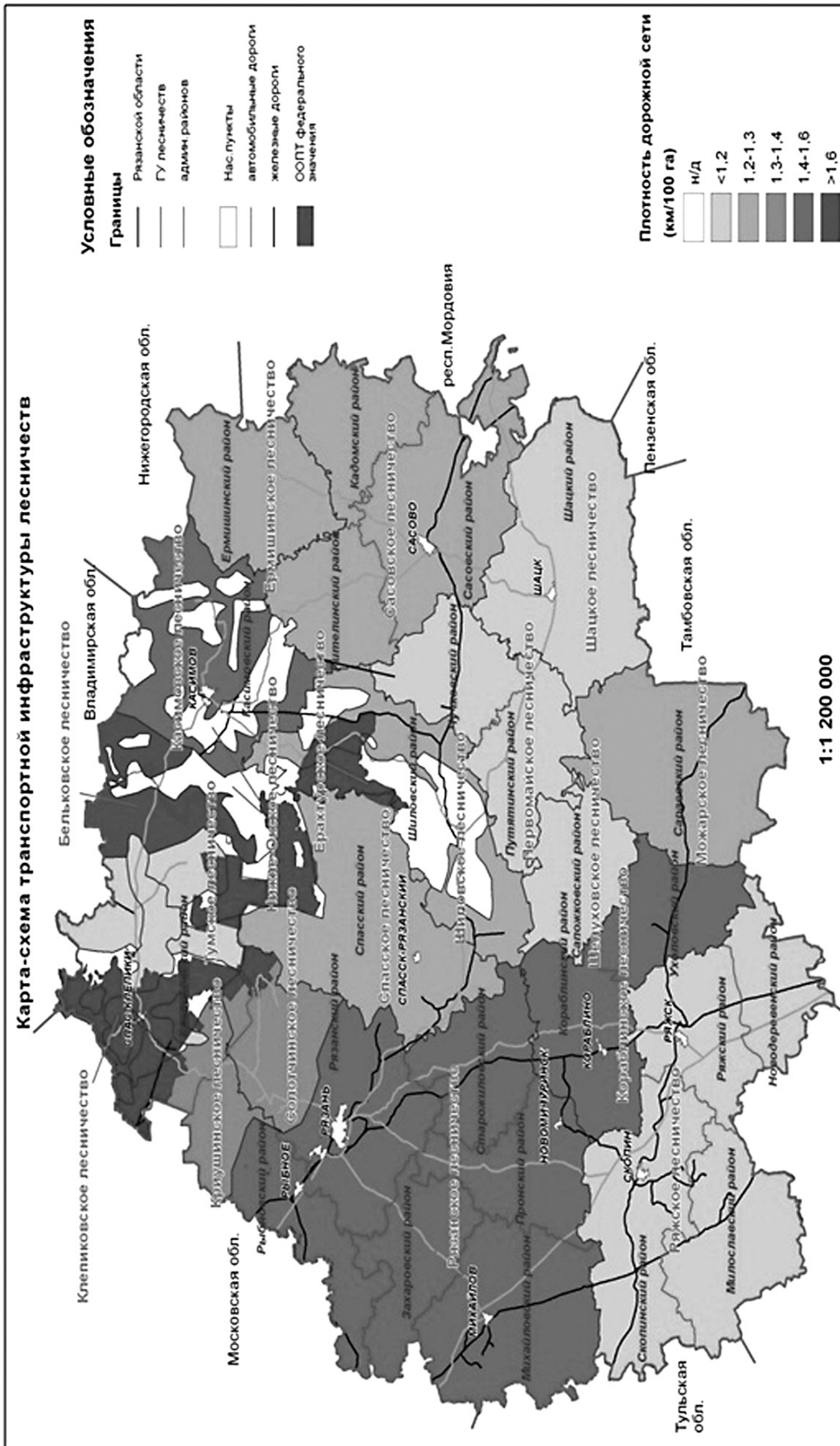


Рис. 4. Карта-схема транспортной инфраструктуры лесничеств



**Планируемые объемы строительства и реконструкции лесных дорог до 2018 г.**

Класс лесной дороги	Протяженность, км		Стоимость в ценах 2010 г, млн руб.*	
	Строительство	Реконструкция	Строительство	Реконструкция
I-ЛД	4,5	41,7	54,0	400,3
II-ЛД	5,2	41,3	36,4	231,3
III-ЛД	32,0	144,2	176,0	634,5
IV-ЛД	11,9	43,5	–	–
Итого	53,6	270,7	266,4	1266,1

\*– ориентировочная стоимость строительства 1 км лесных дорог предоставлена Министерством транспорта и автомобильных дорог Рязанской области

зоне лесопромышленной эксплуатации – 79 км/год, в зоне интенсивного ведения лесного хозяйства – 101 км/год.

В Рязанской области строительство новых лесных дорог ведется в небольших объемах, так как общая плотность автомобильных дорог составляет 1,16 км на 100 га. Протяженность всех дорог круглогодичного действия около 0,27 км на 100 га. Средняя протяженность дорог с твердым покрытием всего 0,05 км на 100 га.

Планируется до 2018 г. строительство 53,6 км лесных дорог разных классов и реконструкция 270,7 км существующих лесных дорог. Капитальные вложения составляют более 1500 млн руб.

Лесная дорога является технологической магистралью леса. По ней ведутся все транспортные перемещения техники, людей, продукции. Качество лесной грунтовой дороги зависит от почвы и климата. В жаркое время сухая грунтовая дорога сильно пылит при проезде автомобилей, что ухудшает видимость. Весной и осенью часто разрушается влагой. В низких местах образуются ухабы, выбоины, глубокие колеи, заполненные водой. Большинство грунтов при увлажнении размягчаются, продавливаются колесами, что вызывает образование колеи, возрастание сопротивления качению колес и ухудшение их сцепления с дорогой. На песчаных участках глубокий песок рассыпается от вращения колес и оказывает сопротивление движению автомобиля. Сухие песчаные участки преодолеть трудно или вообще невозможно, влажные плотнее и держат лучше, но недолго.

Таким образом, наличие лесных дорог с переходным или твердым типом покрытия гарантирует ведение лесозаготовительных и лесохозяйственных работ круглогодично, что обеспечит ритмичную загрузку сырьем деревообрабатывающих предприятий; позволит реализовывать стратегические планы развития, увеличивать объемы производства, создавать новые рабочие места, организовывать глубокую переработку древесины, полученной от лесозаготовок в производстве продукции деревообработки, утилизировать отходы и не востребованную низкотоварную древесину, а также проводить комплекс лесоохранных и лесозащитных мероприятий.

К тому же, чтобы снизить затраты на самую дорогую операцию (трелевка леса) при заготовке древесины, затраты на вывозку леса, необходимо восстановить старые лесовозные дороги при параллельном осуществлении ремонта и реконструкции имеющейся дорожной сети. Затраты же, понесенные на выполнение этих видов работ, будут не всегда окупаться. Именно поэтому крайне актуальной является задача использования лесных дорог для развития дорог общего пользования.

При условии включения лесных дорог в перечень автомобильных дорог общего пользования регионального (межмуниципального) значения или в перечень автомобильных дорог общего пользования местного значения на их строительство и реконструкцию по предложению высшего исполнительного органа государственной власти субъекта Российской Федерации могут выделяться субсидии в соответствии с утвержденными

Правительством Российской Федерации Правилами предоставления субсидий на указанные цели.

В северной и северо-западной части области, где ведется заготовка древесины, планируется перевести 523 км грунтовых дорог в дороги общего пользования с твердым покрытием, которые будут соединять отдаленные населенные пункты между собой, с региональными и федеральными трассами и железными дорогами.

Строительство лесных дорог должно быть синхронизировано с планами лесозаготовок по крупным инвестиционным проектам. Для поддержания лесных дорог в должном состоянии требуются большие затраты. Осуществлять реальную работу по проектированию, строительству и содержанию необходимых лесных дорог возможно

только на основе частно-государственного партнерства.

#### Библиографический список

1. ФЗ от 08.11.2007г. №257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в РФ и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».
2. СНиП 2.05.02.-85 «Автомобильные дороги».
3. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52398-2005.
4. СНиП 2.05.07-91 «Промышленный транспорт».
5. ВСН 01-82 «Инструкцией по проектированию лесозаготовительных предприятий».
6. ВСН 07-82 «Инструкцией по проектированию лесохозяйственных автомобильных дорог».
7. Быков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1: учебник для ВУЗов / В.Ф. Быков, О.В. Андреев. – М.: Транспорт, 1987. – 368 с.
8. Анучин, Н.П. Проблемы лесопользования / Н.П. Анучин. – М., 1986.
9. Отчетные формы Рязанской области на 1.01.10 года.

## КОЭФФИЦИЕНТ ЖЕСТКОСТИ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЕРЕВА ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

Г.А. ИВАНОВ, доц. каф. теории и конструирования машин МГУЛ, канд. техн. наук,  
А.А. КОТОВ, доц. каф. механизации лесохозяйственных работ МГУЛ, д-р техн. наук

[kotov@mgul.ac.ru](mailto:kotov@mgul.ac.ru)

**Ц**ель статьи – определить зависимость изменения коэффициента жесткости корневой системы ствола при статическом изгибе от угла  $\varphi$  отклонения оси ствола от вертикали, в свою очередь определяемого изгибающим моментом.

Это связано с тем, что коэффициент жесткости корневой системы характеризует степень участия корневой системы в противодействии внешней нагрузке. По существу, коэффициент жесткости корневой системы учитывает механическую связь корней дерева с почвой, обеспечивая тем самым упругую заделку ствола. Вместе с тем в справочниках, например [1], практически не приводятся величины коэффициента жесткости корневой системы. Модуль упругости древесины ствола может быть получен путем замеров плотности древесины при 15 % влажности с последующим ее пересчетом по линейным зависимостям [2], тогда как для корней таких зависимостей не приводится.

Традиционно растущее дерево моделируют жестко закрепленной с одной стороны консолью. При этом некоторые исследователи представляют ствол консолью постоянного сечения по высоте дерева, другие используют конус для его описания, однако наиболее оптимальным будет моделирование ствола постоянно выпуклой функцией [3]. При такой постановке влияние корневой системы никоим образом не учитывается. Но тогда, при изучении изгибов ствола под действием рабочих органов машин или ветровой нагрузки, зафиксированные в опыте прогибы будут отражать завышенные значения нормальных напряжений в древесине ствола дерева и не отражать напряжений в корневой системе. В попытках устранить данное несоответствие реальной действительности исследователи, например [4], дерево со стержневой и с поверхностной корневой системами представляют колонной на упругом основании по аналогии со строительной конструкцией. Помимо ко-

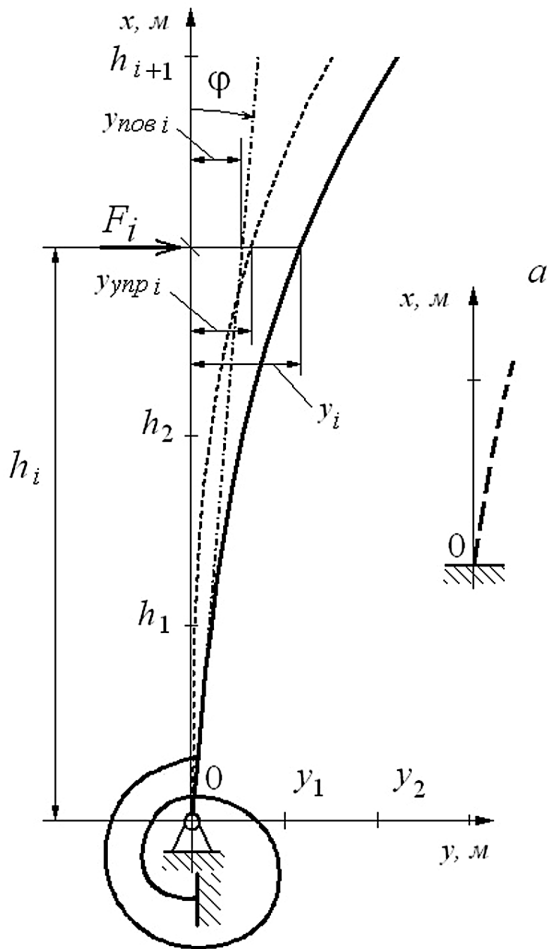


Рис. 1



Рис. 2

лоннообразной, они же предложили другую модель растущего дерева: яхту типа «швербот» рассматривали в качестве подобия дерева со стержневой корневой системой, а двухкорпусную яхту типа «катамаран» – подобия дерева с поверхностной корневой системой.

Принципиально иным вариантом стало представление растущего дерева консолью с шарнирным закреплением на конце, удерживаемой от проворота с помощью двух пружин сжатия, устанавливаемых с двух сторон ствола у основания [5], или спиральной пружины, закрепленной одним концом с основанием, а другим – со стволом [6].

При такой постановке задачи, чтобы найти коэффициент жесткости корневой системы, необходимо разделить движения точки приложения силы  $F_i$  на упругое – от изгиба ствола и поворотное – от деформации стержневой или поверхностной корневых систем. Упругое движение моделирует-

ся упругой балкой переменного сечения по высоте и закреплением типа заделка (рис. 1, а). Поворотное движение ствола дерева на угол  $\phi$ , обусловленное корневой системой (рис. 1), моделируется абсолютно жесткой балкой ствола, жестко связанной у корневой шейки со спиральной пружиной, закручиваемой моментом  $M_i = F_i \cdot h_i$ .

В первой половине сентября 2010 г. на сплошной вырубке, поросшей самосевом, вблизи южной кромки леса были проведены опыты на семи растущих стволах березы высотой от 2,4 до 3,1 м и на одном – сосны высотой 2,2 м, при этом крона удалялась. Чтобы исключить влияние упругого прогиба, ствол от шейки до высоты 0,6 м зажимался двумя металлическими уголками профиля №2 (рис. 2). Этим вводилось допущение о моделировании ствола абсолютно жесткой балкой. Высота растения замерялась рулеткой с точностью до 1 см; диаметр на соответствующих высотах

Т а б л и ц а

№п/п	Параметр	Прямой изгиб					Обратный изгиб				
1	Усилие, $F$ , Н	26,7	44,5	53,4	62,3	75,65	26,7	44,5	53,4	62,3	75,65
	Угол, $\varphi$ , рад	0,06	0,106	0,141	0,144	0,249	0,066	0,116	0,146	0,162	0,275
2	Усилие, $F$ , Н	17,8	26,7	35,6	44,5	53,4	17,8	26,7	35,6	44,5	53,4
	Угол, $\varphi$ , рад	0,04	0,08	0,099	0,138	0,163	0,028	0,071	0,094	0,126	0,154
3	Усилие, $F$ , Н	17,8	26,7	35,6	44,5	53,4	17,8	26,7	35,6	44,5	53,4
	Угол, $\varphi$ , рад	0,08	0,117	0,165	0,205	0,269	0,122	0,146	0,188	0,229	0,28
4	Усилие, $F$ , Н	17,8	31,15	44,5	57,85	71,2	17,8	31,15	44,5	57,85	71,2
	Угол, $\varphi$ , рад	0,02	0,036	0,062	0,086	0,129	0,042	0,079	0,097	0,125	0,169
5	Усилие, $F$ , Н	17,8	26,7	35,6	44,5		Нет данных				
	Угол, $\varphi$ , рад	0,081	0,109	0,153	0,231		Нет данных				
6	Усилие, $F$ , Н	17,8	26,7	35,6	44,5	53,4	17,8	26,7	35,6	44,5	53,4
	Угол, $\varphi$ , рад	0,071	0,09	0,134	0,183	0,23	0,047	0,061	0,079	0,102	0,125
7	Усилие, $F$ , Н	17,8	26,7	35,6	44,5	48,95	17,8	26,7	35,6	44,5	48,95
	Угол, $\varphi$ , рад	0,074	0,103	0,167	0,273	0,393	0,071	0,158	0,222	0,28	–
8	Усилие, $F$ , Н	17,8	26,7	35,6	44,5	53,4	17,8	26,7	35,6	44,5	53,4
	Угол, $\varphi$ , рад	0,017	0,025	0,034	0,044	0,054	0,032	0,039	0,049	0,054	0,062

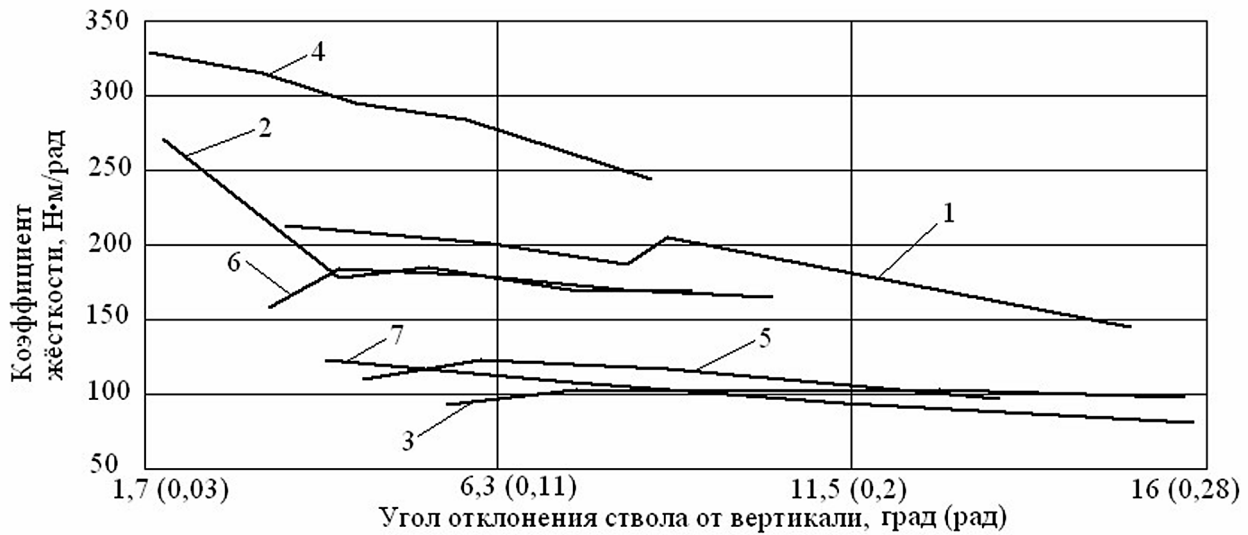


Рис. 3

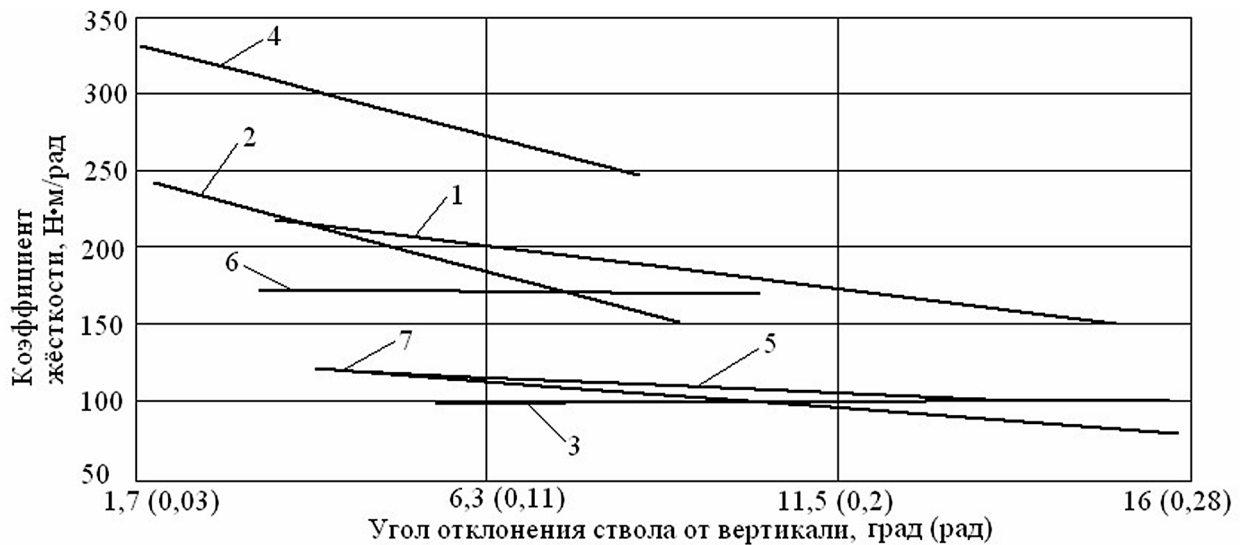


Рис. 4

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

Ввиду того, что отклонить растение точно на определенный угол не представлялось возможным, отклонение производилось фиксированной изгибающей силой  $F$ . Усилия прикладывались на высоте 0,5 м в прямом и обратном направлениях. Усилия увеличивали в арифметической прогрессии, число членов которой равнялось шести. Тогда момент этой силы

$$M = F \cdot h, \quad (1)$$

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

Угол  $\varphi$  отклонения оси ствола от вертикали определялся на фотографии для каждого замера с помощью компьютерной программы Paint. NET. Начало координат совмещалось с геометрическим центром сечения на высоте шейки ствола. Ось  $x$  направлена по оси ствола, ось  $y$  – перпендикулярно оси  $x$ , как на рис. 1.

При этом получены зависимости вида  $\varphi = f_1(M)$ . Затем эти зависимости преобразовывались к виду  $M = f_2(\varphi)$ .

Из условия равновесия (рис. 1, а)

$$F \cdot h = C \cdot \varphi, \quad (2)$$

где  $C$  – коэффициент жесткости корневой системы, Н·м / рад;

$\varphi$  – угол отклонения оси ствола от вертикали, рад.

Из выражения (2) найдем величину коэффициента жесткости корневой системы

$$C = F \cdot h / \varphi = M / \varphi. \quad (3)$$

По данным замеров усилия в опытах и отклонения оси ствола от вертикали на фотографиях построена таблица. Здесь семь первых позиций относятся к березе, восьмая – к сосне.

Ввиду того, что у одних деревьев угол наклона  $\varphi$ , зафиксированный в опыте, больше при изгибе в прямом направлении, а у других – при обратном, будем рассматривать среднее арифметическое коэффициента жесткости  $C$ , вычисляемого по формуле (3). Кроме того, нет никаких оснований для де-



Рис. 5

ревьев, выросших в естественных условиях, отдавать предпочтение какому-либо направлению изгиба.

На рис. 3 для берез показана зависимость изменения коэффициента жесткости от угла  $\varphi$  отклонения оси ствола от вертикали.

Из предварительного анализа опытных данных следует, что допустимо принять гипотезу о линейности изменения коэффициента жесткости в зависимости от угла  $\varphi$  отклонения оси ствола от вертикали. На рис. 4 представлена его линейная аппроксимация.

Линейная аппроксимация зависимости  $C = f(\varphi)$  будет

$$\begin{aligned} \text{№1} - C &= -341,2\varphi + 240; \text{№2} - C = \\ &= -730,8\varphi + 266,5; \text{№3} - C = 17,8\varphi + 96,1; \\ \text{№4} - C &= -717,8\varphi + 353,5; \text{№5} - C = \\ &= -121,43\varphi + 128,7; \text{№6} - C = 23,3\varphi + 174; \\ \text{№7} - C &= -206\varphi + 135,6. \end{aligned}$$

На рис. 5 представлена зависимость коэффициента жесткости от угла  $\varphi$  отклонения оси ствола от вертикали для сосны, а его линейная аппроксимация будет  $C = 1697\varphi + 371,2$ . Для сосны коэффициент жесткости возрастает с увеличением момента. Однако следует учитывать, что это результат обработки единичного опыта.

Как следует из рисунков, величина коэффициента жесткости у шести берез убывает с ростом момента. Исключение составляет береза №3. Разброс величин коэффициента жесткости довольно значительный, хотя опыты проводились на небольшой площади и диаметры корневых шеек деревьев были близки между собой

$$\begin{aligned} \text{№1} - d_0 &= 36,3; \text{№2} - d_0 = 34,5; \text{№3} - d_0 = 33; \\ \text{№4} - d_0 &= 34,3; \text{№5} - d_0 = 29; \text{№6} - d_0 = 27,1; \\ \text{№7} - d_0 &= 26,5 \text{ мм.} \end{aligned}$$

**Библиографический список**

1. Боровиков, А.М. Справочник по древесине: справочник / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 296 с.
2. Полубояринов, О.И. Плотность древесины / О.И. Полубояринов. – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 160 с.
3. Иванов, Г.А. Влияние таксационных показателей на параметры формулы образующей продольного профиля ствола дерева и на его объем / Г.А. Иванов. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 1998. – Вып. 297. – С. 201–206.
4. Захаров, Ю.В. Модели устойчивости деревьев и насаждений к воздействию ветра / Ю.В. Захаров, В.Г. Суховольский // Лесоведение. – 2004. – №2. – С. 61–67.
5. Пановко, Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем / Я.Г. Пановко, И.И. Губанова. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
6. Филенкова, Н.В. Устойчивость упругозакрепленной консоли и колонны на упругом основании под действием поперечной нагрузки / Н.В. Филенкова, В.Г. Суховольский, Ю.В. Захаров // Решетневские чтения. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмический ун-т, 2002. – С. 78.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ ЭТАЛОННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ТРЕКОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

Д.В. ТУЛУЗАКОВ, доц. каф. сопротивления материалов МГУЛ, канд. техн. наук,  
 Ю.Г. ЛАПШИН, проф. каф. сопротивления материалов МГУЛ, д-р техн. наук,  
 В.К. ПОДРУБАЛОВ, доц. каф. теории и конструирования машин МГУЛ, канд. техн. наук,  
 М.В. ПОДРУБАЛОВ, зав. лаб. каф. сопротивления материалов МГУЛ

*tuluzakov@mgul.ac.ru; lapshin@mgul.ac.ru; podrubalov@bk.ru; podrubalov@mgul.ac.ru*

В области оценки условий труда и нормирования низкочастотной вибрации на сиденье человека-оператора машины существуют отечественные и международные стандарты, определяющие как условия проведения испытаний натуральных образцов машины, так и сам уровень виброускорений [1–4]. Поэтому получение и дальнейший анализ характеристик воздействий от профилей эталонных искусственных треков этих стандартов, не изменяющих свои параметры в течение продолжительного времени, с целью их использования для расчетного и (или) натурального экспериментов при исследовании вибронгруженности лесохозяйственных машин, а также машин, занятых в лесопарковом и ландшафтном строительстве, являются весьма актуальными.

При осуществлении сравнительного анализа характеристик треков сначала используем традиционный подход, алгоритм которого следующий: массив значений ординат микропрофиля – оценки дисперсии, корреляционной функции и спектральной плотности – коэффициенты аппроксимации – анализ.

Полученные оценки указанных характеристик обычно аппроксимируют связанными преобразованием Фурье выражениями

$$R(l) = \sigma^2 \cdot e^{-\alpha|l|} \cdot \cos(\beta l), \quad (1)$$

$$S(\omega) = \sigma^2 \frac{2\alpha}{\pi} \times \frac{\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}, \quad (2)$$

где  $\omega$  – путевая частота, 1/м;

$\sigma$  – среднеквадратическое значение (СКЗ) ординат профиля пути,  $10^{-2}$  м;

$$\alpha = \frac{\beta}{\pi} \ln \left| \frac{\sigma^2}{R(l_2)} \right|$$

– коэффициент, характеризующий интенсивность затухания корреляционной функции, 1/м;

$\beta = \pi / 2 \cdot l_1$  – коэффициент, характеризующий гармоническую составляющую корреляционной функции профиля, 1/м;

$l_1$  – абсцисса первого пересечения корреляционной функции с нулем, т.е.  $R(l_1) = 0$ ;

$l_2$  – абсцисса первого отрицательного минимума корреляционной функции.

При произвольной постоянной скорости машины  $v$  выражения (1) и (2) рассчитываются при

$$\sigma_v^2 = \sigma^2 = \text{const}; \alpha_v = \alpha \cdot v; \beta_v = \beta \cdot v; \omega_v = \omega / v. \quad (3)$$

Параметры эталонных треков ГОСТ 12.2.002-91 и ИСО 5008-2002

Наименование стандарта	Фон	Регламентированная скорость $v$ , м/с (км/ч)	Колея	СКЗ высоты неровностей $\sigma$ , $m \cdot 10^{-2}$	Параметры аппроксимации	
					$\alpha$ , 1/м	$\beta$ , 1/м
ГОСТ 12.2.002-91 СТ СЭВ 3472-81	Агрофон	2,22 (8)	Колеи совпадают	1,51	1,8	1,24
	Дорога грунт.	4,17 (15)		<b>2,1</b>	<b>0,26</b>	0,49
ИСО 5008-2002	Агрофон (неровная колея)	1,39 (5)	Правая	4,66	0,25	0,3
			Левая	5	0,5	0,4
			Среднее	4,83	0,38	0,35
	Дорога (ровная колея)	3,33 (12)	Правая	2,46	0,28	0,08
			Левая	1,8	0,24	0,33
			Среднее	<b>2,13</b>	<b>0,26</b>	0,21

Анализ статистических параметров эталонных треков, вычисленных в работе [5] по формулам (1) и (2), показывает (табл. 1), что они имеют мало общего. Во-первых, в наш ГОСТ противоестественно заложено, что при натуральных испытаниях машины или при расчетных экспериментах с применением исходных ординат профилей на динамическую систему машины действуют одинаковые кинематические возбуждения по разным колеям, т.е. машина не будет испытывать поперечных колебаний, что не соответствует картине, наблюдаемой в реальной эксплуатации мобильных машин, а также требованиям ГОСТ и СТ ИСО [2–4] по оценке поперечной вибрации. Потом, весьма разнятся как регламентируемые стандартами скорости движения машин, так и сами параметры  $\sigma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ . Единственный случай – это практическое совпадение СКЗ высот неровностей  $\sigma$  и параметра  $\alpha$  для дороги ГОСТ и, на наш взгляд, удобного для анализа искусственно полученного среднего значения ординат профилей правой и левой колеи СТ ИСО (средние значения в стандарте не приведены и об их использовании в нем нигде не упоминается). Однако более чем двукратная разница в параметре  $\beta$  профилей и существенное отличие в скоростном режиме движения машины по ним не дает права говорить о какой-либо их эквивалентности. Т.е. общепринятый подход с использованием при анализе параметров аппроксимации по выражениям (1) и (2) не дает значимых результатов.

По стандарту [3, прилож. 4 и 5] характеристикой, отображающей уровень кинема-

тического воздействия на машину, являются СКЗ высот неровностей профилей пути и воздействий от него в заданных диапазонах частот.

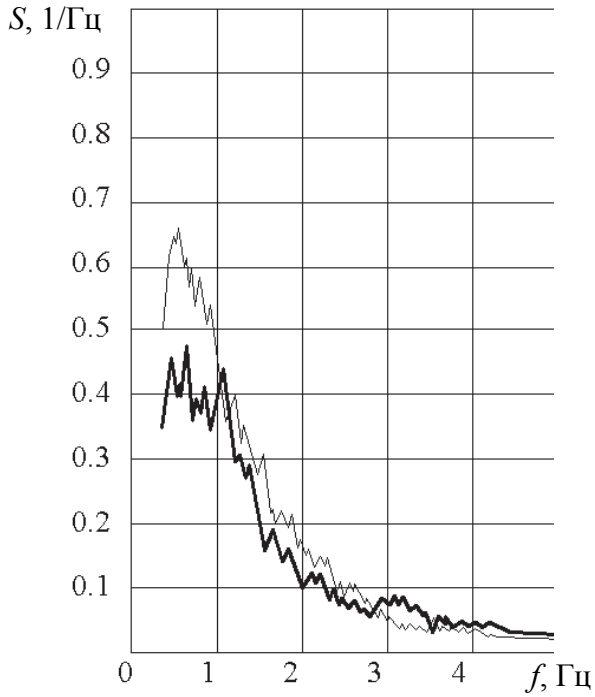
Их оценки (рисунок, табл. 2) получены при различных (в том числе и регламентируемых) скоростях движения машины. Анализ проводился в наиболее опасном для человека-оператора диапазоне частот 0-11,2 Гц. Он в соответствии со стандартами [1-4] разбивался на следующие октавные диапазоны частот (ОДЧ): 0-0,7(0,88) Гц – факультативно; 0,7(0,88)-1,4 Гц – среднегеометрическая частота (СГЧ) 1 Гц; 1,4-2,8 Гц – СГЧ 2 Гц; 2,8-5,6 Гц – СГЧ 4 Гц; 5,6-11,2 – СГЧ 8 Гц.

Расчеты проведены:

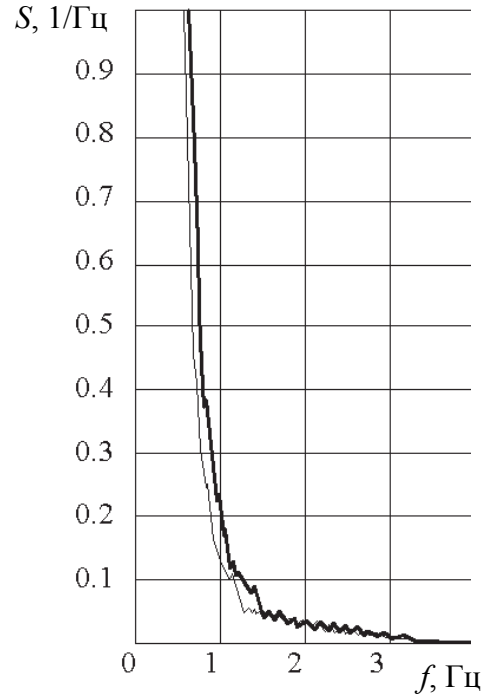
1. Интегрированием в указанных выше диапазонах частот функций спектральных плотностей профилей фонов и их воздействий, полученных по формулам (1) – (3).

2. Интегрированием в тех же диапазонах частот спектральных плотностей эталонных фонов ( $v = 1$  м/с) и воздействий от них, вычисленных по массивам ординат, представленных в стандартах. Реализации для последующей статистической обработки формировались с использованием интерполяции кубическими сплайнами, применение которой имело цель увеличения количества точек в реализациях за счет введения промежуточных точек по длине шага квантования и тем самым улучшения оценок спектральных плотностей при использовании алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ).

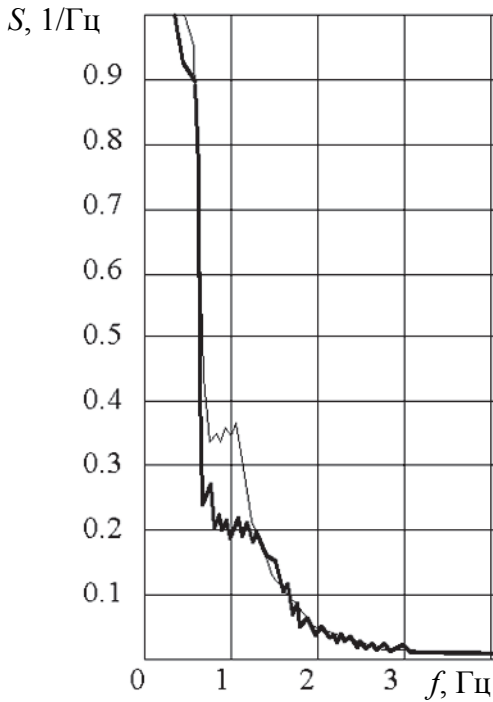
Спектральный анализ воздействий от искусственных эталонных профилей по пе-



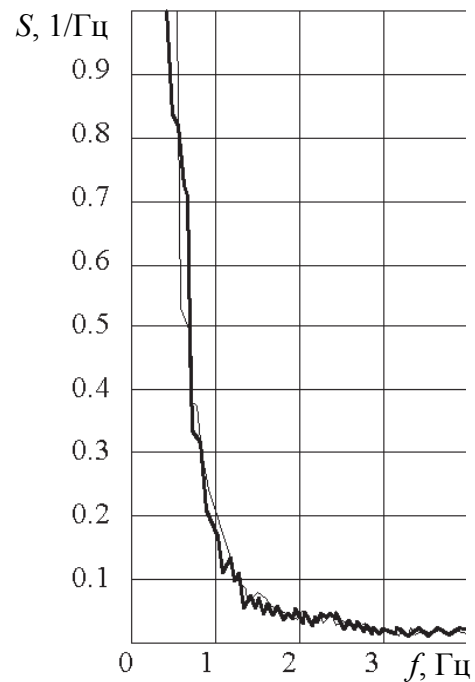
эталонный агрофон ГОСТ 12.2.002-91  
(СТ СЭВ 3472-81)  
—  $v=2,22$  м/с  
—  $v=3,33$  м/с



эталонный агрофон ГОСТ 12.2.002-91  
(СТ СЭВ 3472-81)  
—  $v=3,33$  м/с  
—  $v=4,17$  м/с



эталонный фон неровной колеи (агрофон)  
СТ ИСО 5008  $v=1,39$  м/с  
— левая колея  
— правая колея



эталонный фон неровной колеи (агрофон)  
СТ ИСО 5008  $v=3,33$  м/с  
— левая колея  
— правая колея

Рисунок. Нормированные спектральные плотности воздействий по перемещениям



**СКЗ высоты неровностей ( $m \cdot 10^{-2}$ ) эталонных треков и воздействий от них, рассчитанные с использованием аппроксимации спектров (числитель) и машинным кривым спектров (знаменатель)**

Наименование трека	Фон	Колея	Скорость (м/с)	Диапазон частот, Гц					
				0-0.7(0.88)	0.7(0.88)-1.4	1.4-2.8	2.8-5.6	5.6-11.2	0-11.2
ГОСТ 12.2.002-91 (числит. – норм. значения)	Агрофон	Колеи совп.	1,0	1,18(1,22)	0,55(0,43)	0,38	0,22	0,03	1,37
	Дорога	Колеи совп.	1,0	2,06(2,07)	0,29(0,21)	0,21	0,11	0,01	2,1
ГОСТ 12.2.002-91 (СЭВ 3472-81)	Агрофон	Колеи совпадают	1,0	1,3(1,34)	0,55(0,42)	0,39	0,27	0,19	1,5
				1,18(1,23)	0,55(0,43)	0,38	0,22	0,03	1,37
			2,22	1,03(1,12)	<b>0,75(0,6)</b>	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>	<b>0,29</b>	1,48
	Дорога грунт.	Колеи совпадают	1,0	2,06(2,07)	0,29(0,22)	0,2	0,14	0,1	2,1
				2,06(2,07)	0,29(0,21)	0,21	0,11	0,097	2,1
			4,17	1,9(1,95)	<b>0,69(0,51)</b>	<b>0,43</b>	<b>0,30</b>	<b>0,21</b>	<b>2,09</b>
				1,86(1,94)	<b>0,8(0,54)</b>	<b>0,46</b>	<b>0,31</b>	<b>0,21</b>	<b>2,1</b>
ИСО 5008-2002	Агрофон (неровная колея)	П	1,0	4,57(4,59)	0,63(0,48)	0,44	0,31	0,22	4,6
				4,78(4,86)	1,41(1,1)	0,74	0,37	0,11	5,05
			1,39	4,54(4,57)	<b>0,74(0,57)</b>	<b>0,52</b>	<b>0,37</b>	<b>0,26</b>	4,65
				4,7(4,77)	<b>1,43(1,18)</b>	<b>1,08</b>	<b>0,52</b>	<b>0,21</b>	5,05
		Л	1,0	4,82(4,57)	0,74(0,57)	0,52	0,37	0,26	4,65
				5,19(5,28)	1,64(1,36)	0,83	0,46	0,19	5,52
			1,39	4,74(4,79)	<b>1,13(0,87)</b>	<b>0,79</b>	<b>0,56</b>	<b>0,40</b>	4,98
				4,93(5,16)	<b>2,16(1,53)</b>	<b>1,11</b>	<b>0,61</b>	<b>0,29</b>	5,52
		Сред.	1,0	4,7(4,72)	0,8(0,62)	0,57	0,4	0,28	4,82
	1,39			4,64(4,68)	<b>0,95(0,73)</b>	<b>0,67</b>	<b>0,47</b>	<b>0,33</b>	4,82
	Дорога (ровная колея)	П	1,0	2,41(2,42)	0,35(0,27)	0,25	0,18	0,12	2,46
				2,64(2,64)	0,27(0,21)	0,24	0,1	0,02	2,67
			3,33	2,29(2,33)	<b>0,63(0,49)</b>	<b>0,45</b>	<b>0,32</b>	<b>0,23</b>	2,45
				2,55(2,58)	<b>0,57(0,46)</b>	<b>0,39</b>	<b>0,26</b>	<b>0,22</b>	2,67
		Л	1,0	1,77(1,77)	0,24(0,18)	0,17	0,12	0,08	1,8
				2,04(2,05)	0,28(0,18)	0,24	0,11	0,03	2,07
			3,33	1,69(1,71)	<b>0,45(0,34)</b>	<b>0,31</b>	<b>0,22</b>	<b>0,15</b>	1,8
				1,91(1,96)	<b>0,63(0,45)</b>	<b>0,40</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	<b>2,07</b>
Сред.		1,0	2,09(2,1)	0,29(0,22)	0,21	0,15	0,1	2,13	
	3,33		1,99(2,02)	<b>0,54(0,41)</b>	<b>0,38</b>	<b>0,27</b>	<b>0,19</b>	<b>2,12</b>	

ремещениям (рисунок) показывает, что основная доля дисперсии нормированных машинных кривых спектров лежит в диапазоне до 2 Гц. Небольшое отличие наблюдается лишь у спектров эталонного агрофона ГОСТ 12.2.002-91 (они более растянуты), причем как на регламентируемой скорости 2,22 м/с (8 км/ч), так и 3,33 м/с (12 км/ч).

Вид спектров воздействий по перемещениям, рассчитанных для разных скоростей

движения машины по эталонному агрофону и грунтовой дороге, весьма похож. Спектры не имеют смещения каких-либо выраженных максимумов с увеличением скорости, что предполагают формулы (1)-(3). Это говорит об ограниченности их применения для реализаций, полученных и заданных массивами ординат реальных профилей пути.

Сравнение расчетных оценок СКЗ ординат искусственных треков  $v = 1,0$  м/с и СКЗ

воздействий от треков по перемещению при  $v > 1$  м/с в ОДЧ (табл. 2) показывает следующее:

– метод получения анализируемых параметров с использованием предварительной аппроксимации по формулам (1)-(3) и метод прямого получения этих параметров после вычисления машинной кривой спектральной плотности БПФ и ее интегрирования дают близкие оценки СКЗ по всем диапазонам частот только для обоих фонов ГОСТ и в меньшей степени дороги (ровной колеи) СТ ИСО. Худшая сходимость (отличие до 2,3 раза) у СКЗ агрофона и его воздействий СТ ИСО в диапазонах 0,7-1,4, 1,4-2,8, 2,8-5,6 Гц;

– СКЗ ординат воздействий от трека агрофона ГОСТ при  $v = 2.22$  м/с в главных четырех ОДЧ с СГЧ 1, 2, 4, 8 Гц практически совпадают с аналогичными средним параметрами агрофона СТ ИСО при  $v = 1$  м/с. Однако при таком сравнении собственно правой и левой колеи СТ ИСО разница СКЗ (особенно машинных значений) доходит до 1,7–2,5 раз;

– весьма мало отличаются (до 1,27 раза) СКЗ воздействий от неровностей эталонного трека грунтовой дороги ГОСТ (регламентированная  $v = 4.17$  м/с (15 км/ч)) и дороги (ровная колея) СТ ИСО (регламентированная  $v = 3.33$  м/с (12 км/ч)). Учитывая допуск нашего стандарта на скорость движения машины при испытаниях  $\pm 2$  км/ч можно заключить, что при таком сравнении эти два стандартных режима будут наиболее близки друг к другу.

Таким образом, анализ табл. 2 показывает, что искусственные треки ГОСТ 12.2.002-91 (СТ СЭВ) и СТ ИСО являются по уровню СКЗ ординат профилей в первых четырех ОДЧ в большинстве случаев несравнимыми между собой. Однако из анализа видно, что если рассматривать одну какую-либо колею искусственного трека СТ ИСО или ГОСТ, то можно подобрать скорость движения машины, при которой СКЗ ординат воздействий по перемещению в ОДЧ, полученные по машинным спектрам, практически совпадут или будут близки параметрам другой колеи и другого фона этих же стандартов.

Из данных расчетов (табл. 2) видно происхождение СКЗ высот неровностей «типовых микропрофилей» ГОСТ 12.2.002-91 [1], по которым должны нормироваться виброускорения в ОДЧ на сиденье оператора при испытаниях тракторов и др. машин в типичных условиях эксплуатации. Эти параметры совпадают точно или практически (до 4 %) с аналогичными значениями для эталонных фонов этого же стандарта (агрофона при  $v = 2.22$  м/с и грунтовой дороги при  $v = 4.17$  м/с), вычисленными по аппроксимационным выражениям (1) – (3). В то же время становится ясным, что в стандарте допущена принципиальная методологическая ошибка, поскольку он предписывает проводить нормировку СКЗ ускорений, полученных при испытаниях, используя СКЗ ординат замеренного реального профиля в ОДЧ без учета скорости испытываемой машины, т.е. без преобразования его в воздействие.

Результаты изложенных выше исследований по определению и последующему анализу оценок характеристик воздействий от искусственных треков, которые регламентируются отечественными и международными стандартами при испытаниях мобильных машин на соответствие условиям труда человека-оператора, позволяют на созданной базе данных обоснованно формировать параметры и алгоритмы задания подсистемы «воздействие» при математическом моделировании.

### Библиографический список

1. ГОСТ 12.2.002-91. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. М.: Изд-во стандартов, 1991.
2. ГОСТ 31323-2006 (ИСО 5008:2002). Сельхозтракторы и машины. Измерение вибрации тела водителя. М.: Изд-во стандартов, 2008.
3. ГОСТ 12.2.019-86. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. М.: Изд-во стандартов, 2005.
4. ГОСТ 31191-2004 (ИСО 2631-2003). Руководство по оценке воздействия общей вибрации на тело человека. М., Сборник стандартов, 2004.
5. 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.

## ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН

Ю.А. ШАМАРИН, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ, канд. техн. наук,  
В.И. ПАНФЕРОВ, доц. каф. электроэнергетики лесных комплексов МГУЛ, канд. техн. наук,  
К.В. СЕЛИВАНОВ, асп. электроэнергетики лесных комплексов МГУЛ,  
В.М. КОРНЕЕВ, доц. каф. надежности и ремонта машин Московского государственного  
агроинженерного университета им В.П. Горячкина, канд. техн. наук

*selivanov@mgul.ac.ru; panferov@mgul.ac.ru*

**В** настоящее время доля затрат на содержание и ремонт лесозаготовительной техники в структуре себестоимости лесозаготовок составляет более 20 %. Одной из причин такого положения является низкий уровень организации и качества технического обслуживания, ремонта транспортных и технологических машин. В лесном хозяйстве и лесной промышленности широкое применение нашли машины с дизельными двигателями.

Преимущества использования дизелей в качестве источника энергии для лесной техники обусловлены лучшей экономичностью благодаря большой величине компрессии, улучшающей процессы горения топливно-воздушной смеси; повышенным коэффициентом полезного действия; малым содержанием токсичных веществ в отработавших газах. Однако в современных условиях, несмотря на определенные успехи, достигнутые в конструктивном совершенствовании дизелей, значительная часть из них имеет довольно низкие эксплуатационные показатели: пониженную мощность, повышенную дымность и трудный запуск.

Массовая проверка дизелей в лесных хозяйствах различных зон страны показала, что потери эффективной мощности составляют в среднем 12...17 %, перерасход топлива – 15...25 %, что приводит к понижению производительности агрегата при выполнении высокоэнергоемких работ на 12...30 % [1].

Поэтому в вопросах совершенствования технического и технологического уровня предприятий лесного комплекса основной, наряду с производительностью, является проблема обеспечения надежности и работоспособности технических систем. Ее решение в значительной степени затруднено ограниченными эксплуатационными свойствами используемых материа-

лов, несвоевременным и некачественным диагностированием, недостаточно эффективными технологиями производства и восстановления деталей дизельных двигателей, их доэксплуатационной подготовки.

Повышенные требования к уровню надежности силовых агрегатов связаны с производственными, природными и климатическими условиями, в которых эксплуатируются лесные машины. Это вызвано износом деталей двигателей, подвергающихся значительным динамическим нагрузкам, ударно-абразивному воздействию агрессивных сред.

Проблема снижения срока службы деталей дизельных двигателей, их надежности в современных условиях усугубляется тем, что практически все технологическое оборудование промышленных предприятий изношено до предела, а приобретение нового непосильно для большинства предприятий лесного комплекса.

Значительное количество работ, посвященных проблеме улучшения эксплуатационных показателей дизелей, объясняется тем, что они определяются влиянием значительного количества взаимосвязанных и взаимообуславливающих факторов [2, 6].

Как показал анализ исследований, основными причинами ухудшения эксплуатационных показателей дизелей являются отклонения параметров рабочего цикла от оптимальных значений вследствие изменения в эксплуатации параметров топливоподачи, воздухоснабжения, зазоров в цилиндро-поршневой группе (ЦПГ) и других механизмах и системах двигателя, а также режимов и условий эксплуатации [1, 3].

В большинстве случаев потеря мощности, перерасход топлива и превышение до-

Т а б л и ц а 1

Вид неисправности	CO, %	CH, %	NOx, %	Дым, %	Расход топлива, %
Нарушение цикловой подачи топлива	+5...50	+5...25	-25...+25	+25...100	+5...25
Нарушение угла опережения начала впрыскивания топлива	+5...50	+0...25	-100...+100	-25...+50	+5...25
Неисправность форсунок	+25...50	+50...100	-25	-25...+25	+10...20

Т а б л и ц а 2

**Классификация методов диагностики ТА**

Классификационные признаки	Методы диагностирования ТА
Задачи диагностирования	Проверка работоспособности; проверка правильности функционирования; поиск дефектов
Применение диагностических средств	Органолептические, инструментальные
Характер измерения параметров	Прямой, косвенный
Периодичность диагностирования	Регламентный; заявочный; непрерывный
Условия проведения диагностирования	Полевые; станция ТО; безмоторные
По степени разборки объекта диагностирования	Разборная, безразборная
Режим работы объекта	Тестовый: при установившемся режиме; при неустановившемся режиме; при статодинамическом режиме
Диагностические параметры	Параметры рабочего процесса; параметры сопутствующих процессов; структурные параметры
Используемый физический процесс	Виброакустический; магнитоэлектрический; спектрографический; тепловой; гидравлический; газоаналитический; кинематический; другие

пустимых выбросов происходит из-за неисправности топливной аппаратуры (ТА). Виды неисправностей и их последствия можно свести в табл. 1.

Топливная аппаратура является одним из основных элементов дизеля и в значительной степени предопределяет его мощностные и экономические показатели, надежность и долговечность, дымность и токсичность отработавших газов.

Качество работы топливной аппаратуры в процессе эксплуатации определяется стабильностью конструктивно-регулируемых параметров ТА и процесса топливоподачи (ТП) и оценивается равномерностью цикловой подачи, идентичностью продолжительности впрыскивания, закона подачи, угла опережения впрыскивания и др.

Для оценки технического состояния топливной аппаратуры в настоящее время нашли применение различные методы диагностирования (табл. 2)

К числу наиболее популярных методов изучения и диагностирования работы топли-

воподающей аппаратуры (ТПА) относятся *гидравлические методы* и в первую очередь метод измерения давления в нагнетательном трубопроводе (у насоса или у форсунки). Его главное и несомненное достоинство – измерение параметра, непосредственно связанного с интенсивностью и особенностями впрыскивания. С использованием дополнительной информации и расчетных методов этот сигнал позволяет точно рассчитывать важнейшие показатели подачи для данной системы. К достоинствам метода также относят и допустимую для задач диагностики сложность монтажа датчика, а при использовании накладных пьезопленочных датчиков фирм AVL, Kistler она становится минимальной [5].

В большинстве предложенных методик диагноз базируется на сравнении измеренной диаграммы давления с эталонной, в результате чего делается более или менее обоснованный вывод об имеющейся неисправности ТПА.

Некоторые диагностические комплексы и дизель-тестеры даже снабжаются эта-

**Классификация средств диагностирования ТА**

Классифицирующие признаки	Средства диагностирования
Степень автоматизации	Механизированные; автоматизированные; автоматические
Назначение и приспособленность к диагностированию элементов ТА	Устройства и приборы для измерения отдельных параметров или узлов; стенды для испытаний ТПС; диагностические системы и мотор-тестеры
Исполнение	Переносные; передвижные; стационарные; бортовые; часть общей системы управления работой дизеля
Состояние объекта диагностирования	Используемые при: нефункционирующем объекте; функционирующем объекте; тестовых воздействиях на объект; любых состояниях объекта
Характеристика информации по диагностируемому объекту	Количественная оценка; качественная оценка; количественная и (или) качественная оценка с прогнозированием состояния
Адаптивность	Все операции диагностирования проводятся с участием оператора (мастера-наладчика); настройка параметров и режимов диагностирования производится оператором; самонастраивающиеся

лонными кривыми, по которым механик может сделать более или менее обоснованный вывод об имеющейся неисправности ТПА.

Автоматизация постановки диагноза позволяет повысить достоверность, трудоемкость работ и снизить требования к квалификации исполнителя. Однако для создания такой системы диагностики требуется создание формализованных достоверных диагностических моделей. Они должны базироваться не на эталонной кривой, а на полях допусков, неизбежных в условиях реального производства и эксплуатации. Вместе с тем создание такой диагностической модели – весьма трудоемкий и дорогостоящий процесс. Математическое моделирование процесса подачи топлива для ТПА позволит сделать эту задачу более реальной.

Математическое моделирование топливоподачи реальной ТПА связано с меньшими материальными затратами, а главное, позволяет более точно и достоверно решить задачу. Диагностическая модель создается не на базе вероятностно-статистического подхода, а точным детерминированным методом. Становится возможным точный учет допустимых отклонений структурных параметров ТПА и параметров технологической неустойчивости. Альтернативные методы не позволяют практически подойти к диагностированию с той же корректностью.

Разнообразие диагностических средств представлено в табл. 3, отражающей их различие по классифицирующим признакам.

Основной недостаток методов диагностирования топливной аппаратуры с помощью механических средств – неизбежное вмешательство в стабильную работу системы питания. Помимо этого, производимая частичная разборка может отрицательно сказываться на работоспособности топливной аппаратуры [5].

Рядом иностранных фирм разработаны приборы для определения углов опережения подачи и продолжительности впрыска, использование которых связано с минимальным вмешательством в работу топливной аппаратуры. Общий их принцип в том, что в трубопровод высокого давления монтируют датчик (поршневого типа, язычковый, пластинчатый) либо датчик устанавливают в ответвление трубопровода форсунки.

Принципиальная основа других разработанных способов и устройств – анализ кривой давления топлива в трубопроводе между насосом и форсункой. Эти способы позволяют выявить неисправности и оценить на качественном уровне состояние топливной аппаратуры [5].

Ряд эффективных методов, реализованных в диагностических приборах, автоматизированных установках, машинотестерах, не представляется возможным для применения на практике без предварительных мер по улучшению приспособленности как диагностических средств, так дизеля и его ТА. Все это приводит к ухудшению качества работы ТА, неполному использованию заложенного ресурса, преждевременному отказу.

**Библиографический список**

1. Шамарин, Ю.А. Совершенствование испытаний форсунок при техническом обслуживании и ремонте дизелей лесных машин: дисс. ... канд. техн. наук / Ю.А. Шамарин. – М.: МГУЛ, 2006. – 134 с.
2. Мылов, А.А. Разработка метода оценки технического состояния плунжерных пар ДТА при ремонте: автореф. ... канд. техн. наук. / А.А. Мылов. – Балашиха: Издательство РГАЗУ, 2005. – 18 с.
3. Петровский, Д.И. Диагностирование топливной системы высокого давления дизелей по амплитудно-фазовым параметрам топливоподдачи: автореф. ... канд. техн. наук / Д.И. Петровский. – М.: РГОУ ВПО МГАУ. 2004. – 18 с.
4. Шамарин, Ю.А. Оценка и анализ технического состояния дизельной топливной аппаратуры: учебное пособие / Ю.А. Шамарин, В.М. Корнеев, А.С. Назаренко и др. – М.: МГУЛ, 2005. – 75 с.
5. Неговора, А.В. Улучшение эксплуатационных показателей автотракторных дизелей совершенствованием конструкции и технологии диагностирования топливоподающей системы: дисс. ... д-ра техн. наук / А.В. Неговора. – М.: ФГОУ ВПО СГАУ, 2004. – 330 с.
6. Шамарин, Ю.А. Способ диагностирования элементов дизельной топливной аппаратуры лесных машин / Ю.А. Шамарин, В.И. Панферов, А.В. Сиротов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2006. – № 1. – С. 85–86.

**ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ЦЕЛИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА МОТОБЛОКА**

М.В. ПОДРУБАЛОВ, *зав. лаб. каф. сопротивления материалов МГУЛ*

*podrubalov@mgul.ac.ru*

Транспортный агрегат (ТА) мотоблока с прицепом (МБсП) относится [1] к автомобильным машинам, при сертификации которых оценка уровня низкочастотной вибрации должна осуществляться по отечественным и международным стандартам [2–5]. В качестве основных фонов для испытываемой движущейся машины в них установлены искусственные треки, имитирующие агрофон и грунтовую дорогу, и даны числовые ряды их профилограмм. По обоим стандартам испытания должны проводиться на двух фонах с различными регламентированными скоростями движения. Предполагалось [6], что они реализуют характеристики воздействий от профилей пути, представляющие типичные условия эксплуатации, для которых нужно нормировать критерии условия труда. Часть этих треков построена в 70–80-х годах прошлого века на территории бывшего ПФ НАТИ (Московская обл., г. Чехов).

Поэтому использование эталонных фонов в качестве воздействий на динамическую систему ТА МБсП при оптимизации его системы виброзащиты обязательно. Их выбор за основу удобен также и потому, что позволяет на стадии проектирования виброзащитной системы оценить ее эффективность

по выполнению нормативов виброускорений [4, 5] на руле и сиденье. Причем с этой точки зрения наибольший интерес представляет тот эталонный фон, при использовании характеристик которого можно обоснованно применять результаты расчетов или эксперимента в соответствии с требованиями как отечественного, так и международного стандартов. В этом случае, например для сидения, функция цели будет

$$U = \sigma_{XYZ^{(z)}}^i \rightarrow [\sigma_{XYZ^{(z)}}^i(m, l, c, k, S_Q)]$$

$$m \in M, l \in L, c \in C, k \in K, Q \in Q_3, \quad (1)$$

где  $\sigma_{XYZ^{(z)}}^i$  – среднеквадратическое значение (СКЗ) ускорений в  $i$ -х октавных диапазонах частот (ОДЧ) в трех направлениях;

$M, L, C, K$  – векторы возможных конструктивно реализуемых массово-геометрических и упруго-демпфирующих параметров динамической системы МБсП; малые буквы компоненты векторов;

$Q_3$  – вектор параметров функции воздействия от эталонного фона;

$Q, S_Q$  – символ представительного эталонного фона и его спектральная плотность.

В противном случае оптимумов должно быть четыре (для каждого трека и соот-

ветствующей ему скорости движения), что неудобно и существенно увеличивает объем вычислений и получаемых для анализа данных, а также создает проблему разработки алгоритма получения глобального максимума.

В работе [6], а также в стандартах [2, 3] используется метод анализа и задания воздействий на движущуюся машину в виде реализаций или числовых массивов ординат профилей пути с учетом скорости ее движения. Принципиальным недостатком такого подхода является несоответствие физической сущности оцениваемых выходных (виброускорения) и входных (воздействия по перемещениям от случайного профиля пути) параметров динамической системы машины. Ведь известно, что в линейной постановке (схема динамической системы для примера взята с одним входом и одним выходом)

$$S_{\ddot{q}}(\omega) = |W(j\omega)|^2 \cdot S_{\ddot{O}}(\omega) = |W(j\omega)|^2 \cdot \omega^4 \cdot S_O(\omega), \quad (2)$$

где  $W(j\omega)$  – частотная характеристика динамической системы  $j = \sqrt{-1}$ ;

$S_{\ddot{q}}(\omega)$  – спектральная плотность ускорений массы системы (оцениваемый выходной процесс);

$S_O(\omega)$  и  $S_{\ddot{O}}(\omega)$  – спектральные плотности входного воздействия соответственно по перемещению и по ускорению.

Если предположить, что в выражении (2) квадрат модуля частотной характеристики динамической системы равен во всем исследуемом диапазоне частот единице (случай, когда, например, твердое тело без упруго-диссипативных связей движется без отрыва по профилю), то временная реализация процесса ускорений этого тела будет однозначно совпадать с реализацией воздействия по ускорению от профиля пути, а спектральная плотность процессов  $S_{\ddot{q}}(\omega)$  и  $S_{\ddot{O}}(\omega)$  будет одинакова. Т.е. в нашем случае процесс на выходе системы (ускорение) получается преобразованием динамической системы процесса на входе, который отображается в тех же физических величинах (воздействие по ускорению). Поэтому ясно, что базовой статистической характеристикой, описывающей свойства подсистемы «воздействие» при исследовании динамики мобильной машины, должна быть спектральная плотность

воздействия по ускорению от профиля пути, а также ее дисперсия или СКЗ в ОДЧ. Только при таком подходе можно получить качественную и количественную оценки изменения характеристик воздействия, в полной мере определяющих виброн нагруженность машины.

На рисунке представлены рассчитанные по массивам ординат нормированные спектральные плотности воздействий по ускорениям от изучаемых эталонных треков с регламентированными стандартами скоростями движения машины (ГОСТ 12.2.002-91:  $v = 2,22$  м/с – агрофон;  $v = 4,17$  м/с – дорога; СТ ИСО 5008-2002:  $v = 1,39$  м/с – неровная колея (агрофон);  $v = 3,33$  м/с – ровная колея (дорога)). Расчеты спектров и их нормирование проведены в первых четырех ОДЧ (до 11,2 Гц), т.е. в диапазоне наибольшего влияния низкочастотной вибрации на человека-оператора.

Из графиков видно, что спектры воздействий по ускорению от эталонных фонов ГОСТ ( $v = 2,22$  м/с – агрофон,  $v = 3,33$  и  $v = 4,17$  м/с – дорога) и СТ ИСО ( $v = 3,33$  м/с – ровная колея) имеют монотонный практически линейный рост. Если нанести эти кривые на один график, то они будут весьма близки друг к другу. Эти возбуждения в качественном отношении к динамической системе машины одинаковы.

Иная картина у спектров воздействий от агрофона ГОСТ на повышенной скорости  $v = 3,33$  м/с взята для анализа и от агрофона СТ ИСО при  $v = 1,39$  м/с. В четвертом ОДЧ (5,6-11,2 Гц) они имеют практически на всей ширине этого диапазона приблизительно постоянный характер, т.е. являются «белым» шумом по ускорению.

Для получения численных оценок уровня возбуждения на динамическую систему машины, движущейся по искусственным эталонным трекам с различной скоростью, было проведено интегрирование нормированных спектров воздействий (рисунок) в ОДЧ с последующим вычислением СКЗ воздействий по ускорению (таблица).

Расчетные данные подтверждают качественную картину, полученную для воз-

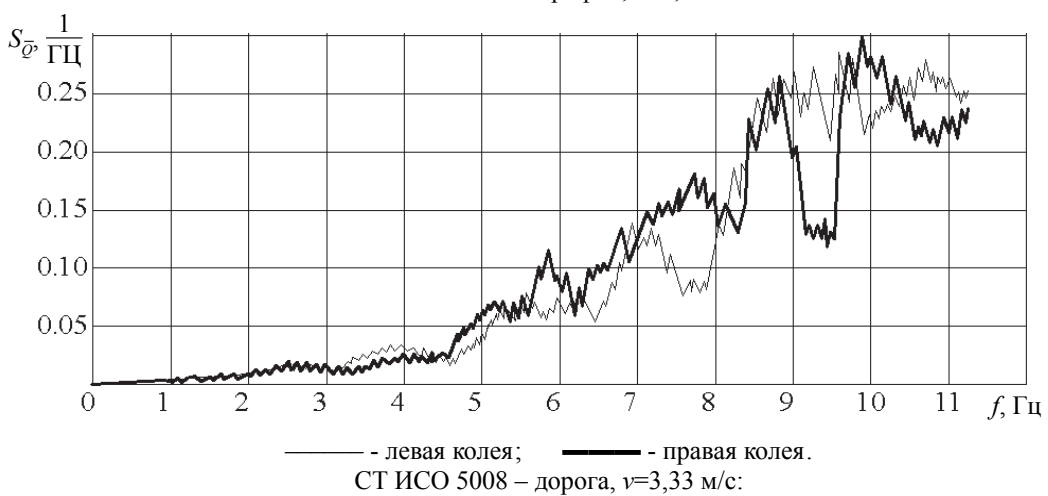
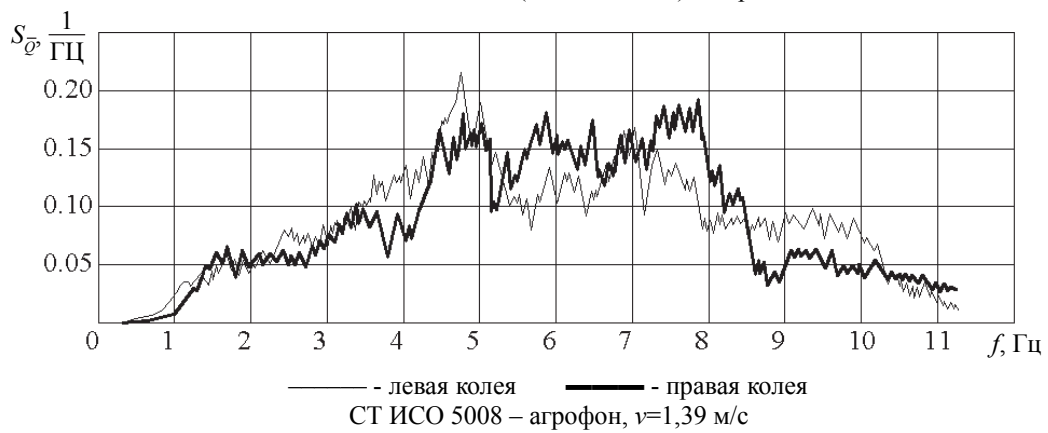
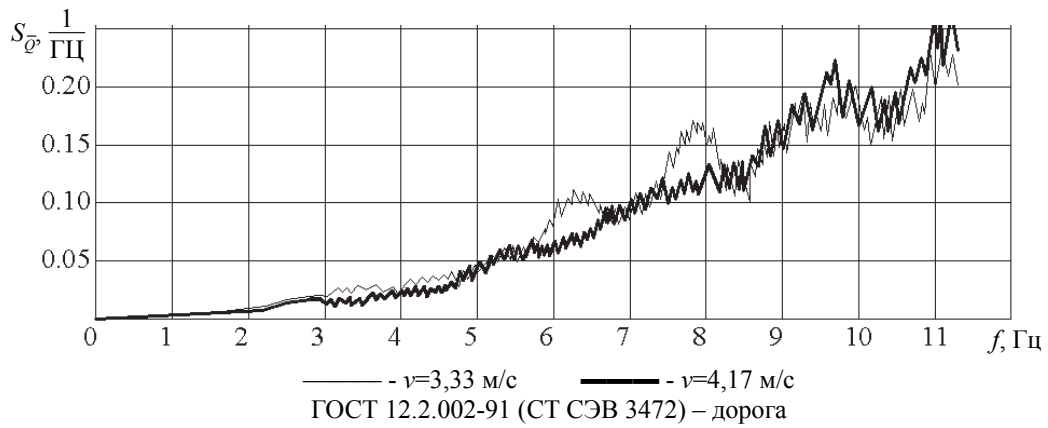
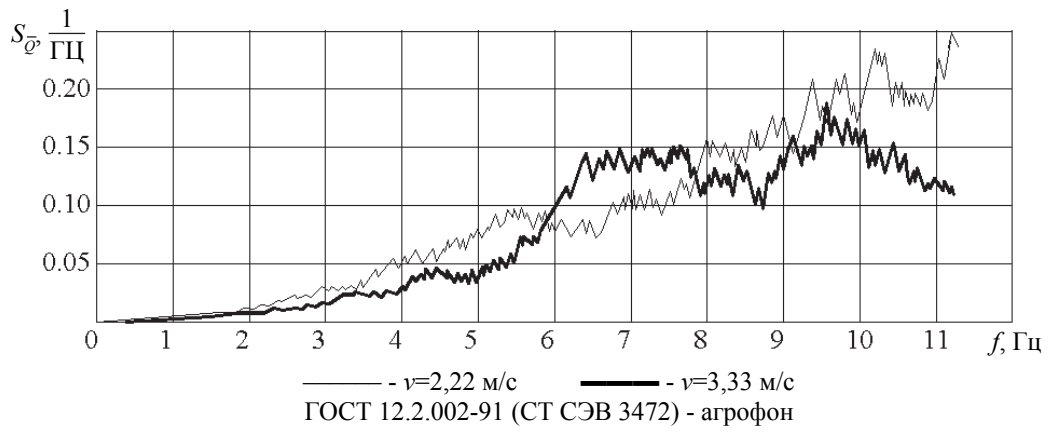


Рисунок. Нормированные спектральные плотности воздействий по ускорениям от эталонных фонов



**СКЗ воздействий по ускорению от профилей эталонных треков, м/с<sup>2</sup>**

Наименование профиля пути	Фон	Скорость, м/с	Колея	Диапазоны частот, Гц					
				0,0–0,7	0,7–1,4	1,4–2,8	2,8–5,6	5,6–11,2	0,0–11,2
ГОСТ 12.2.002-91 (СЭВ 3472-81)	Агрофон	1,0	Колеи совпадают	0,13	0,3	0,73	1,2	0,29	1,47
		2,22		<b>0,16</b>	<b>0,41</b>	<b>1,09</b>	<b>2,87</b>	<b>5,92</b>	<b>6,69</b>
		2,5		0,16	0,44	1,14	3,07	7,04	7,78
		2,78		0,15	0,45	1,19	3,24	7,9	8,63
	Грунтовая дорога	1,0		<b>0,08</b>	<b>0,16</b>	<b>0,4</b>	<b>0,44</b>	0,2	0,65
		3,61		<b>0,18</b>	<b>0,33</b>	<b>0,85</b>	<b>1,94</b>	<b>5,41</b>	<b>5,82</b>
		4,17		<b>0,21</b>	<b>0,36</b>	<b>0,92</b>	<b>2,09</b>	<b>5,87</b>	<b>6,31</b>
		4,72	0,22	0,4	0,98	2,21	6,36	6,81	
ИСО 5008-2002	Неровная колея (агрофон)	1,0	Л	0,4	0,77	1,46	2,74	5,20	6,11
			П	0,31	0,69	1,2	2,21	2,33	3,51
			Сред	0,35	0,73	1,33	2,47	3,77	4,81
		1,39	Л	0,41	1,08	1,92	4,07	6,62	8,07
			П	0,28	0,91	1,66	3,32	4,5	5,9
			Сред	0,35	0,99	1,79	3,69	5,56	6,98
	Ровная колея (дорога)	1,0	Л	0,08	0,16	0,5	0,43	0,83	1,07
			П	0,07	0,17	0,47	0,38	0,7	0,93
			Сред	<b>0,08</b>	<b>0,16</b>	<b>0,48</b>	<b>0,41</b>	0,76	1
		3,33	Л	0,16	0,29	0,76	1,91	6,19	6,53
П	0,16		0,31	0,65	2,06	5,78	6,18		
Сред	<b>0,16</b>		<b>0,3</b>	<b>0,71</b>	<b>1,98</b>	<b>5,98</b>	<b>6,35</b>		

действий от эталонных фонов с помощью спектрального анализа. Так, из таблицы видно, что уровень воздействий по ускорению от профилей левой, правой колеи и их среднего значения ровной колеи (дороги) СТ ИСО при скорости машины  $v = 3,33$  м/с (12 км/ч) весьма близки (отличие до 1,2–1,3 раза) к СКЗ воздействий по ускорению от искусственного трека, имитирующего грунтовую дорогу ГОСТ при регламентируемых скоростях  $v = 3,61$  м/с (13 км/ч) и  $v = 4,17$  м/с (15 км/ч). Причем это наблюдается как для ОДЧ, так и в суммарном диапазоне 0–11,2 Гц. Несколько большие числовые различия по оценкам СКЗ по отношению к указанным выше у воздействий по ускорениям от агрофона ГОСТ при  $v = 2,22$  м/с (8 км/ч). Наибольшая разница видна в третьем ОДЧ (2,8–5,6 Гц), где она достигает 1,45 раза.

Таким образом, спектральный и дисперсионный анализы позволяют на основе разработанного метода (по воздействию от профиля по ускорению) обоснованно выбрать эталонный фон для оптимизации системы виброзащиты МБСП. Этим фоном является трек грунтовой дороги ГОСТ 12.2.002-91

(СТ СЭВ 3722-91). Параметры его кинематических воздействий на машину, определяющих виброн нагруженность при соответствующих скоростях, практически идентичны эталонному треку «ровная колея» СТ ИСО 5008 и весьма близки треку агрофона из самого же стандарта. Т.е. данные, полученные при расчетном и натурном экспериментах с ТА МБСП, будут являться представительными и обладать общностью в смысле достижения оптимума целевой функции качества (1).

#### Библиографический список

1. ГОСТ Р 50908-96 Тракторы малогабаритные, мотоблоки и мотокультиваторы. Методы оценки безопасности. М.: Изд-во стандартов, 1996.
2. ГОСТ 12.2.002-91. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. М.: Изд-во стандартов, 1991.
3. ГОСТ 31323-2006 (ИСО 5008:2002). Сельхозтракторы и машины. Измерение вибрации тела водителя. М.: Изд-во стандартов, 2008.
4. ГОСТ 12.2.019-86. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. М.: Изд-во стандартов, 2005.
5. ГОСТ 31191-2004 (ИСО 2631-2003). Руководство по оценке воздействия общей вибрации на тело человека. М.: Изд-во стандартов, 2004.

## МЕХАНИЗМ ДЛЯ ВИБРОЗАГЛУБЛЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КУЛЬТИВАТОРА КЛБ-1,7: МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.А. ЗЕЛИКОВ, доц. ВГЛТА, канд. техн. наук

*nis@vglta.vrn.ru; zelikov-vrn@mail.ru*

Лесные почвы оказывают существенное сопротивление внедрению рабочих органов почвообрабатывающих орудий (плугов, культиваторов). Это обстоятельство приводит к сложности обеспечения необходимого для качественной обработки почвы заглубления орудия. Одним из путей решения проблемы является утяжеление орудия за счет дополнительного балласта (оснащенные орудия ящиками для песка или камней). Однако при этом возрастают энергозатраты агрегируемого трактора на движение орудия, особенно на технологические движения, не связанные с обработкой почвы (развороты, движение к месту обработки почвы и т.п.). Перспективным методом улучшения заглубления является сообщение вибрации рабочим органам [1].

Выполненное теоретическое исследование показало, что сообщение вибрации дисковым батареям культиватора КЛБ-1,7 приводит к увеличению глубины обработки примерно на 15...20 % (при частоте синусоидальных колебаний 12...20 Гц и амплитуде 5 см) без существенного увеличения энергозатрат. При этом эффект дополнительного заглубления зависит от углов установки дисковой батареи, однако для нормативных углов установки (угол атаки  $\alpha = 30^\circ$ , угол наклона к вертикали  $\beta = 5^\circ$ ) эффект ярко выражен.

Цель данной работы – разработать математическую модель механизма, сообщаемого вибрацию рабочим органам культиватора КЛБ-1,7, и на основе модели определить параметры механизма, при которых вибрация будет иметь необходимую частоту и амплитуду. Моделированию подлежат механическая подсистема, так как необходимо воспроизвести взаимное движение трактора, рамы орудия, дисковой батареи, и гидравлическая подсистема: необходимо воспроизвести рабо-

ту гидропульсатора, соединительного шланга, гидроцилиндра.

При моделировании механической подсистемы культиватор рассматривается как плоский механизм, состоящий из двух твердых тел (рама культиватора и одна из дисковых батарей), для которых известны координаты центра тяжести  $(x_i, y_i)$ , масса  $m_i$  и центральный момент инерции  $J_i$ , а также движущегося с постоянной горизонтальной скоростью трактора (рис. 1) [2].

Тела связаны между собой в контактных точках (обозначаются индексами  $ij$ , где  $i$  – номер тела,  $j$  – номер контактной точки тела) некоторыми связями: с помощью шарнира (13–21), невесомых нерастяжимых тяг (01–11, 02–12) и гидроцилиндра (14–22). Для описания движения тел составляется система дифференциальных уравнений Лагранжа I рода с неопределенными множителями в виде

$$\begin{cases} m_i \ddot{x}_{i0} + \sum_{s=1}^p \lambda_s \frac{\partial \Phi_s}{\partial x_{i0}} = Q_{xi}, \\ m_i \ddot{y}_{i0} + \sum_{s=1}^p \lambda_s \frac{\partial \Phi_s}{\partial y_{i0}} = Q_{yi}, \\ J_i \ddot{\varphi}_{i0} + \sum_{s=1}^p \lambda_s \frac{\partial \Phi_s}{\partial \varphi_{i0}} = Q_{\varphi i}, \end{cases}$$

где  $Q_{xi}$ ,  $Q_{yi}$  – декартовы составляющие равнодействующих сил, приложенных к  $i$ -му телу;

$Q_{\varphi i}$  – соответствующий момент;

$\lambda_s$  – неопределенные множители Лагранжа;

$\Phi_s$  – функции связей.

Для составления системы уравнений используется метод [2], согласно которому общая система уравнений составляется из уравнений-шаблонов для соответствующих связей (шарнир, тяга, гидроцилиндр).

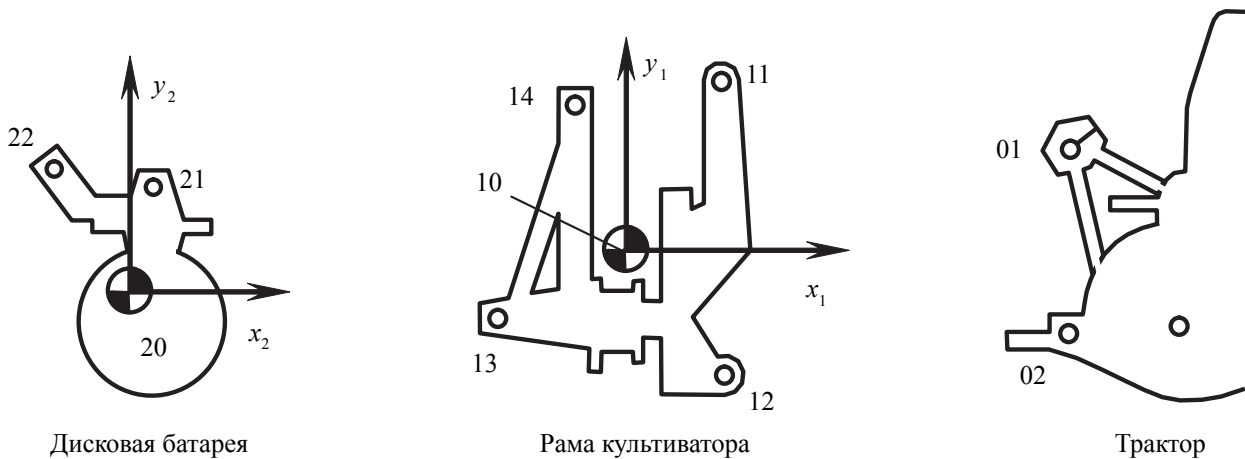


Рис. 1. Представление культиватора в модели в виде совокупности твердых тел

Полученная система имеет следующий вид

$$\begin{bmatrix} M & T \\ T' & O \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ddot{X} \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_x \\ U \end{pmatrix},$$

где  $M$  – квадратная матрица масс и моментов инерции размерностью  $3n \times 3n$  ( $n = 2$  – количество подвижных тел);

$T$  – прямоугольная матрица размерности  $3n \times 3n_\lambda$  ( $n_\lambda$  – суммарное число степеней свободы, которые «отнимают» у системы все наложенные связи);

$T'$  – транспонированная матрица  $T$  размерности  $3n_\lambda \times 3n$ ;

$O$  – нулевая матрица размерности  $3n_\lambda \times 3n_\lambda$ ;

$Q_x$  – вектор размерности  $3n$ , где каждый элемент представляет собой сумму всех соответствующих коэффициентов правой части исходных уравнений-шаблонов, выбранных и вычисленных на основании описания массива связей, а также независимых возмущений;

$U$  – вектор размерности  $n_\lambda$ , образующийся из совокупности коэффициентов  $U_i$  уравнений-шаблонов.

Для расчета сил, действующих на дисковую батарею со стороны лесной почвы, используется разработанная ранее модель, в которой почва, в соответствии с методом конечных элементов [3], представляется как совокупность большого количества шарообразных элементов (7000 элементов), взаимодействующих между собой и с дисковой батареей. Учет контактирующих в данный

момент времени элементов почвы с дисками культиватора позволяет рассчитать горизонтальную и вертикальную составляющие силы со стороны почвы на дисковую батарею.

Гидравлическая подсистема представляется в модели совокупностью трех отдельных элементов: гидропульсатора (полость, изменяющая свой объем с течением времени по синусоидальному закону), соединительного шланга (трубопровода) и гидроцилиндра. Полости гидроэлементов соединены между собой штуцерами, представляемыми в модели дросселями. При перемещении поршня гидропульсатора или поршня гидроцилиндра изменяются объемы  $V_m$  соответствующих полостей ( $m$  – означает индекс полости). Это приводит к изменению давлений  $P_m$  в полостях, причем данные изменения связаны зависимостью [4]

$$\frac{dP_m}{dV_m} = -\frac{E}{V_m},$$

где  $E$  – объемный модуль упругости рабочей жидкости.

Если давления в двух полостях, соединенных между собой, различаются, начинается перетекание рабочей жидкости из полости с большим давлением в полость с меньшим давлением, при этом расход  $Q_{ij}$  определяется по известной зависимости

$$Q_{ij} = k_{ij} \text{sign}(P_i - P_j) \sqrt{|P_i - P_j|},$$

где  $i$  и  $j$  – индексы полостей;

$k_{ij}$  – коэффициент дросселирования;

$\text{sign}(x)$  – функция, возвращающая знак переменной  $x$ .

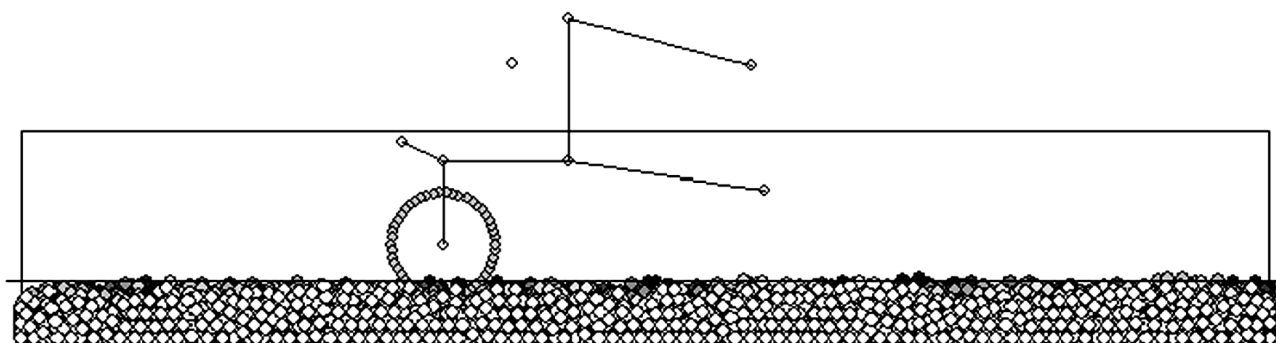


Рис. 2. Схематическое изображение культиватора КЛБ-1,7, выводимое на экран компьютера в процессе компьютерного эксперимента

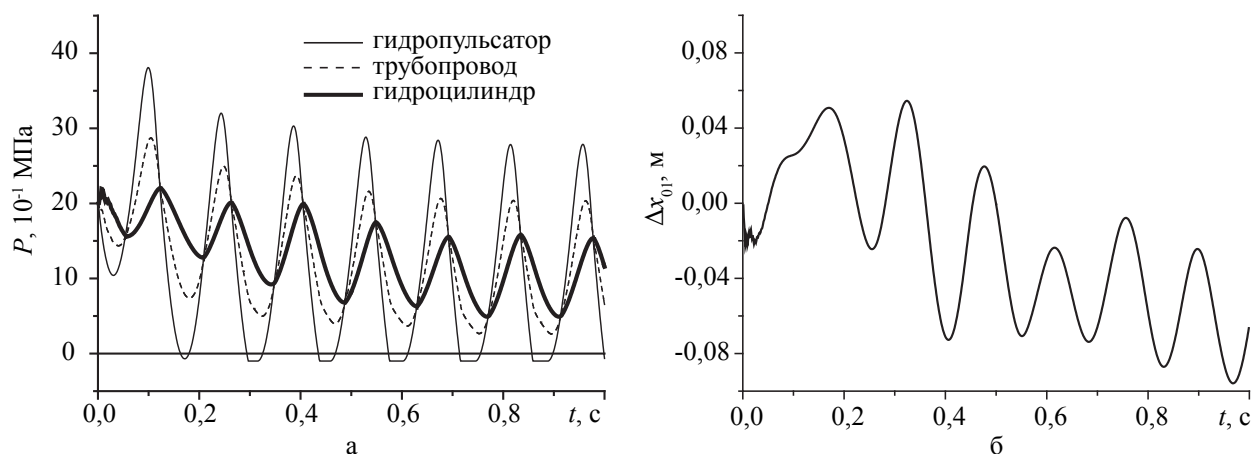


Рис. 3. Результаты моделирования: зависимости давлений в элементах гидросистемы от времени (а) и зависимость отклонения центра дисковой батареи от равновесного положения от времени  $\Delta x_{01}(t)$  (б)

Возможность трубопровода упруго расширяться под влиянием давления в модели учитывается упругостью рабочей жидкости, то есть коэффициентом  $E$ .

Таким образом, в основе модели лежит система дифференциальных уравнений, определяющая эволюцию с течением времени механической и гидравлической подсистем культиватора, а также системы шарообразных элементов почвы. Для численного интегрирования системы используется модифицированный метод Эйлера [5]. С целью организации комплексного исследования механизма для виброзаглубления культиватора КЛБ-1,7 разработана специальная компьютерная программа на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7 (рис. 2). Программа позволяет проводить компьютерные эксперименты с моделью. В процессе компьютерного эксперимента трактор движется с постоянной го-

ризонтальной скоростью  $v_{тр}$  и преодолевает путь, равный 10 м. При этом рассчитываются такие выходные параметры, как мощность, затрачиваемая на горизонтальное движение культиватора и на функционирование механизма для виброзаглубления, глубина обработки почвы, амплитуда вибрации дисковой батареи.

Спустя некоторое время после начала компьютерного эксперимента культиватор выходит на некоторую установившуюся глубину обработки, при этом переходные процессы в гидросистеме сменяются стабильным режимом ее работы (рис. 3).

В то время как амплитуда колебаний давления в гидропulsаторе составляет около 1,5 МПа, в соединительном шланге амплитуда ниже – около 1,0 МПа, в гидроцилиндре еще ниже – около 0,5 МПа (рис. 3 а). Снижение амплитуды по мере удаления гидроэлемента от гидропulsатора можно объяснить влия-

нием дросселирования в местах соединения гидрозъемов и в соединительном шланге. С этой точки зрения целесообразно использовать соединительный шланг по возможности большего диаметра.

Моделирование подтвердило работоспособность предлагаемого механизма для виброзаглубления. Механизм сообщает колебания дисковой батарее в продольном направлении со средней амплитудой около 4 см (рис. 3 б). Наблюдается существенная неравномерность колебаний дисковой батареи с течением времени. Это объясняется тем, что в рамках модели воспроизводится неровность рельефа и неоднородность структуры почвы, которые вызывают существенные флуктуации сил, действующих на дисковую батарею. Модель позволит в дальнейшем определить оптимальные параметры механизма для виброзаглубления: диаметр и ход поршня гидропульсатора, диаметр гидроцилиндра, расположение точек крепления гидроцилиндра, рабочее давление гидросистемы.

Таким образом, в рамках данной работы разработана компьютерная модель

механизма для виброзаглубления культиватора КЛБ-1,7, учитывающая процессы, происходящие в механической и гидравлической подсистемах культиватора, а также взаимодействие дисковой батареи с почвой. Модель подтверждает, что предложенный механизм для виброзаглубления достаточно эффективен, и позволяет определить его оптимальные параметры.

#### Библиографический список

1. Посметьев, В.И. Исследование динамического и вибрационного заглубления дисковой батареи культиватора КЛБ-1,7 / В.И. Посметьев, Л.Т. Свиридов, В.А. Зеликов и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 4(67). – С. 112–116.
2. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / Под ред. Е.Ю. Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.
3. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебное пособие / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
4. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / под ред. Е.Ю. Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.
5. Инженерные расчеты на ЭВМ: Справочное пособие / под ред. В.А. Троицкого. – Л.: Машиностроение, 1979. – 288 с.

## РЕЖИМЫ ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

А.А. КОСАРИН, *ст. преподаватель каф. сушки и защиты древесины МГУЛ,*

А.И. РАСЕВ, *проф. каф. сушки и защиты древесины МГУЛ*

*kosarin@mgul.ac.ru; rasev@mgul.ac.ru*

**И**мпульсная сушка пиломатериалов и заготовок проводится повторяющимися циклами. Каждый цикл складывается из двух стадий: «импульс», когда к высушиваемому материалу подводится тепловая энергия, и «пауза», во время которой подача тепловой энергии прекращается. Анализ процесса импульсной сушки на базе разработанной физической модели [1, 2] позволил установить, что основными параметрами режима на стадии «импульс» являются **температура среды  $t$**  и **продолжительность импульса  $\tau_{им}$** , а на стадии «пауза» – **продолжительность паузы  $\tau_{п}$** . При разработке режимов импульсной сушки пиломатериалов той или иной характеристики при заданных показателях их качества сохраняется 3–5-ступенчатая структура, которая была принята при построении режимов традиционной конвективной сушки [3, 4].

**Уровень температуры на стадии «импульс».** Интенсивность процесса сушки зависит в значительной степени от температуры сушильного агента. Однако воздействие высокой температуры может вызвать снижение эксплуатационной прочности и изменение цвета древесины. В соответствии с РТМ [4] температура сушильного агента в зависимости от породы древесины и толщины сортиментов колеблется в широких пределах от 38 до 125 °С.

подавляющее число современных предприятий деревообрабатывающей промышленности в качестве теплоносителя использует горячую воду 90...95 °С. По этой причине выполнение РТМ не может быть полностью реализовано. Это обстоятельство было причиной пересмотра и корректировки режимов сушки [1]. Высший уровень температуры установлен равным 75 °С. Такая температура, с одной стороны, соответствует реально достижимой в сушильных камерах, а с другой – обеспечивает полное сохранение природной прочности древесины. Этот же

уровень температуры принят нами при разработке режимов импульсной сушки. При более низкой температуре, предусмотренной стандартными режимами, ее повышали на 5 °С, но не более 75 °С.

**Продолжительность стадии «импульс».** На стадии «импульс» степень насыщенности может быть существенно ниже уровня, рекомендованного стандартными режимами. Непрерывная сушка в среде с такой пониженной степенью насыщенности неизбежно приведет к тому, что сушильные напряжения превысят предел прочности и произойдет образование трещин. Из этого следует, что продолжительность стадии «импульс» должна быть такой, при которой развивающиеся напряжения не достигают предела прочности.

Применим для последующего анализа критерий безопасности  $B$  режима [3], который определяет, насколько он предохраняет высушиваемые сортименты от разрушения (растрескивания). Величина этого критерия характеризуется отношением предела прочности  $\sigma_{пр}$  древесины к максимальным сушильным напряжениям  $\sigma_{max}$ , возникающим в высушиваемом материале.

$$B = \sigma_{пр} / \sigma_{max} \quad (1)$$

Имеющиеся в литературе [3, 5] графики зависимости предела прочности при растяжении поперек волокон от температуры и влажности древесины даны для средних значений  $\sigma_{пр}$ . Действительная величина предела прочности древесины отдельных досок может иметь отклонения от среднего значения на величину показателя изменчивости (коэффициента вариации)  $v$  предела прочности древесины. Для предела прочности на растяжение поперек волокон  $v = 0,15$  (15 %) [6]. Эта величина подтверждается результатами исследования П.С. Серговского [3], М.В. Николайчука [5]. По закону нормального распределения с вероятностью ~ 95 % отклонения отдельных вариант от среднего арифметического лежат

в пределах  $\pm 2\sigma$ . Тогда для рассматриваемого случая диапазон отклонений составит  $\pm 2\nu$ .

Расчетный предел прочности  $\sigma_{\text{пр.р}}$  будет равен вероятному нижнему пределу  $\sigma_{\text{пр}}$ . Следовательно

$$\sigma_{\text{пр.р}} = \sigma_{\text{пр}} - 2\nu \cdot \sigma_{\text{пр}} = 0,7\sigma_{\text{пр}}. \quad (2)$$

Применительно к импульсной сушке  $\sigma_{\text{max}}$  следует рассматривать как напряжения в поверхностной зоне сортимента. Это обосновывается тем, что при импульсной сушке наиболее опасными являются поверхностные напряжения растяжения. Растягивающие напряжения во внутренних зонах, обусловленные остаточными деформациями, не являются критическими, поскольку остаточные напряжения существенно ниже, чем при сушке классическими режимами.

Применительно к импульсной сушке критерий безопасности  $B_{\text{и}}$  режима следует записать

$$B_{\text{и}} = 0,95 \cdot \sigma_{\text{пр.р}} / \sigma_{\text{пов}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\text{пов}}$  – напряжения в поверхностном слое сортимента;

0,95 – коэффициент запаса.

Продолжительность стадии «импульс» рассчитывается следующим образом:

– определяются напряжения, развивающиеся в поверхностной зоне, при заданной температуре и различной степени насыщенности сушильного агента, в зависимости от глубины гигроскопической зоны  $x_{\text{г}}$ ;

– устанавливается критическая глубина гигроскопической зоны  $x_{\text{гк}}$ , при которой возникающие в поверхностной зоне напряжения будут соответствовать критерию безопасности  $B_{\text{и}} = 1,0$ ;

– рассчитывается продолжительность процесса  $\tau_{\text{им}}$ , при которой глубина гигроскопической зоны равна  $x_{\text{гк}}$ . Полученная величина принимается за режимный параметр для пиломатериалов той толщины и породы древесины, для которых проводился расчет.

Для расчета напряжений использована известная методика, разработанная проф. Уголевым Б.Н. [7], согласно которой доска в поперечном сечении рассматривается как многостержневая модель, при этом длина стержня равна ширине доски, а суммарная толщина стержней – ее толщине.

Напряжения в процессе сушки в каждом ( $i$ -м) стержне характеризуется формулой [8]

$$\sigma_i = E_i(k_y \cdot \Delta W_i - \gamma_i), \quad (4)$$

где  $E_i$  – показатель жесткости данного стержня;

$k_y$  – коэффициент усушки;

$\Delta W_i$  – перепад гигроскопической влажности;

$\gamma_i$  – уравнивающая деформация.

В качестве примера на рисунке построены графики (кривые  $b$ ), характеризующие напряжения в гигроскопической зоне при различных значениях степени насыщенности сушильного агента при сушке обрезных пиломатериалов из древесины березы толщиной 25 мм. Толщина стержня во всех расчетах принималась равной 0,1 мм.

Для определения показателя жесткости древесины  $E_i$ , МПа, при растяжении поперек волокон, в зависимости температуры и влажности использованы результаты, полученные проф. Н.В. Скуратовым [9],

Одновременно на эти графики нанесены кривые, характеризующие расчетный предел прочности (кривые  $a$ ) древесины на растяжение поперек волокон (тангенциальное направление) с учетом коэффициента запаса  $0,95 \cdot \sigma_{\text{пр.р.рас}}$  для  $i$ -го слоя. Для расчета  $\sigma_{\text{пр}}$  использовали аппроксимирующие уравнения [9]. Точка пресечения кривых определяла координату критической глубины гигроскопической зоны  $x_{\text{гк}}$ .

Из анализа кривых следует, что по мере снижения степени насыщенности сушильного агента критическая глубина зоны  $x_{\text{гк}}$  уменьшается. Вероятный диапазон изменения степени насыщенности в начальный период процесса ( $\varphi = 0,75 \dots 0,55$ ) установлен нами в результате анализа многочисленных опытных сушек пиломатериалов различной толщины и породы, проведенных в производственных условиях. Наиболее опасным с точки зрения сохранения целостности материала является нижний предел, для которого и определялась критическая глубина. Так, в рассматриваемом примере для нижнего предела  $\varphi = 0,55$  критическая глубина  $x_{\text{гк}} = 2,5$  мм. Эта величина взята нами для расчета продолжительности стадии «импульс».

Продолжительность стадии «импульс»  $\tau_{\text{им}}$  рассчитывали по уравнению

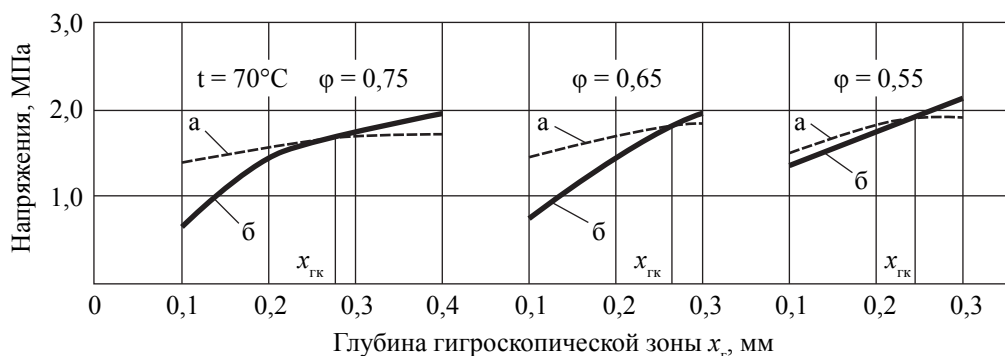


Рисунок. Определение критической глубины  $x_{гк}$  гигроскопической зоны для пиломатериалов из древесины березы толщиной 25 мм

$$\tau_{им} = \frac{x_{гк}^2}{6,76 \cdot a'} \left( \frac{2W_n + W_{н.н} - 3W_n}{3(W_{н.н} - W_n)} \right)^2, \quad (5)$$

где  $a'$  – коэффициент влагопроводности;

$W_n, W_{н.н}, W_n$  – влажность древесины начальная, предела насыщения и поверхности, соответственно.

Уравнение (5) было получено в результате анализа решений известного уравнения влагопроводности [11], характеризующего нестационарный процесс, на стадии нерегулярного режима. Используя данные приведенного выше примера, находим  $\tau_{им} = 2,04$  ч.

**Продолжительность стадии «пауза»**  $\tau_n$  является, как отмечалось выше, следующим режимным параметром. Расчет этого параметра проводится в определенном порядке:

- определяется влажность на поверхности материала в момент окончания паузы;
- рассчитывается продолжительность  $\tau_n$ , требуемая для достижения полученной поверхностной влажности.

Величина поверхностной влажности  $W_n$  определяется по уравнению (6), составленному на основе балансовых уравнений влагообмена на поверхности высушиваемого материала

$$W_n = \left( W_{н.н} + \frac{\alpha'}{a'_{эк}} W_p \cdot x_{гк} \right) / \left( \frac{\alpha'}{a'_{эк}} x_{гк} + 1 \right), \quad (6)$$

где  $\alpha'$  – коэффициент влагоотдачи;

$a'_{эк}$  – эквивалентный коэффициент влагопроводности, учитывающий перенос влаги за счет термовлагопроводности;

$W_p$  – равновесная влажность.

Величина эквивалентного коэффициента влагопроводности  $a'_{эк}$  определяется исходя из следующих соображений.

Интенсивность переноса влаги под действием градиента температуры характе-

ризуется, как известно, коэффициентом термовлагопроводности  $\delta$ , который в первом приближении показывает, что при численном равенстве температурного и влажностного перепада (градиента) интенсивность потока влаги за счет градиента температуры возрастает в  $\delta$  раз. Это эквивалентно повышению коэффициента влагопроводности в  $\delta + 1$  раз. При неравенстве перепадов температуры и влажности эквивалентный коэффициент влагопроводности определяется по выражению

$$a'_{эк} = a' \left( 1 + \delta \frac{\Delta t}{\Delta W} \right). \quad (7)$$

Для рассматриваемого случая

$$a'_{эк} = a' \left( 1 + \delta \frac{\bar{t}_2 - \bar{t}_n}{W_{н.н} - \bar{W}_n} \right), \quad (8)$$

где  $\bar{t}_2$  и  $\bar{t}_n$  – средняя температура на поверхности и внутренней границе гигроскопической зоны на стадии «пауза», соответственно;

$\bar{W}_n$  – средняя влажность на поверхности на стадии «пауза».

В результате анализа многочисленных кривых изменения температуры по толщине высушиваемых сортиментов на стадии «пауза» установлено, что разность температуры на границе гигроскопической зоны и поверхности колеблется в пределах  $0 \dots 4$  °С, что позволяет считать разность  $\bar{t}_2 - \bar{t}_n$  величиной достаточно постоянной и примерно равной 2 °С.

При разработке методики расчета продолжительности стадии «пауза» было использовано решение уравнения влагопроводности для поверхности пластины при граничных условиях III рода [11]. Применительно к процессу увлажнения это решение для поверхности сортимента может быть записано в следующем виде



$$(W_n - W_n) = (W_n - W_p) \sum_{i=1}^{i=\infty} \frac{(2 \sin \mu_i \cdot \cos \mu_i) \cdot e^{-\mu_i^2 Fo'}}{\mu_i + \sin \mu_i \cdot \cos \mu_i}, \quad (9)$$

где  $\mu_i$  – корни уравнения, величина которых зависит от диффузионного критерия  $Bi'$ ;  $Fo'$  – диффузионный критерий Фурье.

В свою очередь

$$Bi' = \frac{\alpha'}{a'} R, \quad (10)$$

$$Fo' = \frac{a' \tau}{R^2}, \quad (11)$$

где  $R = S/2$ , а  $S$  толщина пластины;

$\tau$  – искомая продолжительность.

В расчетах, при малых значениях  $Bi'$ , можно ограничиться одним первым членом ряда. Такой прием используется достаточно широко [3, 10] при анализе как процессов нагревания, так и сушки древесины. Его применение дает погрешность, не превышающую 2...3 %, что для практических расчетов вполне допустимо.

В результате получаем уравнение для расчета продолжительности стадии «пауза»

$$\tau = \frac{S^2}{4\mu_1 \cdot a'_{эк}} \ln \frac{W_n - W_p}{W_n - W_n} \cdot \frac{2 \sin \mu_1 \cdot \cos \mu_1}{\mu_1 + \sin \mu_1 \cdot \cos \mu_1}, \quad (12)$$

где  $\mu_1$  – корень уравнения для первого члена ряда,  $\mu_1 = f(Bi')$ , определяется по уравнению (при  $Bi' \leq 20$ )

$$\mu = 0,99 Bi'^{0,14}. \quad (13)$$

Продолжительность паузы  $\tau_n$ , рассчитанная по уравнению (12), по исходным данным примера будет равна 1,98 ч.

По методике, изложенной выше, были рассчитаны режимные параметры импульсной сушки для пиломатериалов и заготовок основных отечественных и ряда тропических пород, импортируемых в нашу страну. Для примера в таблице приведены режимы импульсной сушки пиломатериалов и заготовок из древесины березы, осины и липы.

Таким образом, режим импульсной сушки пиломатериалов, которая проводится повторяющимися циклами «импульс – пауза» устанавливает три основных параметра: температуру сушильного агента и продолжительность процесса на стадии «импульс» и продолжительность стадии «пауза».

Разработана методика определения этих параметров. По этой методике разработаны режимы сушки пиломатериалов, как

**Режимы сушки пиломатериалов из древесины березы, осины, липы**

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм				
		16, 19	22, 25	32, 40	50	60
> 35	$\tau_{им}$ , час	3, 0	2, 0	2, 0	2, 0	2, 0
	$t^{\circ}C$	75	75	69	67	61
	$\tau_n$ , час	2, 0	2, 0	2, 0	3, 0	3, 0
35...20	$\tau_{им}$ , час	3, 0	2, 0	2, 0	2, 0	2, 0
	$t^{\circ}C$	75	75	73	71	64
	$\tau_n$ , час	2, 0	2, 0	2, 0	3, 0	3, 0
< 20	$\tau_{им}$ , час	4, 0	4, 0	2, 0	2, 0	2, 0
	$t^{\circ}C$	75	75	75	75	75
	$\tau_n$ , час	2, 0	2, 0	2, 0	2, 0	2, 0

отечественных, так и некоторых зарубежных пород. В статье приведен пример режима сушки пиломатериалов из древесины березы.

**Библиографический список**

1. Расев, А.И. Тепловая обработка и сушка древесины: учебник для вузов / А.И. Расев. – М.: МГУЛ, 2010. – 360 с.
2. Косарин, А.А. Особенности импульсной сушки пиломатериалов / А.А. Косарин // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник. – 2010. – № 5(74).– С. 119–125.
3. Серговский, П.С. О принципах построения рациональных режимов сушки пиломатериалов / П.С. Серговский // Труды Всесоюзной научно-технической конференции. –Архангельск: ЦНИИМ-ОД, 1968. – С. 36–55.
4. Руководящие технические материалы по камерной сушке древесины. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. – 143 с.
5. Николайчук, М.В. Исследование реологических показателей и режимов сушки древесины при низких температурах: дис. ... канд. тех. наук / М.В. Николайчук. – М.: МЛТИ, 1973. – 201 с.
6. Боровиков, А.М. Справочник по древесине: справочник / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 296 с.
7. Уголев, Б.Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке / Б.Н. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 172 с.
8. Уголев, Б.Н. Контроль напряжений при сушке древесины / Б.Н. Уголев, Ю.Г. Лапшин, Е.В. Кротов. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 206 с.
9. Скуратов, Н.В. Разработка рациональных режимов сушки пиломатериалов в камерах периодического действия: дис. ... канд.тех. наук / Н.В. Скуратов. – М.: МЛТИ, 1983. – 185 с.
10. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины / Г.С. Шубин. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 336 с.
11. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

## К ВОПРОСУ НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЛЕСКА ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДРЕВЕСНЫХ ПОДЛОЖКАХ

Б.М. РЫБИН, *проф. каф. технологии мебели и изделий из древесины МГУЛ, д-р техн. наук,*  
И.А. ЗАВРАЖНОВА, *ст. преп. каф. технологии мебели и изделий из древесины МГУЛ*

*rybin@mgul.ac.ru; zavrazhnova@mgul.ac.ru; caf-mebel@mgul.ac.ru*

По характеру отражения света покрытия можно условно разделить на зеркальные, глянцевые и матовые. Зеркальные имеют гладкую поверхность, высота неровностей которой не превышает половину длины волны видимого света (примерно 0,25 мм). Падающий на такую поверхность световой поток отражается не рассеиваясь и дает зеркальное изображение окружающих предметов.

Глянцевые покрытия имеют неровности с более или менее регулярным шагом, высота которых превышает половину длины волны видимого света. В отличие от зеркально гладких такие покрытия обладают ослабленным блеском и изображают окружающие предметы искаженно в зависимости от неровностей покрытий.

Матовые покрытия обладают равномерной шероховатостью. Неровности не имеют острых углов, вершины и впадины скруглены. Покрытия с такой поверхностью рассеивают подающий свет, но из-за скругления неровностей обладают слабым блеском или матовостью.

В настоящее время достаточно надежно оценивают блеск глянцевых покрытий. Для этого используют рефлектоскопический метод оценки и прибор рефлектоскоп Р-4, основанный на четкости изображения контуров светящегося тела на контролируемой поверхности.

Для оценки блеска зеркальных покрытий используют рефлектометрический метод, основанный на определении зеркально отраженного светового потока от контролируемой поверхности с помощью фотоэлементов. Существенным недостатком приборов (блескомеров), работающих на этом принципе, является влияние светлоты и других свойств подложки под прозрачным лаковым покрытием на их показания [1]. Оно тем сильнее, чем

меньше зеркальная составляющая от контролируемой поверхности, поэтому невыгоднейшие условия применения блескомеров – на зеркальных покрытиях, меньше на глянцевых и матовых.

Для оценки блеска матовых покрытий используют профилометрические методы и используемые в них параметры шероховатости [2]. Оценка «отражающих свойств» таких покрытий параметрами шероховатости оказалась возможной при условии постоянства формы контролируемых поверхностей. Изменения характера блеска покрытий при этом связаны с изменением размера неровностей по высоте и шагу.

Обобщающим методом оценки блеска различных защитно-декоративных покрытий на древесине является применение блескомеров, позволяющих определять поляризационную составляющую отраженного света покрытием и подложкой. Исследования поляризации светового потока при отражении от поверхности прозрачного лакового покрытия [3] позволили предложить прибор (ФБП) и метод определения блеска. В его основе лежит явление поляризации светового потока, отраженного от поверхности диэлектриков, которыми являются лаковые покрытия. Поскольку показатели преломления покрытий изменяются в пределах 1,52 ... 1,56 [4], то поляризация света будет наблюдаться под углом Брюстера около 60°. В этом случае отраженный от поверхности покрытия световой поток поляризован, т.е. колебания вектора электрической индукции распространяются в определенном направлении. Это относится к покрытиям, на поверхности которых отсутствуют микронеровности профиля. Поскольку на поверхности прозрачных покрытий наблюдаются микронеровности профиля, то при отражении от ровных участков световой

поток является поляризованным, а при отражении от участков, содержащих неровности, неполяризованным. Учет влияния подложки основан на том, что прошедший лаковое покрытие и отраженный древесной подложкой, поток не поляризован, так как отражение от границы раздела покрытие–подложка происходит не под углом Брюстера и кроме того на поверхности подложки имеются неровности анатомического происхождения и шероховатость.

Предложенный блескомер, работающий по этому принципу, позволяет вычленить световой поток, отраженный от участков покрытия, на которых отсутствуют микронеровности и который характеризует направленное отражение света или блеск контролируемой поверхности.

Теоретические исследования поляризации светового потока при отражении от поверхности прозрачного лакового покрытия [3] позволили получить зависимость блеска покрытия от среднего арифметического отклонения профиля ( $R_a$ ) следующего вида при показателе преломления покрытия

$$\begin{aligned} n = 1,56 \quad B = 64,02 \cdot e^{-12,58Ra^2}, \\ n = 1,52 \quad B = 59,16 \cdot e^{-12,58Ra^2}. \end{aligned}$$

При увеличении значения  $R_a$  уменьшается блеск контролируемой поверхности покрытия. При этом полученные значения блеска при определенном показателе  $R_a$  могут характеризовать отражательные свойства зеркальных, глянцевых и матовых покрытий на древесине.

На рисунке приведены зависимости блеска по рефлектоскопу Р-4, блескомеру ФБП и по приведенным формулам от среднего арифметического отклонения профиля поверхности покрытия. Данные по Р-4 были заимствованы из опытов, проведенных на кафедре технологии изделий из древесины МЛТИ в 1968 г. Работа выполнялась под руководством проф. Б.М. Буглая, и ее результаты были опубликованы [5]. Единственным преобразованием результатов было отнесение зависимости блеска (номер строки по Р-4) к параметру шероховатости  $R_a$ . В исследованиях Б.М. Буглай и позднее Б.М. Рыбин показали, что высота неровностей ( $h$ ) полимерных пок-

рытий для древесины коррелируется с параметром шероховатости  $R_a$ , т.е.  $h = 4R_a$ .

Зависимости блеска по блескомеру ФБП и расчеты по формулам были получены в результате настоящей работы. Для этого исследование блеска проводилось на образцах покрытий с различным характером отражения света. Значения блеска, полученные по блескомеру ФБП и по формулам, сравнивались с результатами визуальной оценки. Визуальная оценка контролируемых поверхностей проводилась на основе опроса наблюдателей (экспертов). Согласованность мнений экспертов оценивалась по минимальным отклонениям мнений экспертов от среднего мнения группы. Сопоставление данных экспертной оценки с результатами оценки по прибору ФБП и по формулам проводилось с использованием коэффициента ранговой корреляции по Спирмену.

Проведенные исследования показали, что оценка по прибору ФБП хорошо согласуется с расчетным методом вычисления по формулам и с результатами экспертного опроса. Как видно на рисунке, графики имеют хорошее согласование результатов по оценке блеска защитно-декоративных покрытий на древесине. Практический охват по характеру отражения света контролируемых поверхностей соответствует различным покрытиям по блеску от зеркальных до матовых.

На рисунке можно выделить несколько областей. Известно и видно из графика, что рефлектоскоп Р-4 дает хорошие результаты по оценке блеска покрытий в области высоты неровностей более 0,25 мкм до 1,5 мкм или по  $R_a$  более 0,0625 мкм до 0,375 мкм. Эта область глянцевых покрытий. Отсюда покрытия с высотой неровностей менее 0,25 мкм (по  $R_a$  менее 0,0625 мкм) соответствуют покрытиям с зеркальным блеском поверхности (область I). Область глянцевых покрытий можно разбить в соответствии с длиной волны видимого света (0,5 мкм) на полужеркальную и полуглянцевую области. Область полужеркальных (область II) покрытий по высоте неровностей находится в интервале от 0,25 мкм до 0,5 мкм (или по  $R_a$  от 0,0625 мкм до 0,125 мкм). Покрытия,

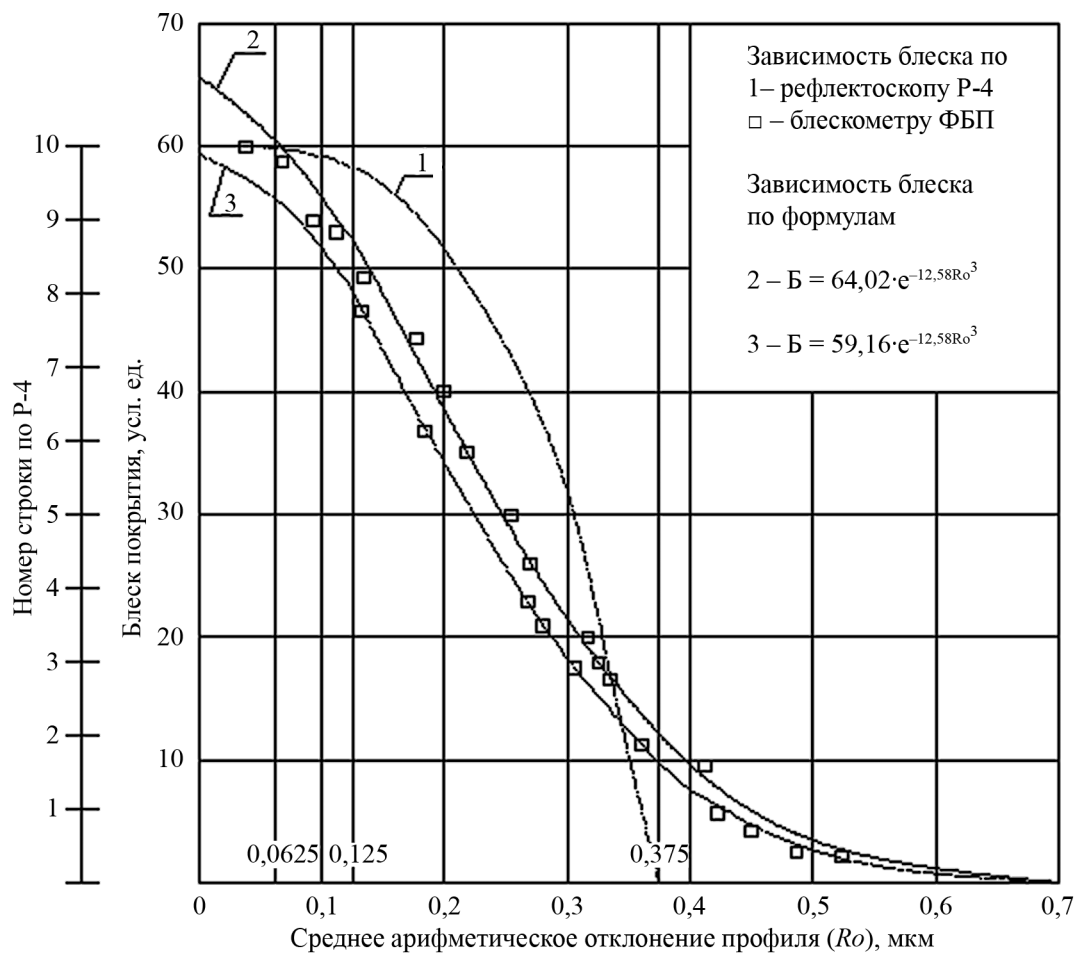


Рисунок. Зависимость блеска от среднего арифметического отклонения профиля поверхности покрытия

находящиеся в этой области, приближаются по характеру отражения света к зеркальным покрытиям, но имеют некоторый приглушенный блеск. Область полуглянцевых покрытий (область III) по высоте неровностей находится в интервале от 0,5 мкм до 1,5 мкм (или по Ra от 0,125 мкм до 0,375 мкм). Покрытия, находящиеся в этой области, обладают значительно приглушенным блеском поверхности. У них наряду с диффузным отражением может наблюдаться некоторое направленное отражение света, характерное для блестящих поверхностей.

Последняя область (IV) с высотой неровностей от 1,5 мкм до 3,0 мкм (или по Ra от 0,375 мкм до 0,75 мкм) соответствует матовым покрытиям. Рефлекскопом Р-4 оценить матовые поверхности по блеску не представляется возможным, так как на таких покрытиях не наблюдаются отраженные строки прибора. Область матовых покрытий по высоте

неровностей ограничена значением 3 мкм. Это объясняется тем, что матовые покрытия преимущественно получают за счет введения в состав жидких лаков мелкодисперсных порошков. Размер глобул таких частиц не может быть значительным, так как с увеличением среднего статистического размера таких частиц получают грубо шероховатые поверхности, не представляющие высокое качество покрытий по блеску (матовости).

В результате проведенной работы обобщен опыт исследования блеска защитно-декоративных покрытий на древесине и древесных подложках. Выявлены методы и приборы, позволяющие объективно оценивать блеск покрытий, различных по характеру отражения света контролируемыми поверхностями. Обосновано предложение нормирования блеска покрытия по высоте неровности контролируемой поверхности. Даны предварительные нормативы блеска защитно-деко-

ративных покрытий на древесине и древесных подложках.

**Библиографический список**

1. Рыбин, Б.М. Исследование влияния светлоты подложки на показания прибора ФБ-2 при оценке блеска зеркальных лаковых покрытий / Б.М. Рыбин // Научные труды МЛТИ. – Вып. 140. – 1981. – С. 39–42.
2. Буглай, Б.М. О методах оценки блеска матированных покрытий / Б.М. Буглай, Б.М. Рыбин // Деревообрабатывающая промышленность. – 1981. – № 10. – С. 2–5.
3. Рыбин, Б.М. Метод оценки блеска прозрачных лаковых покрытий на древесине / Б.М. Рыбин // Деревообрабатывающая промышленность. – 1992. – № 3. – С. 5–7.
4. Рыбин, Б.М. Метод определения показателя преломления прозрачных лаковых покрытий / Б.М. Рыбин, Е.В. Жуков // Деревообрабатывающая промышленность. – 1984. – №7. – С. 9–10.
5. Буглай, Б.М. К вопросу стандартизации метода оценки блеска прозрачных лаковых покрытий на древесине / Б.М. Буглай, С.И. Пименова // Деревообрабатывающая промышленность. – 1971. – № 11. – С. 5–7.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ**

Е.С. ШАРАПОВ, доц. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ, канд. техн. наук,  
 Е.Ю. РАЗУМОВ, доц. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ, канд. техн. наук,  
 А.С. КОРОЛЕВ, магистрант каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ,  
 Д.А. ПОПОВ, магистрант каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ

*sharapov\_evgeniy@mail.ru; aleksandr\_88-08@mail.ru*

Исследование процессов механической обработки термически модифицированной древесины является актуальным ввиду развития технологий и расширения производства данного вида продукции в нашей стране и за рубежом, а также незначительного количества научных работ в обозначенном направлении [1].

Целью исследований является определение энергосиловых параметров процесса продольного и поперечного резания термически модифицированной древесины (ТМД) березы и шероховатости поверхности резания.

Оборудование и инструмент для изготовления заготовок и проведения экспериментальных исследований: маятниковый копёр, штангенциркуль ШЦ–II, угломер 5УМ, микрометр МК25, микроскоп МИС–11, электровлажгомер GANN H 85 T, аналитические электронные весы AF–R220CE.

Методика проведения эксперимента

включала изготовление образцов из древесины березы сечением 15×40 мм, замер плотности стереометрическим способом и влажности при помощи электровлажгомера. Далее осуществлялся процесс термической модификации образцов по трем классам модификации (режим обработки при 180, 200, 220 °С). Работа, затрачиваемая на резание термически модифицированной древесины, определялась с помощью маятникового копра [2]. Геометрические размеры получаемой стружки определялись при помощи микрометра МК25. Шероховатость поверхности обработки измерялась при помощи микроскопа МИС–11. Математическими расчетами находились усилие резания и удельная работа резания.

Образцы закреплялись в суппорте маятникового копра, величина угла резания устанавливалась при помощи угломера 5УМ, а толщина снимаемой стружки задавалась при помощи индикатора часового типа ИЧ–10–2М (таблица).

Т а б л и ц а

**Наименование и уровни варьирования факторов**

№	Наименование фактора	Уровни варьирования				
X <sub>1</sub>	Угол резания δ, град	25	30	35	40	45
X <sub>2</sub>	Толщина снимаемой стружки, мм	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4

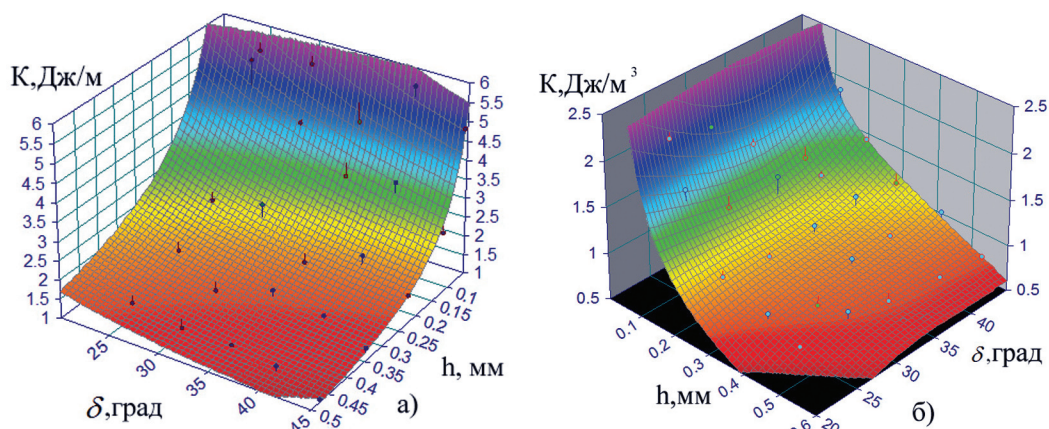


Рис. 1. Поверхности отклика удельной работы резания относительно угла резания и толщины снимаемой стружки для немодифицированной древесины березы: а – продольное резание, б – поперечное резание

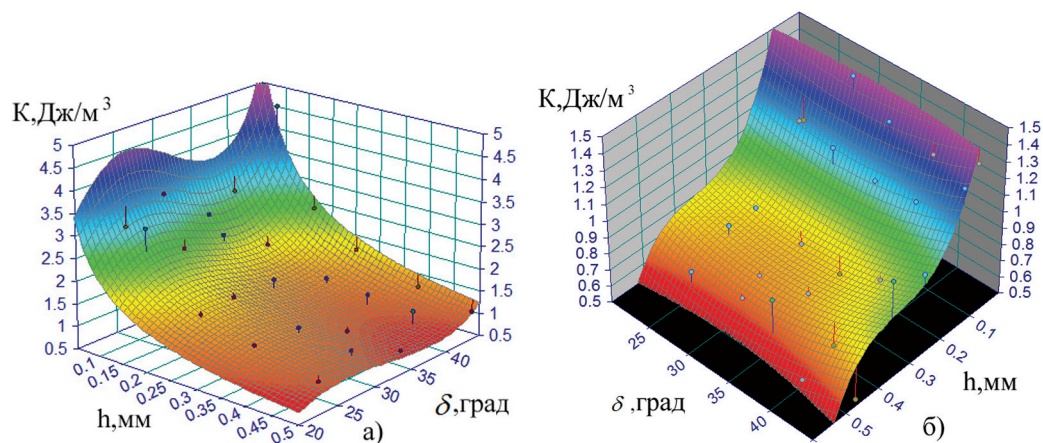


Рис. 2. Поверхность отклика удельной работы резания относительно угла резания и толщины снимаемой стружки для древесины березы модифицированной при 180°C: а – продольное резание, б – поперечное резание

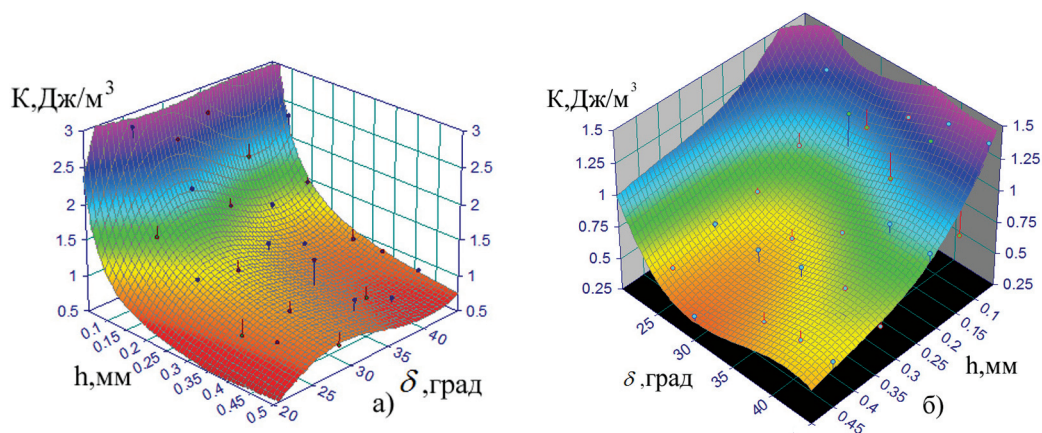


Рис. 3. Поверхность отклика удельной работы резания относительно угла резания и толщины снимаемой стружки для древесины березы модифицированной при 200°C: а – продольное резание, б – поперечное резание

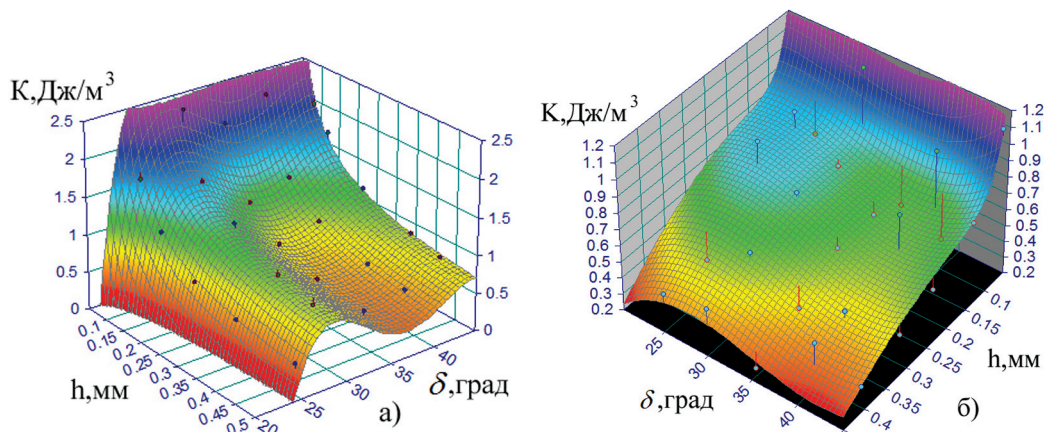


Рис. 4. Поверхность отклика удельной работы резания относительно угла резания и толщины снимаемой стружки для древесины березы модифицированной при 220°C: а – продольное резание, б – поперечное резание

Работа, затрачиваемая на резание при использовании маятникового копра, может быть выражена как разность потенциальных энергий маятника в крайней точке его отклонения при холостом ходе и при резании  $A$ , Дж [2, 3]

$$A = G \cdot H_{xx} - G \cdot H_{px} = G \cdot \Delta H = c \cdot \Delta h, \quad (1)$$

где  $G$  – вес маятника, Н;

$H_{xx}$  – высота подъема маятника при холостом ходе, м;

$H_{px}$  – высота подъема маятника при рабочем ходе, м;

$\Delta H$  – разность высот, м;  $c$  – цена деления (определялась отдельной серией опытов) 0.1 Дж/мм [3];

$\Delta h$  – отсчет по шкале, мм.

Удельная работа резания  $K$ , Дж/м<sup>3</sup> [4–6]

$$K = A / W, \quad (2)$$

где  $W$  – фактический объем разрушения (объем срезанной стружки), м<sup>3</sup>.

Исходя из анализа факторов, влияющих на энергосиловые параметры процесса резания древесины, были выбраны варьируемые факторы эксперимента, а также пределы их варьирования (таблица). Было принято решение о постановке классического эксперимента.

Выходные величины процесса резания: работа резания  $A$ , Дж; шероховатость поверхности резания  $R_{max}$ , мкм. На основании предварительного эксперимента (22 повторения) минимальное количество дублирующих опытов принято равное пяти [7].

Математические расчеты (1–2) и графическое представление результатов исследований осуществлялись в программных комплексах «MSExel» и «TableCurve 3D».

Результаты экспериментальных исследований процессов продольного и поперечного резания ТМД березы представлены на рис. 1–4.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на величину удельной работы резания оказывает толщина снимаемой стружки. При этом с повышением класса термической модификации древесины березы наблюдается снижение величины удельной работы резания относительно немодифицированной древесины в среднем на 40, 50 и 60 % для продольного резания и 35, 38, 45 % для поперечного резания. Необходимо отметить снижение величин удельной работы резания в пределах углов резания 30–40° и толщин срезанной стружки 0,2–0,5 мм при 2 и 3 классах термической модификации и продольном резании (рис. 3а, 4а), а также уменьшение удельной работы резания в пределах углов резания 25–35° и толщин срезанной стружки 0,2–0,5 мм при поперечном резании и 2 классе модификации (рис. 3б). Изменение энергосиловых параметров процесса резания в зависимости от класса модификации вызвано молекулярным изменением в структуре древесины. С повышением класса термической модификации наблюдается незначительное увеличение величины

шероховатости поверхности резания [8] в среднем на 20 % относительно немодифицированных образцов древесины березы. Целью дальнейших исследований является изучение производственных процессов резания ТМД, а также расширение количества входных факторов эксперимента и пределов их варьирования, влияющих на энергосиловые параметры процесса резания древесины.

### Библиографический список

1. Бодров, Ю. Превращение древесины в термодерево / Ю. Бодров // «Дерево.ru». – 2007. – № 6. – С. 143–146.
2. Анисимов, Э.А. Оптимизация уширения плечевых зубьев рамных пил: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / Анисимов Эдуард Аркадьевич. – Йошкар-Ола, 2002. – 25 с.
3. Торопов, А.С. Резание древесины: лабораторный практикум / А.С. Торопов, С.А. Еремин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 40 с.
4. Бершадский, А.Л. Резание древесины: учеб. пособие / А.Л. Бершадский. – Минск: Вышэйш. школа, 1975. – 304 с.
5. Глебов, И.Т. Резание древесины: учеб. пособие / И.Т. Глебов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. – 151 с.
6. Любченко, В.И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов / В.И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.
7. Пижурин, А.А. Исследование процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 231 с.
8. Выполнение измерений параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73 при помощи приборов профильного метода: лабораторный практикум. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 24 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СКЛЕИВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КЛЕЙ ПОСТОЯННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

В.М. ПОПОВ, *проф. каф. электротехники, теплотехники и гидравлики ВГЛТА, д-р техн. наук*,  
 А.В. ИВАНОВ, *асс. каф. электротехники, теплотехники и гидравлики ВГЛТА, канд. техн. наук*,  
 В.В. ПОСМЕТЬЕВ, *доц. каф. высшей математики и физико-математического моделирования ВГТУ, канд. физ.-мат. наук*

etgvglta@mail.ru

Ранее установлено, что воздействие магнитным полем на неотвержденную клеевую прослойку или полимерную основу двухкомпонентных клеев повышает прочность клееной древесины [1, 2]. Из большого количества параметров, оказывающих влияние на предел прочности клеевого соединения, при

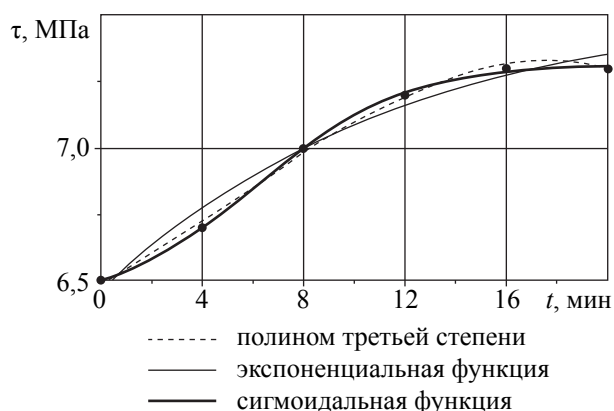


Рис. 1. Аппроксимация экспериментальной зависимости  $\tau(t)$  различными функциями

скалывании  $\tau$  наиболее существенными являются напряженность магнитного поля  $H$  и время выдержки клея или клеевой прослойки в магнитном поле  $t$ . Проведем операцию по выбору аналитического выражения для зависимостей  $\tau(H)$  и  $\tau(t)$ . От правильности выбора аппроксимирующей функции зависит точность прогнозирования конечной прочности клеевого соединения в технологическом процессе с заданными  $H$  и  $t$  [3].

На рис. 1 приведены результаты аппроксимации различными функциями типичной из ранее полученных [1] экспериментальной зависимости  $\tau(t)$ . Наиболее простая аппроксимация полиномом третьей степени  $\tau(t) = a \cdot t^3 + b \cdot t^2 + c \cdot t + d$  несмотря на близость графика к опытным точкам, некорректно описывает поведение функции при больших  $t$ . Можно было бы остановиться на экспоненциальной зависимости вида  $\tau(t) = e^{-kt}$ , однако в этом случае на начальном участке экспери-



ментальной зависимости экспонента слишком резко возрастает и не имеет необходимого перегиба.

Наиболее подходящей аппроксимирующей функцией можно считать функцию Больцмана [4]. Подобная функция описывает плавный переход из одного состояния в другое, относится к классу так называемых сигмоидальных функций и имеет вид

$$\tau(t) = \tau_2 + \frac{\tau_1 - \tau_2}{1 + e^{\frac{t-t_n}{b}}} \quad (1)$$

Константы, входящие в выражение (1), имеют четкий физико-химический смысл, а именно:  $\tau_1$  и  $\tau_2$  – начальное и конечное значения предела прочности на скалывание;  $b$  – коэффициент быстроты нарастания прочности;  $t_n$  – время завершения этапа схватывания клея и начала этапа его отверждения (точка перегиба сигмоидальной функции Больцмана).

Физико-химическая трактовка коэффициентов позволяет понять механизм происходящих процессов на основе результатов аппроксимации.

На рис. 2,3 представлены экспериментальные зависимости прочности клеевого соединения от времени выдержки клея или клеевой прослойки в магнитном поле. Аппроксимация зависимостей  $\tau(t)$  для клея ПВА дает следующие выражения

$$\tau(t) = 7,32 + \frac{6,40 - 7,32}{1 + e^{\frac{t-6,11}{2,97}}} \quad (2)$$

для напряженности поля  $H = 6 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ ;

$$\tau(t) = 7,96 + \frac{6,40 - 7,96}{1 + e^{\frac{t-7,07}{3,00}}} \quad (3)$$

для напряженности поля  $H = 12 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ ;

$$\tau(t) = 8,84 + \frac{6,40 - 8,84}{1 + e^{\frac{t-6,76}{2,25}}} \quad (4)$$

для напряженности поля  $H = 24 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ .

Аппроксимирующие выражения для клея Supraterm 436 имеют вид

$$\tau(t) = 3,21 + \frac{2,61 - 3,21}{1 + e^{\frac{t-4,21}{2,37}}} \quad (5)$$

для напряженности поля  $H = 6 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ ;

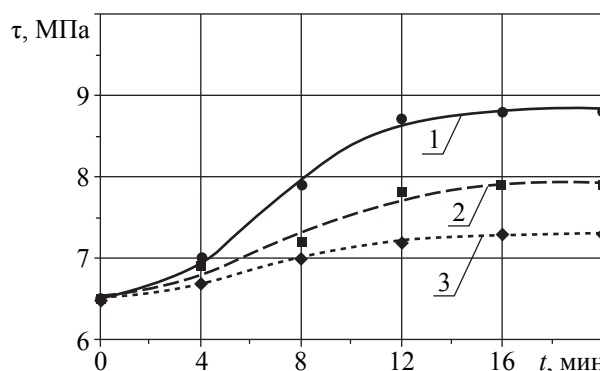


Рис. 2. Зависимость прочности  $\tau$  соединения клея ПВА от времени выдержки  $t$  в магнитном поле напряженностью: 1 –  $H = 24 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ ; 2 –  $H = 12 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ ; 3 –  $H = 6 \cdot 10^4 \text{ А/м}$

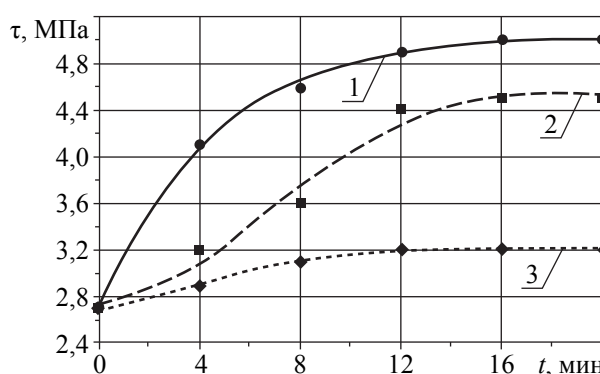


Рис. 3. Зависимость прочности  $\tau$  соединения клея Supraterm 436 от времени выдержки  $t$  в магнитном поле напряженностью: 1 –  $H = 12 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ ; 2 –  $H = 24 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ ; 3 –  $H = 6 \cdot 10^4 \text{ А/м}$

$$\tau(t) = 4,57 + \frac{2,62 - 4,57}{1 + e^{\frac{t-7,20}{2,77}}} \quad (6)$$

для напряженности поля  $H = 12 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ ;

$$\tau(t) = 5,03 + \frac{-7,49 - 5,03}{1 + e^{\frac{t+5,91}{3,98}}} \quad (7)$$

для напряженности поля  $H = 24 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ .

Анализируя значения констант в аппроксимирующих выражениях, можно прийти к выводу, что с увеличением напряженности поля повышается амплитуда сигмоидальной функции, то есть растет прочность клеевого соединения.

С ростом времени выдержки прочность соединения выходит на постоянное значение, поэтому для достижения наибольшей производительности без ущерба качеству достаточно выдерживать клеи или клеевую прослойку в магнитном поле в пределах 16–20 минут.

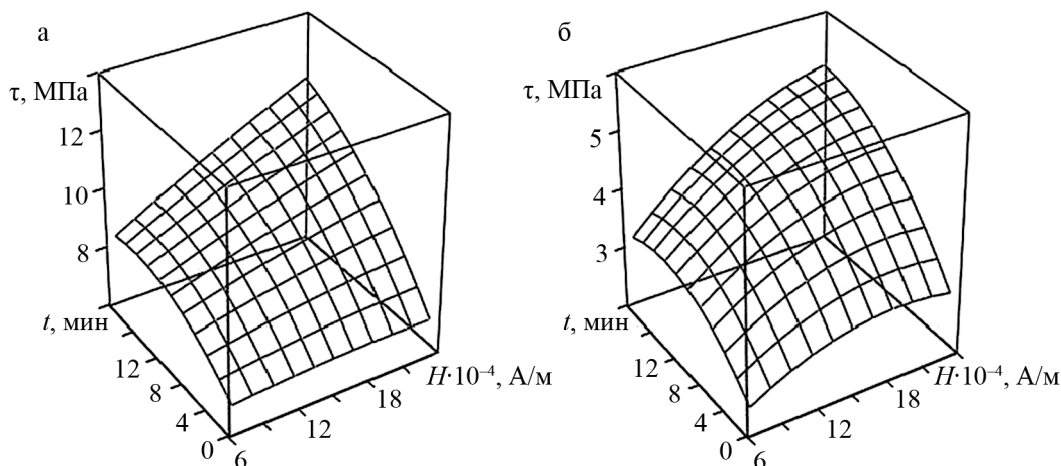


Рис. 4. Поверхности  $\tau(H, t)$ , аппроксимированные полиномом второго порядка: а – клей ПВА; б – Supraterm 436

Представленные на рис. 2,3 результаты экспериментов дают возможность построить двойные зависимости  $\tau(H, t)$ . В результате этого появляется возможность оценить относительный вклад каждого из технологических параметров  $H$  и  $t$  [5]. На рис. 4 представлены поверхности, аппроксимирующие экспериментальные данные для клеев ПВА и Supraterm 436.

Аппроксимация зависимостей  $\tau(H, t)$  для клеев различных типов проведена методом наименьших квадратов с использованием программы «Microcal Origin 5.0». Получены следующие аппроксимирующие выражения:

$$\tau(H, t) = -6,94 \cdot 10^{-4} H^2 - 3,83 \cdot 10^{-3} t^2 + 4,58 \cdot 10^{-3} H \cdot t + 0,028 H + 0,094 t + 6,20 \quad (8)$$

для клея ПВА;

$$\tau(H, t) = -4,48 \cdot 10^{-3} H^2 - 5,25 \cdot 10^{-3} t^2 + 3,81 \cdot 10^{-3} H \cdot t + 0,17 H + 0,124 t + 1,46 \quad (9)$$

для клея Supraterm 436.

Из рис. 4 видно, что параметры  $H$  и  $t$  вызывают эквивалентное действие на прочность клеевого соединения. Об этом свидетельствуют также одинаковые знаки коэффициентов перед  $H^2$  и  $t^2$  и перед  $H$  и  $t$  в аппроксимирующих выражениях. Эквивалентность  $H$  и  $t$  в плане влияния на прочность позволяет утверждать, что результаты склеивания будут приблизительно одинаковыми при использовании слабого поля в течение длительного времени, что характерно для ситуации, если в условиях производства сложно создать сильное поле для большого объема продукции, но есть возможность продолжительное время производить обработку клея или прослойки в

магнитном поле, и при использовании сильного поля, но в течение короткого времени. Это возможно осуществить, применяя, например импульсное магнитное поле. Необходимо также отметить, что как по переменной  $H$ , так и по переменной  $t$  функция  $\tau(H, t)$  выходит на насыщение при увеличении переменной. Это означает, что увеличивать напряженность поля более  $H = 24 \cdot 10^4$  А/м и времени выдержки более 20 мин нецелесообразно, так как это не приводит к росту прочности соединений.

В заключение следует отметить, что предложенная модель процесса склеивания при использовании магнитного поля открывает перед технологами возможность оптимизировать технологический процесс получения изделий из клееной древесины повышенной прочности.

### Библиографический список

1. Попов, В.М. Интенсивная технология получения клееной древесины повышенной прочности / В.М. Попов, А.В. Иванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2007. – № 4(53). – С. 89–91.
2. Пат. 2298574 МПК В27G11/00. Способ склеивания древесных материалов / В.М. Попов, А.В. Иванов, В.С. Мурзин, А.П. Новиков, А.В. Лагунин; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – №2007110560/04; заявл. 22.03.2007; опубл. 20.05.2008, Бюл. № 4. – 3с.
3. Советов, Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
4. Хеерман, Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике / Д.В. Хеерман. – М.: Наука, 1990. – 176 с.
5. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ ПОЛИМЕРАМИ

О.А. КУНИЦКАЯ, доц. каф. технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТА  
им. С.М. Кирова, канд. техн. наук

tlzp@inbox.ru

В настоящее время ведутся многочисленные исследования способов модификации древесины с целью получения новых конструкционных и защитных материалов, имеющих лучшие эксплуатационные свойства и технико-экономические показатели производства по сравнению с существующими материалами аналогичного назначения. К настоящему времени известны способы модификации древесины, позволяющие, например, заменять получаемым материалом цветные металлы в парах трения, использовать материалы на основе древесины для защиты от нейтронных потоков и т.д.

Одним из наиболее распространенных способов модификации материала древесины, наряду с уплотнением, является пропитка жидкостями с различными свойствами. Известны следующие способы пропитки деревянных заготовок: вымачивание, пропитка в центробежных установках, пропитка в барокамерах, а также пропитка гидроударом [1].

В структуре древесины выделяют годичные слои, сердцевидные лучи, смоляные ходы и кору как основные элементы системы водопроводящих путей, образующих пронизываемое пространство, которое может быть заполнено растворами или расплавами полимеров. В этих условиях древесина становится многокомпонентным полимером с новыми физико-механическими свойствами [2].

Являясь растительным полимером, древесина наследует основной характер деформации полимеров как суммы упругой, высокоэластичной и остаточной. Деформация как макроскопическое свойство определяется структурой полимеров:

- упругая деформация связана с изменением межмолекулярных расстояний;
- высокоэластичная деформация связана с изменениями конформации полимерных цепочек;

– остаточная деформация обусловлена необратимыми перемещениями молекул на расстояния, большие чем молекулярные размеры, когда часть молекул теряет исходные связи и приобретает новые.

Для замыкания уравнений движения деформированного тела необходимо иметь информацию о реологических свойствах. Реологическое уравнение состояния определяет зависимость напряжения от кинематических параметров, являющихся в общем случае функциями времени.

Согласно [3], реологические свойства материала древесины в известной мере могут быть представлены телом Пойтинга, реологический закон которого имеет вид

$$\sigma + \frac{t_p d\sigma}{dt} = m_1 \varepsilon + \frac{m_2 d\varepsilon}{dt}, \quad (1)$$

где  $m_1, m_2$  – соответственно модуль упругости и модуль вязкости;

$t$  – время;

$\varepsilon$  – относительная деформация;

$t_p$  – время релаксации;

$\sigma$  – напряжение.

Уравнение (1) предполагает суперпозицию упругого и вязкого тел, его можно записать в дифференциально-интегральной форме

$$\int \left( \frac{d\sigma}{dt} \right) dt + \frac{t_p d\sigma}{dt} = m_1 \int \left( \frac{d\varepsilon}{dt} \right) dt + \frac{m_2 d\varepsilon}{dt}. \quad (2)$$

Упругость рассматривается как зависимость напряжения от деформации, которая предполагает отклонение от предпочтительной формы. При снятии силовой нагрузки тело возвращается к начальной предпочтительной форме. Упругие тела можно рассматривать как материалы с абсолютной памятью, они помнят свою предпочтительную форму. У этих тел с памятью реологическое уравнение в общем представлении  $\sigma = g(\varepsilon)$  устанавливает соответствие между тензором напряжений  $\sigma$  и тензором деформаций  $\varepsilon$ .

В противоположность упругим телам жидкие не помнят своей предпочтительной формы и могут рассматриваться как тела без памяти. Текучие тела нечувствительны к деформации, и напряжения должны определяться мгновенной скоростью деформации в некоторой точке в данный момент времени. Здесь реологическое уравнение тел без памяти  $\sigma = g(d\varepsilon / dt)$  описывает связь тензора напряжений с тензором скоростей деформации.

Интегральный оператор в (2), описывающий деформацию, можно рассматривать как оператор памяти в упруго-вязком теле.

Естественно, можно ввести представление супертекучего тела, реологическое уравнение состояния которого  $\sigma = g(d^2\varepsilon / dt^2)$  устанавливает связь между тензором деформации и тензором ускорений деформации.

В известной мере можно сказать, что тензор ускорений деформаций является тензором будущего по отношению к тензору скоростей деформаций.

Реологическое уравнение суперпозиции представленных тел можно записать в виде

$$\sigma = g_1(\varepsilon) + g_2\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right) + g_3\left(\frac{d^2\varepsilon}{dt^2}\right), \quad (3)$$

которое устанавливает связь между тензором напряжений и тензорами деформаций, скоростей деформаций и ускорением деформаций.

Левую часть уравнения в общем случае можно представить в виде суперпозиции тензора напряжений, тензора скоростей напряжений и тензора ускорений деформаций

$$\begin{aligned} \sigma + f_1\left(\frac{d\sigma}{dt}\right) + f_2\left(\frac{d^2\sigma}{dt^2}\right) = \\ = g_1(\varepsilon) + g_2\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right) + g_3\left(\frac{d^2\varepsilon}{dt^2}\right), \quad (4) \end{aligned}$$

Одномерное реологическое уравнение для тела (4) можно записать в виде

$$\sigma + \frac{t_p d\sigma}{dt} + t_p^2 d^2\sigma = m_1\varepsilon + \frac{m_2 d\varepsilon}{dt} + \frac{m_3 d^2\varepsilon}{dt^2}, \quad (5)$$

где  $m_3$  – модуль инерционности.

В зависимости от определяющей деформации остальные две можно рассматривать как сопутствующие и определяемые

соответствующим модулем и временем последствия  $t_n$ .

Если определяющей деформацией является упругая, а вязкая и инерционная деформации сопутствующими, то согласно (5) реологическое уравнение упруго-вязко-инерционного тела можно записать в виде

$$\sigma + \frac{t_p d\sigma}{dt} + t_p^2 d^2\sigma = m_1\varepsilon + \frac{m_1 t_n d\varepsilon}{dt} + \frac{m_2 t_n^2 d^2\varepsilon}{dt^2}. \quad (6)$$

Если определяющей деформацией является вязкая, а упругая и инерционная сопутствующими, то реологическое уравнение вязко-упруго-инерционного тела принимает вид

$$\sigma + \frac{t_p d\sigma}{dt} + t_p^2 d^2\sigma = m_2 t_n^{-1} \varepsilon + \frac{m_2 d\varepsilon}{dt} + \frac{m_2 t_n d^2\varepsilon}{dt^2}. \quad (7)$$

Если определяющей деформацией становится инерционная, а упругая и вязкая деформации являются сопутствующими, то реологическое уравнение инерционно-упруго-вязкого тела можно записать в виде

$$\sigma + \frac{t_p d\sigma}{dt} + t_p^2 d^2\sigma = m_3 t_n^{-2} \varepsilon + \frac{m_3 t_n^{-1} d\varepsilon}{dt} + \frac{m_3 d^2\varepsilon}{dt^2}. \quad (8)$$

В случае заполнения пронизываемого пространства материала древесины компонентой со своим реологическим уравнением, то образовавшемуся суперпозиционному материалу можно записать уравнение реологии

$$\begin{aligned} (1-n)\left(\sigma + \frac{t_p d\sigma}{dt} + t_p^2 d^2\sigma\right) + \\ + n\left(\sigma + \frac{t_{pk} d\sigma}{dt} + t_{pk}^2 d^2\sigma\right) = \\ = (1-n)\left(m_1\varepsilon + \frac{m_2 d\varepsilon}{dt} + \frac{m_3 d^2\varepsilon}{dt^2}\right) + \\ + n\left(m_{1k}\varepsilon_k + \frac{m_{2k} d\varepsilon_k}{dt} + \frac{m_{3k} d^2\varepsilon_k}{dt^2}\right), \quad (9) \end{aligned}$$

нижний индекс « $k$ » характеризует параметры введенной в древесину компоненты,  $n$  – пористость древесины.

При пропитке древесины водными растворами полимеров концентрации ( $c$ ) после сушки реологию материала древесины можно записать в виде

$$\begin{aligned} & (1-nc)\left(\sigma + \frac{t_p d\sigma}{dt} + t_p^2 d^2\sigma\right) + \\ & + nc\left(\sigma + \frac{t_{pk} d\sigma}{dt} + t_{pk}^2 d^2\sigma\right) = \\ & = (1-nc)\left(m_1\varepsilon + \frac{m_2 d\varepsilon}{dt} + \frac{m_3 d^2\varepsilon}{dt^2}\right) + \\ & + nc\left(m_{1k}\varepsilon_k + \frac{m_{2k} d\varepsilon_k}{dt} + \frac{m_{3k} d^2\varepsilon_k}{dt^2}\right). \quad (9, a) \end{aligned}$$

Введение в проницаемое пространство древесины нового тела предполагает его в состоянии текучести, поэтому его реологическое уравнение можно записать в виде

$$\begin{aligned} & \sigma + \frac{t_p d\sigma}{dt} + t_p^2 d^2\sigma = \\ & = m_{2k} t_{nk}^{-1} \varepsilon_k + \frac{m_{2k} d\varepsilon_k}{dt} + \frac{m_{2k} t_{nk} d^2\varepsilon}{dt^2}, \quad (10) \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} & \sigma + \frac{t_p d\sigma}{dt} + t_p^2 d^2\sigma = \\ & = m_{2k} t_{nk}^{-1} \int v_k dt + m_{2k} v_k + \frac{m_{2k} t_{nk} dv_k}{dt}, \quad (11) \end{aligned}$$

здесь  $v$  – скорость деформации (скорость движения).

В первом приближении реологическое уравнение (11) можно записать в виде

$$\sigma = m_{2k} t_{nk}^{-1} \int v_k dt + m_{2k} v_k + \frac{m_{2k} t_{nk} dv_k}{dt},$$

или

$$\sigma = m_{2k} v_{k*}, \quad (12)$$

где

$$v_{k*} = t_{nk}^{-1} \int v_k dt + v_k + \frac{t_{nk} dv_k}{dt}.$$

На основании (12) уравнение движения текучей несжимаемой среды можно записать в виде

$$\rho DV / Dt = -\nabla p + m_2 \nabla^2 v_*, \quad (13)$$

здесь оператор

$$D / Dt = \partial / \partial t + d / dt.$$

Эффективным силовым полем, при помощи которого происходит заполнение проницаемого пространства материала древесины текучей компонентой, может являться центробежное. При выводе уравнений движения в стационарном центробежном поле

необходимо во вращающейся системе отсчета ввести две силы: центробежную

$$F = \rho \omega^2 r,$$

и силу Кориолиса

$$K = -2\rho \omega \cdot V.$$

В прямоугольной системе отсчета  $x, y, z$ , когда направление центробежной силы совпадает с направлением  $z$ , уравнения движения в центробежном поле принимают вид [1]

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{\rho^{-1} \partial p}{\partial x} + 2\omega v + m_{2*} \nabla^2 u_*, \quad (14)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{\rho^{-1} \partial p}{\partial y} - 2\omega u + m_{2*} \nabla^2 v_*, \quad (15)$$

$$\frac{Dw}{Dt} = -\frac{\rho^{-1} \partial p}{\partial z} + \omega^2 z + m_{2*} \nabla^2 w_*, \quad (16)$$

В стационарных условиях движения, при отсутствии градиента давления и пренебрежении конвективными составляющими, система уравнений (14–16) упрощается и принимает вид

$$2\omega v + m_{2*} \nabla^2 u_* = 0, \quad (17)$$

$$-2\omega u + m_{2*} \nabla^2 v_* = 0, \quad (18)$$

$$\omega^2 z + m_{2*} \nabla^2 w_* = 0, \quad (19)$$

Для слоистого течения в капиллярах материала древесины силой Кориолиса можно пренебречь и рассматривать движение текучей среды только на основании уравнения (19), которое принимает вид

$$\omega^2 z + m_{2*} \frac{r^{-1} d(rd w_* / dr)}{dr} = 0, \quad (20)$$

Согласно (20), скорость текучей среды по поперечному сечению капилляра имеет вид

$$\omega(r) = \frac{1}{4} \omega^2 z m_{2*}^{-1} (R^2 - r^2), \quad (21)$$

из которого следует скорость на оси капилляра

$$\omega_0 = \frac{1}{4} \omega^2 z m_{2*}^{-1} R^2$$

и интегральное уравнение для максимальной скорости течения

$$\omega_0 = \frac{1}{4} \omega^2 m_{2*}^{-1} R^2 \int w_0 dt. \quad (22)$$

Уравнению (22) соответствует решение

$$\omega_0 = \left( \frac{1}{2} \omega^2 m_{2*}^{-1} R^2 \right)^{\frac{1}{2}} t^{\frac{1}{2}} = At^{\frac{1}{2}}, \quad (23)$$

из которого следует время заполнения капилляра

Для пористой составляющей проницаемого пространства материала древесины скорость движения равна

$$w = \rho\kappa\omega^2 z, \quad (25)$$

где  $\kappa$  – коэффициент фильтрации.

Согласно (25), скорость заполнения описывается уравнением

$$w = \rho\kappa\omega^2 \int w dt, \quad (26)$$

решение которого имеет вид

$$w = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} \rho\kappa\omega^2 \right)^{\frac{1}{2}} t^{-\frac{1}{2}} = B t^{-\frac{1}{2}}, \quad (27)$$

тогда время заполнения пористого пространства можно оценить выражением

$$t_n = (2L / B)^2. \quad (28)$$

Для разработки модели пропитки древесины гидроударом [4] характер заполнения его текучими средами рассматривается суперпозиционно как суммарная картина пропитки отдельно капиллярной и поровой составляющих. Построим картину заполнения круглого капилляра вязкой жидкостью в условиях, когда периоды колебания перепада давления не превышают время его заполнения.

Уравнение неразрывности и движения несжимаемой вязкой жидкости в круглом капилляре при пренебрежении конвективными членами в цилиндрической системе координат имеют вид:

уравнение неразрывности

$$\partial u / \partial z = 0, \quad u = u(r, t),$$

уравнения движения

$$(r - \text{компонента}) \quad 0 = -\partial p / \partial r,$$

$$(\varphi - \text{компонента}) \quad 0 = -r^{-1}(\partial p / \partial \varphi),$$

$$(z - \text{компонента})$$

$$\frac{\rho \partial u}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial z} + \mu r^{-1} \frac{\partial(r \partial u / \partial r)}{\partial r}, \quad (29)$$

где  $\rho$  – плотность;

$\mu$  – динамическая вязкость;

$p$  – давление;

$r, \varphi, z$  – соответственно радиальная, угловая и продольная координаты;

$u$  – продольная скорость.

При квазистационарном характере движения уравнение (29) переходит в

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu r^{-1} \frac{\partial(r \partial u / \partial r)}{\partial r}, \quad (30)$$

в котором градиент давления можно записать в виде

$$-\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{(\delta p + (\text{sgn} \cdot 2\sigma / R))}{L}, \quad (31)$$

где перепад давления  $\delta p$  является периодической функцией

$$\delta p = p_0 \exp(i\omega t), \quad (32)$$

расстояние фронта пропитки

$$L = \int dt u_m, \quad (33)$$

где  $u_m$  – скорость на оси капилляра;

$\omega$  – частота колебаний, знак  $\text{sgn}$  определяется смачиваемостью жидкости;

$R$  – радиус капилляра.

С учетом (32) и (33) градиент давления (31) равен

$$-\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{(\delta p + (\text{sgn} \cdot 2\sigma / R))}{\int dt u_m}. \quad (34)$$

В рассматриваемых условиях профиль скорости жидкости при заполнении капилляра имеет вид

$$u(r) = -(4\mu)^{-1} (R^2 - r^2) \frac{(\delta p + (\text{sgn} \cdot 2\sigma / R))}{\int dt u_m}. \quad (35)$$

Согласно представлению (35) скорости движения по оси капилляра соответствует уравнение

$$u_m = -(4\mu)^{-1} R^2 \frac{(\delta p + (\text{sgn} \cdot 2\sigma / R))}{\int dt u_m}. \quad (36)$$

С учетом представления (33) можно записать

$$u_m = dL / dt,$$

и уравнение (36) принимает вид

$$L dL / dt = -(4\mu)^{-1} R^2 (\delta p + (\text{sgn} \cdot 2\sigma / R)). \quad (37)$$

Решение уравнения (37) с учетом (32) и начального условия при  $t = 0$  имеет вид

$$L = (2\mu)^{-1/2} R [-\text{sgn}(2\sigma / R)t - \omega^{-1} p_0 \sin \omega t]^{1/2}. \quad (38)$$

Из полученной формулы (38) следует, что низкие частоты колебания периодического поля давления являются предпочтительнее высоких. Формула (38) позволяет определить время заполнения капилляра жидкостью.

Через поперечное сечение капилляра в единицу времени проходит следующее количество жидкости

$$Q_k = \pi (32\mu)^{-1/2} R^3 [-\text{sgn}(2\sigma / R)t - \omega^{-1} p_0 \sin \omega t]^{1/2} [-\text{sgn}(2\sigma / R) - p_0 \cos \omega t]. \quad (39)$$

Для скорости пропитки поровой структуры материала древесины имеет место уравнение

$$U = kdp / dz, \quad (40)$$

где  $k$  – коэффициент проницаемости.

Для рассматриваемого пьезопериодического поля градиент давления принимает вид

$$-dp/dz = \frac{\left[ -\frac{\text{sgn } 2\sigma}{r} - p_0 \exp(i\omega t) \right]}{\int dtU},$$

и уравнение (40) переходит в

$$U = \frac{k \left[ -\frac{\text{sgn } 2\sigma}{r} - p_0 \exp(i\omega t) \right]}{\int dtU}, \quad (41)$$

где  $r$  – средний размер пор.

Скорость пропитки поровой структуры равна

$$U = \frac{1}{2} \left[ 2k \left[ -\text{sgn} \left( \frac{2\sigma}{r} \right) t - \omega^{-1} p_0 \sin \omega t \right]^{\frac{1}{2}} \times \right. \\ \left. \times \left[ -\text{sgn} \left( \frac{2\sigma}{r} \right) - p_0 \cos \omega t \right] \right], \quad (42)$$

Время пропитки поровой структуры глубиной  $L_n$  можно определить из уравнения (42).

Удельный расход жидкости в единицу времени, заполняющей древесину в рассматриваемых условиях протекания процесса, равен

$$Q = Q_k + Q_n.$$

Или с учетом формул (39) и (42) получаем

$$Q = n_k \int dR \left[ \pi(32\mu)^{-\frac{1}{2}} R^3 \left[ -\text{sgn} \left( \frac{2\sigma}{R} \right) t - \omega^{-1} p_0 \sin \omega t \right]^{\frac{1}{2}} \left[ -\text{sgn} \frac{2\sigma}{R} - p_0 \cos \omega t \right] \right] f(R) + \\ + \frac{1}{2} n_n \left[ 2k \left[ -\text{sgn} \left( \frac{2\sigma}{r} \right) t - \omega^{-1} p_0 \sin \omega t \right]^{\frac{1}{2}} \times \right. \\ \left. \times \left[ -\text{sgn} \left( \frac{2\sigma}{r} \right) - p_0 \cos \omega t \right] \right], \quad (43)$$

где  $n_k, n_n$  – соответственно удельная проницаемость капиллярной и поровой структур;

$f(R)$  – функция распределения капилляров по радиусам.

Влияние неоднородности структуры проницаемого пространства древесины можно учесть введением информации о пространственном характере функций  $f(R)$  и  $n_k$ .

### Заключение

Выполненные исследования, во-первых, позволяют формулировать эффективную технологию производства изделий из древесины как многокомпонентного полимера с новыми упругими и вязкими свойствами и возможности их управления. Во-вторых, выполненные аналитические исследования позволяют оценить процесс пропитки древесины в пьезопериодическом поле, которое создается в установке для пропитки древесины гидроударом.

Работа выполнена в рамках НИР по государственному контракту П1209 по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы», по направлению «Переработка и утилизация техногенных образований и отходов» в рамках мероприятия 1.3.1.

### Библиографический список

1. Куницкая, О.А. Установка для пропитки древесины при помощи гидроудара / О.А. Куницкая, С.М. Базаров, А.А. Ржавцев // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы механической технологии древесины». – СПб.: СПбГЛТА, 2010. – С. 127–133.
2. Куницкая, О.А. Математическая модель пропитки древесины полимерами с целью получения материалов с новыми физико-механическими свойствами / О.А. Куницкая, В.А. Кацадзе, Г.Ю. Есин // Материалы четвертой международной научно-практической интернет-конференции «Леса России в XXI веке». – СПб.: ЛТА, 2010. – С. 169–173.
3. Базаров, С.М. Движение материала древесины в вязкотекучем состоянии: научное издание / С.М. Базаров, Н.И. Семенова. – СПб.: СПбГЛТА, 2007. – 68 с.
4. Куницкая, О.А., Ржавцев А.А., Григорьев И.В., и др. Устройство для пропитки деревянных заготовок. Патент на полезную модель № 91927 опубл. 10.03.2010 Бюлл. № 7.

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МБС НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМОГО ВОЛОКНИСТОГО ПОЛУФАБРИКАТА

Г.Н. КОНОНОВ, *проф. каф. ХТДП МГУЛ, канд. техн. наук,*  
 В.С. ДРОЗДОВА, *асп. каф. ХТДП МГУЛ,*  
 А.А. ФАНЬКОВСКАЯ, *асп. каф. ХТДП МГУЛ*

*fankovskaya-asya@mail.ru*

**П**роблема переработки макулатуры бумажной специальной (МБС) весьма актуальна, так как ежегодно из обращения изымаются тысячи тонн не пригодных для использования банкнот, уцененных бумаг и документов [1]. Интерес бумажников к макулатуре МБС определяется тем, что при изготовлении бумаги для денежных знаков применяется только высококачественное волокнистое сырье, состоящее, в основном, из хлопковой и сульфатной хвойной целлюлозы. Поэтому идея возвращения в переработку для производства бумаги и картона прочного волокна остается весьма заманчивой [2].

Перед размолотом макулатурную массу из денежных знаков подвергали предварительной термогидролитической обработке. Продолжительность предварительной водной обработки (пропитки) составляла 2 часа; температура обработки – 100 °С. Обработку проводили в автоклаве при атмосферном давлении. Другую партию макулатуры обрабатывали при повышенном давлении насыщен-

ным паром в специальном пароперегревателе при соответствующей температуре. Водную пропитку макулатуры проводили при гидромодуле 1:4,5 продолжительностью от 0,5 до 24 часов и температуре обработки от 25 до 100 °С. После предварительной термогидролитической обработки макулатуру распускали в лабораторном гидроразбивателе и затем размалывали в ролле или на дисковой мельнице SW – 12. Размол массы на ролле проводили при концентрации массы 2,5 %. Размол на дисковой мельнице осуществляли при концентрации массы 12–15 %.

Результаты испытаний полученных волокнистых полуфабрикатов приведены в табл. 1 и 2.

Из размолотой макулатуры изготавливали отливки массой 75 г/м<sup>2</sup>, которые после кондиционирования подвергали физико-механическим испытаниям по ГОСТу, контролируя степень помола, содержание костры по методу Соммервиля, прочность отливки во влажном состоянии по методу Брехта и фрак-

Т а б л и ц а 1

### Влияние применения различных видов размалывающего оборудования на свойства волокнистого полуфабриката денежных знаков

Условия обработки		Свойства волокнистого полуфабриката								
t, °С	τ, час	Вид размалывающего оборудования	Степень помола, °ШР	Содержание костры, %	Прочность во влажном состоянии, г	Длина волокна, мм		Разрывная длина, м	Сопротивление	
						средняя арифметическая	средняя весовая		излому, ч.д.п.	раздирацию, мН
25	0,5	Гр								
25	0,5	Гр + Ролл	50	3,2	68	0,58	1,05	3200	12	416
25	24	Гр + Ролл	42	7,4	64	0,51	0,94	3200	10	420
25	24	Гр + Ролл	51	4,0	60	0,47	0,90	3300	9	400
25	0,5	Гр + ДМ	62	15,2	51	0,38	0,70	2800	14	496
25	24	Гр + ДМ	58	12,0	55	0,45	0,82	3000	10	450
125*	0,5	Гр + ДМ	56	7,6	53	0,44	0,79	2500	12	496
140*	3,5	Гр	47	8,4	34	0,48	0,91	1520	2	352
140*	3,5	Гр + Ролл	60	0,7	58	0,46	0,87	2570	7	432

Гр – гидроразбиватель; ДМ – дисковая мельница



**Влияние параметров размола макулатуры из денежных знаков в дисковой мельнице на свойства получаемого волокнистого полуфабриката**

Вариант	Условия размола			Свойства волокнистого полуфабриката									
	Концентрация, %	Кол-во проходов через мельницу	Зазоры, мм	Степень помола, °ШР	Костричность, %	Прочность во влажном состоянии, г	Длина волокна, мм		Разрушающее усилие, Н	Разрывная длина, м	Сопротивление		
							средняя арифметическая	средняя вековая			излому, ч.д.п.	раздираанию, мН	
Исходная масса после гидроразбивателя	–	–	–	9	44,8	–	–	–	–	–	–	–	–
После размола, 1 вариант	10	1	0,625	30	39,7	9	0,39	0,69	10,9	965	3	136	
После размола, 2 вариант	10	2	0,625 0,5	42	14,6	20	0,37	0,66	17,1	1360	8	160	
После размола, 3 вариант	10	3	0,625 0,5 0,45	54	5,1	28	0,37	0,63	22,7	2010	20	176	
После размола, 4 вариант	10	4	0,625 0,5 0,45 0,4	60	2,1	46	0,33	0,58	26,8	2270	28	192	

ционному составу – длине волокна по методу «Кажаани» FS – 100.

Из данных табл. 1 и 2 следует, что при применении различных видов размалывающего оборудования в различных сочетаниях (и последовательности размола) максимально достигнутый уровень прочности массы по разрывной длине не превышает 3300 метров. При этом размол в ролле является более эффективным.

Установлено, что размол макулатуры на дисковой мельнице позволяет получить массу с более высоким показателем сопротивления раздираанию.

Уровень потребления энергии на размол на обоих аппаратах примерно одинаков и составляет около 100 кВт·ч на тонну массы при помоле ее 50–55°ШР.

Анализ данных, представленных в табл. 2, показывает, что с увеличением степени помола от 30 до 60 °ШР происходит снижение содержание костры в полученной волокнистой массе почти в 20 раз. При этом прочность во влажном состоянии возрастает на 80 %, разрушающее усилие более чем на 60 %, разрывная длина на 57 %, сопротивле-

ние излому на 89 %, сопротивление раздираанию почти на 30 %.

Увеличение физико-механических показателей происходит за счет фибрилляции волокон при размоле, при этом содержание мелкой фракции увеличивается незначительно примерно на 10 %, содержание средней фракции волокон остается практически на одном уровне, а длинноволокнистая фракция снижается на 20 %. Результаты проведенного анализа представлены на графиках (рис. 1. и 2.)

Таким образом, интенсификация размола макулатуры из денежных знаков положительно влияет на бумагообразующие свойства получаемого волокнистого полуфабриката. Физико-механические свойства возрастают на 30–89 %, при этом содержание грубоволокнистой фракции – костры снижается почти в 20 раз.

Довольно низкий уровень прочности массы из денежной макулатуры, достигающий только уровня хорошей дефибрерной массы, объясняется высоким уровнем проклейки денежных билетов влагопрочными составами. Волокна, по-видимому, остаются

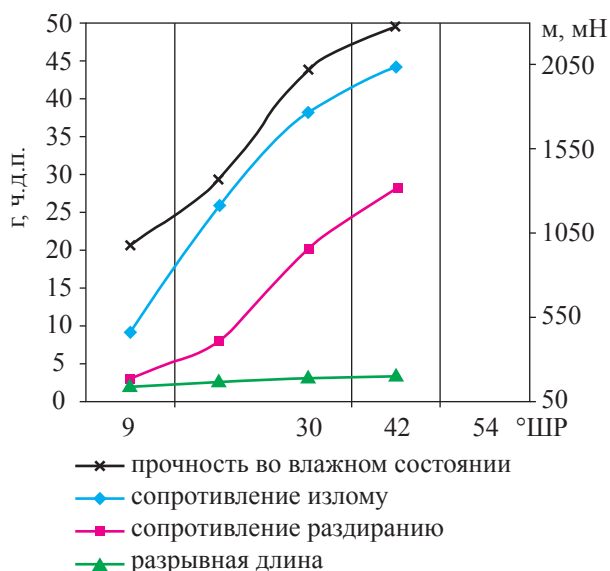


Рис. 1. Зависимости физико-механических показателей от степени помола

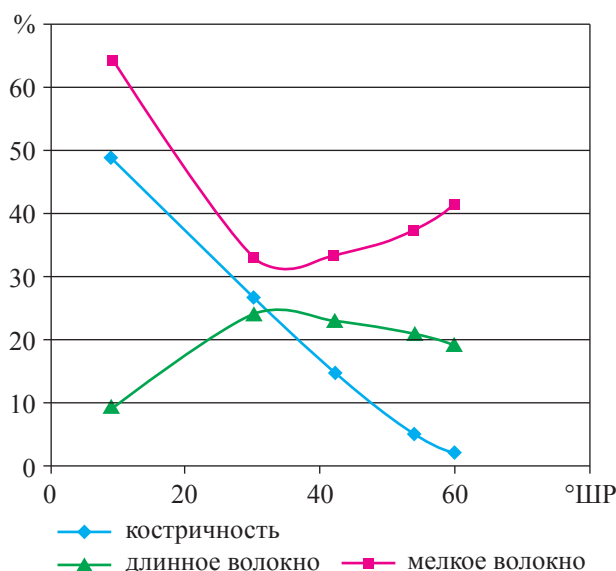


Рис. 2. Зависимость костричности и фракционного состава волокна от степени помола

«заклеенными» и не раскрывают фибриллярную структуру. Ограничивающим фактором является также высокая степень помола волокон макулатуры. Так, макулатура, распущенная до волокон только в гидроразбивателе, с предварительной пропаркой при температуре 140 °С в течение 3,5 часов, уже имеет степень помола 47°ШР (опыт 8 табл. 2.). Практически это оптимальная степень помола массы для производства картона.

Увеличение продолжительности пропитки макулатуры с 30 минут до 24 часов способствует получению более прочной массы за счет набухания волокон и частичного гидролитического разрушения проклеивающих агентов. Однако повышение это не столь существенно и не оправдывает затрат на дополнительное оборудование для хранения и сгущения больших объемов массы.

Применение пропарки макулатуры перед размолотом (опыт 7 табл. 2.) не приводит к возрастанию показателей механической прочности.

Наоборот, произошло снижение разрывной длины с 2800 м до 2500 м и степени помола с 62 до 56°ШР (оп. 5 и 7 табл. 2.).

Здесь, по-видимому, наблюдается известный в практике как производства макулатуры, так и производства древесной массы, процесс фазового превращения компонентов

волокна под действием температуры из кристаллического в высокоэластическое состояние, когда на размол более гибких и тягучих («резиноподобных») волокон требуется расходовать больше энергии.

Таким образом установлено, что при переработке денежной макулатуры после роспуска ее в гидроразбивателе необходимо провести дальнейший ножевой размол либо при низкой концентрации (2–4 %), либо средней (10–15 %). Для этой цели могут быть использованы дисковые мельницы или роллы.

Другой этап работы составил исследование влияния использования химических реагентов на стадии предварительной обработки макулатуры из денежных знаков перед ее роспуском и дальнейшим размолотом в дисковой мельнице или ролле. Химическую обработку макулатуры проводили по режиму короткой натронной варки с использованием раствора гидроксида натрия.

Влияние химической обработки макулатуры оценивали при следующих расходах щелочи: 20 кг/т; 40 кг/т; 60 кг/т; 80 кг/т; 100 кг/т.

Химическую обработку проводили в четырехстаканном вращающемся автоклаве. В каждый стакан загружали по 150 грамм абсолютно сухой макулатуры (без предварительного замачивания) и заливали заданным количес-

**Влияние химической обработки макулатуры из денежных знаков на физико-механические свойства получаемой волокнистой массы**

Вид волокнистой массы	Расход NaOH на варку, кг/т	Физико-механические свойства волокнистой массы					
		Степень помола, °ШР	Костричность, %	Разрывная длина, м	Сопротивление излому, ч.д.п.	Сопротивление раздиранию, мН	Белизна, %
Несортированная	20	36	19,1	1840	1	400	54,0
Несортированная	40	37	17,4	1860	1	400	53,8
Несортированная	60	39	14,6	1880	1	424	53,7
Несортированная	80	42	12,7	1910	3	436	53,1
Несортированная	100	44	8,2	1960	6	448	52,8
Сортированная	100	47	-	2390	6	576	54,7
Размол в ролле 5 мин	20	56	2,0	3480	15	496	52,0
Размол в ролле 25 мин	20	81	1,5	4130	13	340	44,5

твом раствора гидроксида натрия. Гидро модуль варки при этом составлял 1:5. Подъем температуры от 20° до 150°С осуществляли в течение 90 минут. Продолжительность выдержки при температуре 150°С составила 30 минут. После окончания варки стаканы резко охлаждались холодной водой, масса выгружалась из стаканов, промывалась водой и подвергалась роспуску в лабораторном гидроразбивателе, после чего определялся показатель степени роспуска макулатуры. Он составил 83 %, при этом средняя длина волокна была 0,74 мм, содержание мелкого волокна 31,43 %, среднего – 34,92 %, длинного – 27,49 % и содержание пучков волокон – 6,22 %. Из волокнистой массы изготавливали отливки массой 75 г/м<sup>2</sup>, которые после кондиционирования подвергали физико-механическим испытаниям по ГОСТу. Дополнительно массу контролировали по степени помола, содержанию костры по методу Соммервиля и по белизне.

Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3.

Кроме того, волокнистую массу, полученную при варке макулатуры с расходом 100 кг/т, подвергли сортированию на лабораторной вибрационной сортировке Соммервиля с целью оценки свойств отсортированной волокнистой массы.

Часть волокнистой массы, полученной в результате варки макулатуры с расходом щелочи 20 кг/т, подвергли дополнительному размолу в ролле в течение 5 и 20 минут для определения зависимости свойств массы от степени помола.

Из данных табл. 3, следует, что при увеличении расхода гидроксида натрия на варку макулатуры из денежных знаков механические свойства несортированной массы возрастают незначительно (примерно на 6 % по разрывной длине и на 10 % по показателю сопротивления раздиранию). Интересно отметить, что при увеличении расхода гидроксида натрия на варку с 20 кг/т до 100 кг/т белизна несортированной массы снизилась всего на 1,2 % (с 54 до 52,8 %).

Сортирование волокнистой массы привело к повышению белизны до 54,7 % и увеличению разрывной длины на 430 м, а сопротивление раздиранию – более чем на 25 %.

Увеличение степени помола с 36°ШР до 56°ШР приводит к повышению разрывной длины волокнистой массы почти в 2 раза. Сопротивление раздиранию при этом практически не изменяется, а показатель белизны снижается менее чем на 1 %. Дальнейший размол денежной макулатурной массы до 80°ШР приводит к увеличению ее разрывной длины еще на 20 %, но при этом сопротивление раздиранию снижается на 30 %, а показатель белизны резко уменьшается, почти на 8 единиц белого, и достигает 44 %.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что использование предварительной химической обработки МБС раствором гидроксида натрия при температуре 150°С в течение 30–60 минут дает возможность получить волокнистую массу, способность которой к роспуску в гидроразбивателе достигает 87 %, а дальнейший ее

размол до 50–55°ШР на дисковых мельницах или роллах (либо при низкой концентрации (2–4 %), либо средней (10–15 %)) позволяет получить волокнистый полуфабрикат с достаточно высокими механическими свойствами (разрывная длина около 3500 м, сопротивление излому 15 двойных перегибов и сопротивление раздиранию 500 мН), при этом оптические свойства, в частности белизна, остается на достаточно высоком уровне 52–54 %.

Волокнистый полуфабрикат с такими бумагообразующими свойствами может быть

успешно использован при производстве различных композиционных материалов, таких как некоторые сорта бумаги, картона, древесноволокнистых плит.

#### Библиографический список

1. Яблочкин, Н.И. Макулатура в технологии картона / Н.И. Яблочкин, В.И. Комаров, И.Н. Ковернинский. – Архангельск, изд-во Архангельского ГТУ, 2004.
2. Пузырев, С. Переработка вторичного волокнистого сырья / С. Пузырев, Е.Т. Тюрин, В.А. Волков и др. – СПб., 2007.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЕЕННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ СЕКТОРОВ

В.Б. ЩЕПКИН, *асп. каф. механической технологии древесины ВГЛТА*

*swb@icmail.ru*

Известно, что радиальные пиломатериалы вследствие положительных свойств пользуются повышенным спросом на рынке пилопродукции. Однако их производство характеризуется значительными отходами древесины и низким объемным выходом: 25–40 % при распиловке бревен диаметром 28–60 см секторным, развально-секторным или брусом-секторным способами [1].

В работе исследуется способ изготовления радиальных пиломатериалов из узких секторов путем их склеивания пластинами в блоки так, чтобы присердцевинная часть одного сектора совпала с периферийной частью другого [2]. Способ позволяет использовать тонкомерное сырье с объемным выходом продукции до 75 % [3, 4].

Для реализации этого способа необходимо установить оптимальные размеры и качество получаемых секторов, а также провести испытания клееных секторных пиломатериалов на прочность.

Сектора изготавливались из сырых и сухих (сушка в камере СВЧ до влажности 20–22 %) оцилиндрованных сосновых бревен I – III сортов по ГОСТ 9463-88 диаметром 20–22 см и длиной 2 м. Бревна распиливали на горизонтальном ЛПС Wood-Meiser, на круглопильном станке Ц-6 (пила оснащена твердосплавными пластинками) получали

сектора с центральными углами  $\alpha = 45; 30; 22,5$  град. Шероховатость поверхности пластей по параметру  $R_{m \max}$  составляла 350–500 мкм при обработке на станке Wood-Meiser и 230–250 мкм на станке Ц-6.

Основными пороками секторов на пластях были сучки продолговатые и округлые (рис. 1), на кромках – сучки округлые. Причем при увеличении центрального угла наличие продолговатых сучков на пластях секторов уменьшается. По данному показателю секторные пиломатериалы соответствуют преимущественно III и IV сорту ГОСТ 8486-86. Покоробленность сырых секторов не наблюдалась.

В процессе сушки до влажности 12–15 % в условиях отапливаемого помещения (температура воздуха 22–26 °С, влажность 40–60 %) сектора с углом  $\alpha = 22,5$  град. в 80 % случаев приобретали покоробленность по пласти в зоне продолговатых сучков до 0,2 %. Сектора с  $\alpha = 45$  и 30 град. этот порок не имели (рис. 2). Покоробленность по кромке наблюдалась у секторов почти всех толщин и составляла 0,2 – 0,4 %. Сектора, полученные из предварительно высушенных бревен, эти пороков не имели.

Деформацию секторов по кромке обуславливало в большей степени неравномерное распределение влажности по длине (рис. 3) и

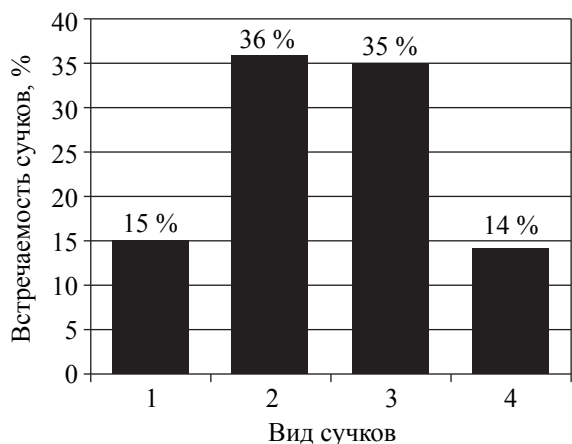


Рис. 1. Встречаемость сучков в секторных пиломатериалах: 1 – округлые здоровые; 2 – продолговатые здоровые; 3 – продолговатые частично сросшиеся; 4 – округлые частично сросшиеся

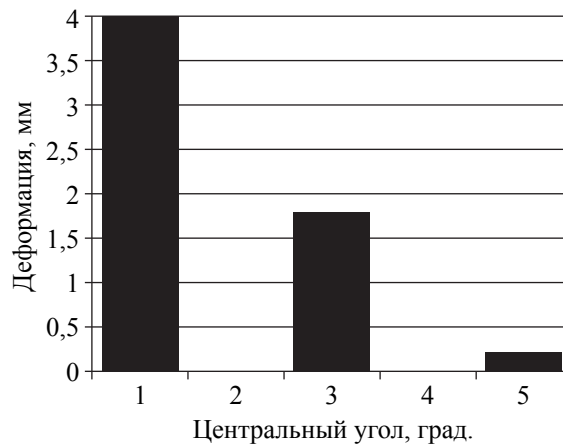


Рис. 2. Среднее значение деформации секторов по пласти

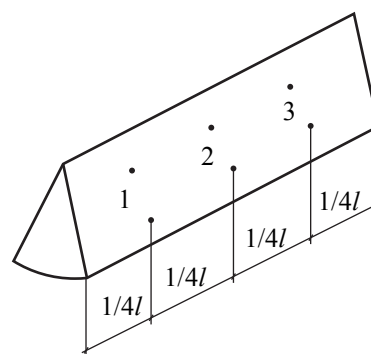
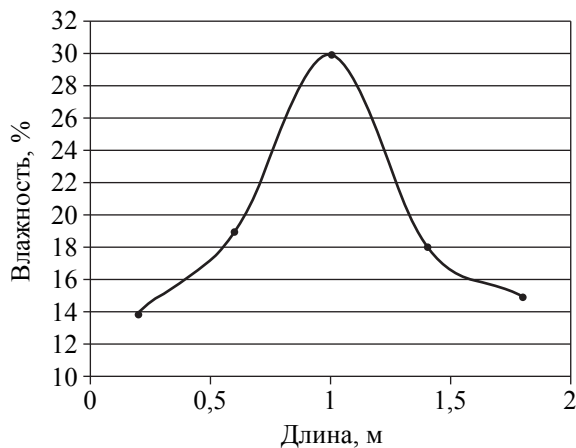


Рис. 3. Распределение влажности по длине сектора с центральным углом 45° после 7 суток сушки

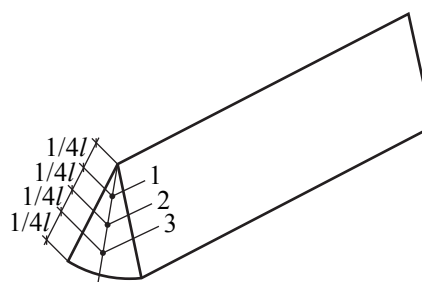
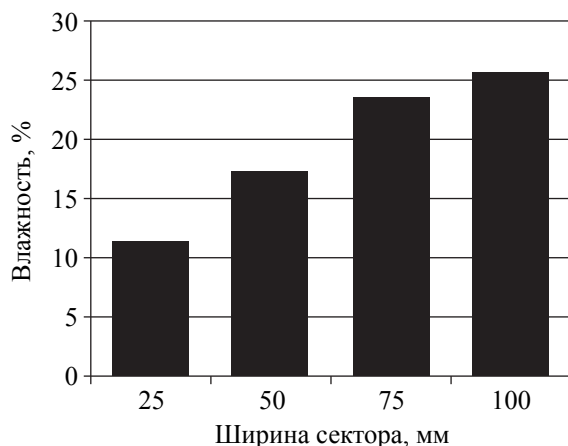


Рис. 4. Распределение влажности по сечению сектора с центральным углом 45° после 7 суток сушки

сечению (рис. 4). Так, если в точке 2 поперечного сечения сектора влажность древесины была 30 %, то точках 1 и 3 – 14–15 %.

Рис. 4 показывает, что с увеличением сечения сектора (точка 3) влажность в нем со-

храняется дольше. Но на коробление сектора по пласти такое распределение влияет слабо. Это можно объяснить тем, что при испарении влага из сектора удаляется равномерно относительно оси симметрии его поперечного сечения.

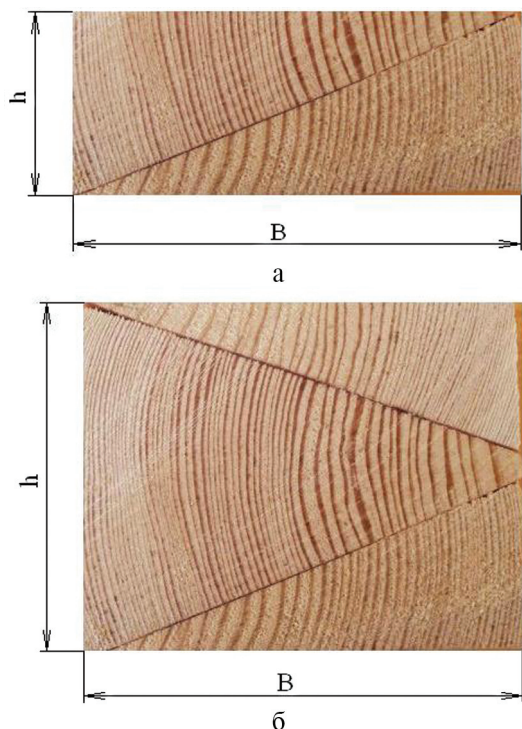


Рис. 5. Поперечное сечение двойного (а) и тройного (б) клееного блока из секторов: 1-сектора; 2 – клеевой шов; В, Н – ширина и высота блоков

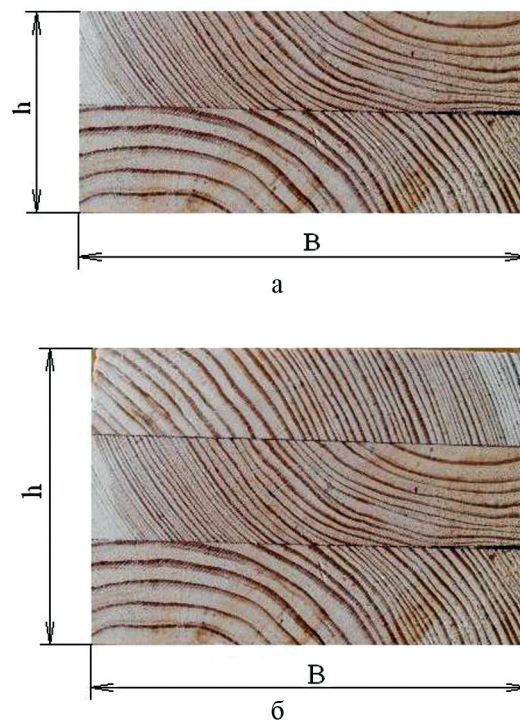


Рис. 6. Поперечное сечение двойного (а) и тройного (б) клееного блока из радиальных досок  $h$  и  $B$  – толщина и ширина блока

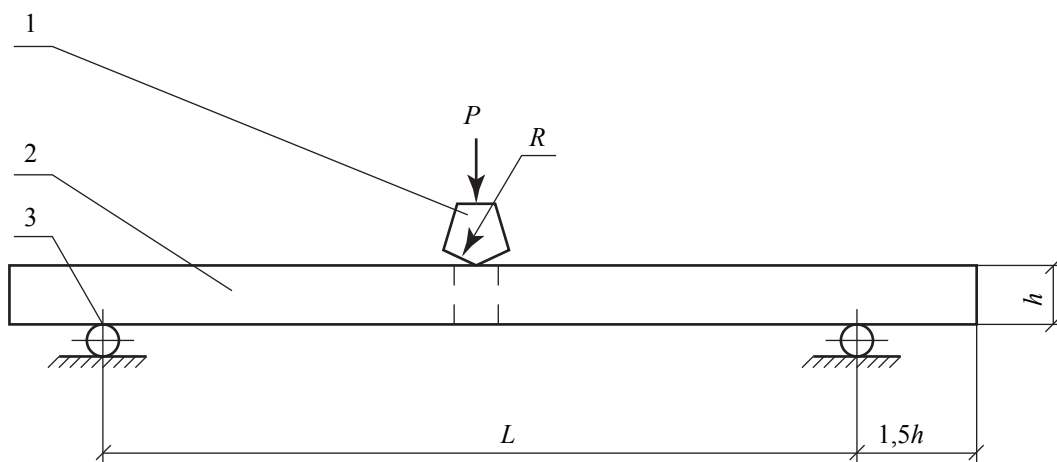


Рис. 7. Схема нагружения пиломатериалов: 1 – нагружающий пуассон; 2 – пиломатериал; 3 – опоры

Склеивание секторов проводили с помощью поливинилацетатного клея марки «Kleiberit 304.1». При склеивании таким клеем шероховатость поверхности допускалась до 300 мкм, расход клея составлял 180–200 г/м<sup>2</sup>. После открытой выдержки (3–5 мин) сектора, совмещая намазанными клеем пластями, помещали в пресс. При этом формировали двухслойные и трехслойные клееные секторные пиломатериалы (рис. 5). Склеивание проводилось при давлении не

менее 1,0 МПа. Время склеивания в соответствии с рекомендациями было не менее 30 минут. Клееные пиломатериалы выдерживали в помещении при температуре 22–26 °С и влажности 45–70 % не менее суток для достижения окончательной прочности клея.

Для сравнения формировали аналогичным образом двух- и трехслойные блоки равных размеров из радиальных досок прямоугольного сечения, а также из цельной древесины (рис. 6).

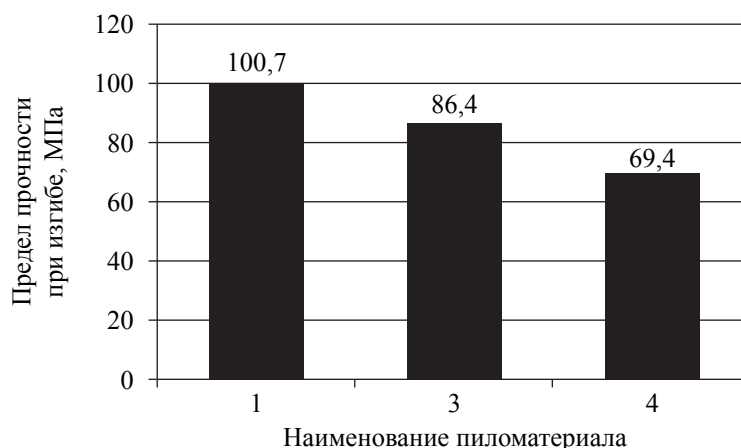


Рис. 8. Среднестатистические показатели предела прочности при статическом изгибе клееных пиломатериалов: 1 – из секторов; 2 – из досок прямоугольного сечения; 3 – цельная древесина

Испытания изготовленных блоков на прочность при статическом изгибе проводили в соответствии с ГОСТ 15613.4-78 на универсальной испытательной машине ГРМ-1 с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %. Схема нагружения образца показана рис. 7.

Предел прочности при статическом изгибе вычисляли по формуле

$$\sigma = (3 / 2) \cdot (P_{\max} \cdot L / B \cdot h^2), \quad (1)$$

где  $P_{\max}$  – максимальная разрушающая нагрузка, Н;

$L$  – расстояние между центрами опор, мм;

$B$  – ширина образца, мм;

$h$  – толщина образца, мм.

Среднестатистические результаты испытаний приведены на рис. 8. Анализируя данные рис. 8, можно отметить что прочность при статическом изгибе секторных клееных блоков на 25–35 % выше, чем у прямоугольных клееных и цельных пиломатериалов. Это можно объяснить характером изменения плотности древесины ствола сосны в поперечном направлении и особенностью формирования секторных блоков [5]. При формировании последних присердцевинная зона древесины полностью перекрывается периферийной зоной, имеющей плотность на 40–50 кг/м<sup>3</sup> выше. Причем такое перекрытие в секторных пиломатериалах более значительно по сечению, чем у прямоугольных пиломатериалов. Это ведет к усреднению общей плотности в секторных пиломатериалах и приближается к наибольшему его значению.

Для изготовления клееных блоков с минимальной степенью обработки можно использовать сектора с центральным углом 22,5°–45°, полученных из сухих бревен, и высушенные сектора, имеющие центральный угол 30°–45°, сектора с центральным углом 22,5° после устранения покоробленности.

#### Вывод

Способ позволяет получать радиальные клееные пиломатериалы из секторов с объемным выходом до 75 % при одновременном увеличении прочности при статическом изгибе на 25–35 %.

#### Библиографический список

1. Черных, П.Г. Основные положения раскря бревен на радиальные пиломатериалы с использованием оборудования фирмы «KARA» / П.Г. Черных, П.П. Черных, Л.В. Ильюшенко // *Деревообрабатывающая пром-ть.* – 2009. – № 4. – С. 22–24.
2. А.С. 490651 СССР, МКИ В27Д 1/100. Способ получения клееных заготовок радиальной распиловки / В.А. Червинский. – Оpubл. 05.11.75., Бюл. №41.
3. Щепкин, В.Б. Оптимизация и границы применимости способа раскря бревен на секторы для последующего склеивания / В.Б. Щепкин // *Технология и оборудование деревообработки в XXI веке – Воронеж, 2008.* – № 4. – С. 69–73.
4. Щепкин, В.Б. Исследование секторно-совмещенного способа раскря бревен на пиломатериалы / В.Б. Щепкин, В.С. Болдырев, А.И. Цуриков // *Современные технологические процессы получения материалов и изделий из древесины – Воронеж, 2010.* – С. 147–150.
5. Уголев, Б.Н. *Древесиноведение и лесное товароведение: учеб.* / Б.Н. Уголев. – МГУЛ, 2007. – 351 с.

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ В КРУГЛОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ

А.С. ТОРОПОВ, *проф. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ, д-р техн. наук*,  
 Е.С. ШАРАПОВ, *доц. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ, канд. техн. наук*,  
 Е.Ю. КУЗНЕЦОВ, *асп. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ*

*sharapov\_evgeniy@mail.ru; kuzeu@mail.ru*

Одним из основных показателей качества пиления древесины является точность размеров получаемых пиломатериалов, зависящая от сил, действующих на пилу в процессе пиления, и способности пилы противодействовать этим силам – жесткости и устойчивости [1].

Существует проблема повышения точности пиления при больших скоростях подачи, связанная с воздействием на полотно пилы со стороны лесоматериала боковых сил, что приводит к снижению качества получаемых пиломатериалов, выхода готовой продукции и производительности лесопильного оборудования.

В целях повышения точности пиления используют направляющие.

Применение щелевых направляющих не позволяет достичь необходимой точности пиления вследствие воздействия на пилу изгибающего момента, такие направляющие являются лишь ограничителями предельных отклонений полотна пилы в осевом направлении [7].

Рациональнее использование направляющих, выполненных в виде роликов или пластин. Такие направляющие повышают точность пиления, но вследствие наличия трения и значительных напряжений в полотне пилы от изгиба приводят к ускоренному износу пилы и направляющей [1].

Перспективно применение отжимных аэростатических направляющих, рабочие поверхности которых выполнены в виде аэростатических опор, где стабилизирующее воздействие на полотно пилы осуществляет водо-воздушная смесь, подаваемая под давлением через специальные отверстия поддува [2,8], в частности с автоматической регулировкой величины давления смеси в зависимости от знака и

величины отклонения пилы от заданного положения [9]. Такие направляющие повышают точность пиления, снижают износ полотна пилы, но имеют более сложную конструкцию по сравнению с другими типами направляющих. Возникает необходимость в источнике сжатого воздуха. При этом использование системы автоматического регулирования давления водо-воздушной смеси обуславливает инерционность системы управления.

Одним из возможных путей повышения точности пиления является использование электромагнитного поля, которое своим действием обеспечит стабилизацию полотна пилы за счет повышения ее жесткости и устойчивости и создаст магнитоотрицательный эффект, способствующий увеличению износостойкости полотна пилы [3].

Известны направляющие, рабочие поверхности которых выполнены в виде электромагнитов, обращенных к пиле, обладающей свойствами постоянного магнита, одноименными полюсами, при этом стабилизацию пилы обеспечивает сила отталкивания [10]. Применение таких направляющих ограничено сложностью изготовления, обслуживания и стоимостью таких пил.

Нами предложена конструкция отжимной электромагнитной направляющей, где повышение точности пиления достигается путем стабилизации полотна пилы силой притяжения, возникающей в воздушном зазоре между пилой и электромагнитами в зависимости от величины и знака ее отклонения за счет автоматической системы стабилизации полотна пилы [4].

Цель работы – определение взаимодействий параметров электромагнита с величиной силы притяжения полотна круглой пилы.



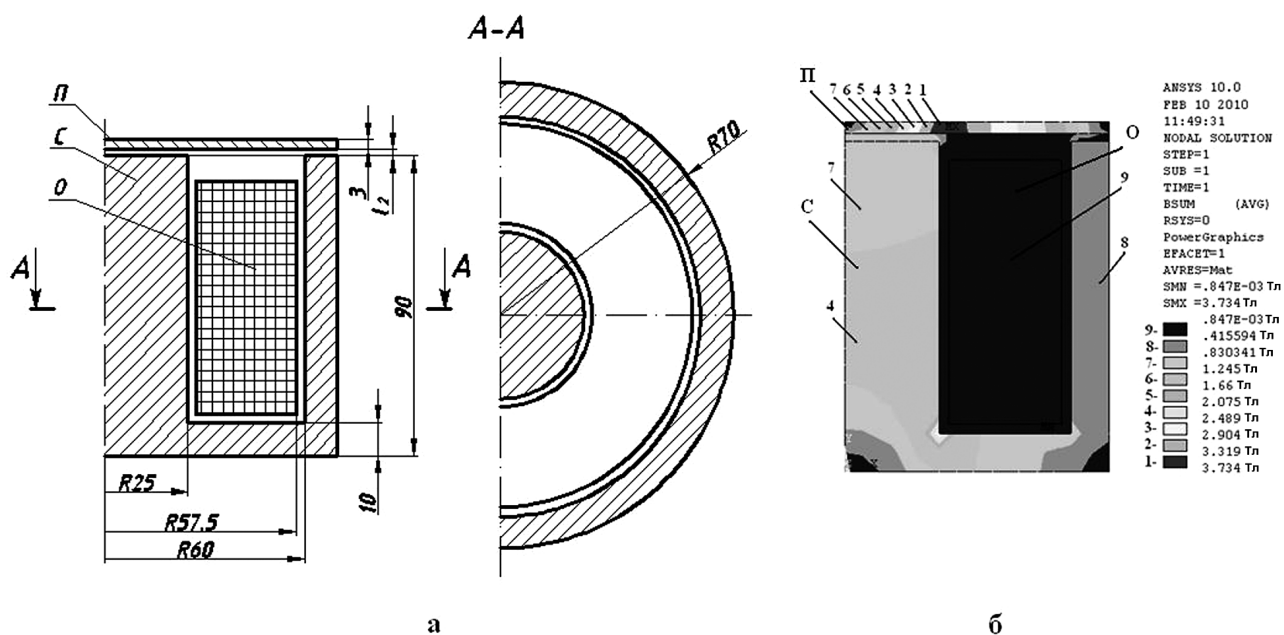


Рис. 1. Конструкция электромагнита (а) и его зонная картина поля (б)

Решаемые задачи

Разработать математическую модель взаимодействия параметров электромагнитов с величиной силы притяжения полотна пилы, определить параметры электромагнита и пилы путем моделирования их взаимодействия в программе ANSYS 10.0, провести статистическую обработку данных и составить зависимости усилий притяжения полотна пилы от величины воздушного зазора и силы тока.

На величину силы притяжения наибольшее влияние оказывают следующие параметры электромагнитов:

1. Магнитодвижущая сила, А [5];

$$F = I \cdot w, \quad (1)$$

где  $I$  – сила тока, А;

$w$  – число витков электромагнита.

2. Число витков электромагнита;

$$w = \sqrt{\frac{2F(l_1 + \mu_a l_2)^2}{\mu_a^2 \cdot I^2 \cdot S \cdot \mu_0}}, \quad (2)$$

где,  $l_1, l_2$  – длина магнитопровода и воздушного зазора, м;

$\mu_a$  – магнитная проницаемость магнитопровода, Гн/м;

$S$  – площадь поперечного сечения магнитопровода, м<sup>2</sup>;

$\mu_0$  – магнитная проницаемость воздуха, Гн/м;  $\mu_0 = 0,0000004\pi$  Гн/м.

3. Напряженность электромагнитного поля в зазоре и магнитопроводе, А/м [6];

$$H_1 = B / \mu_0; H_2 = B / \mu \mu_0. \quad (3)$$

4. Индукция электромагнитного поля, Тл;

$$B = \frac{\mu_0 I w}{(l_1 / \mu_a + l_2)}. \quad (4)$$

5. Магнитный поток, Вб [5];

$$\Phi = \frac{F}{\left( \frac{l_1}{S \cdot \mu_a} + \frac{l_2}{S \cdot \mu_0} \right)}. \quad (5)$$

6. Электромеханическая сила притяжения, Н;

$$F = \frac{\mu_0 (\mu_a I w)^2 S}{2(l_1 + \mu_a l_2)^2}. \quad (6)$$

Исходя из условий проведения экспериментальных исследований путем моделирования взаимодействия электромагнита с полотном круглой пилы в программе ANSYS 10.0 [6] были определены параметры электромагнита и пилы (рис. 1а), где П – пила, С – сердечник электромагнита, О – обмотка, а также построена зонная картина поля распределения магнитной индукции в соответствующих областях пилы – П и электромагнита (рис. 1б).

На основании математического моделирования (1–6), а также моделирования

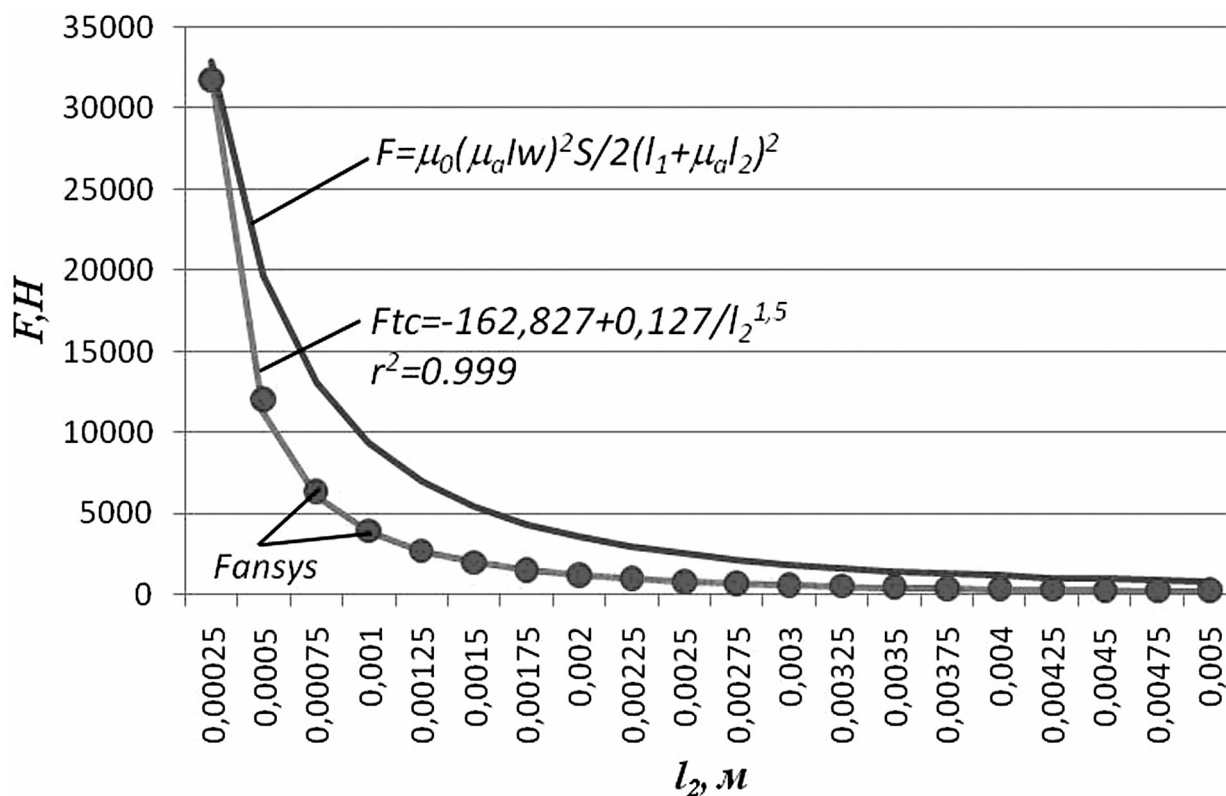


Рис. 2. Зависимости изменения усилия притяжения от величины воздушного зазора: ———— — зависимость, полученная на основании математической модели (1–6), -•-•- — зависимость, полученная в результате моделирования взаимодействия пилы с электромагнитом в программе Ansys 10.0, описываемая уравнением регрессии вида  $F_{tc} = a + b/l_2^2$  (таблица)

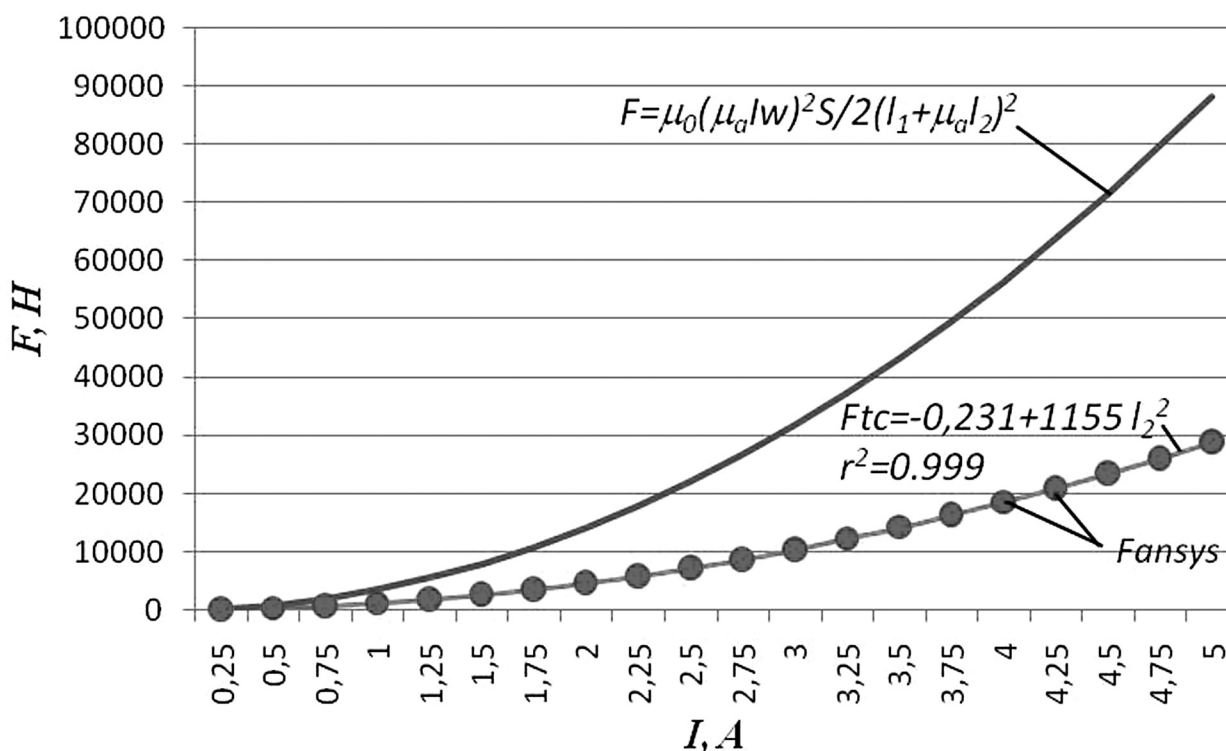


Рис. 3. Зависимости изменения усилия притяжения от величины силы тока: ———— — зависимость, полученная на основании математической модели (1–6), -•-•- — зависимость, полученная в результате моделирования взаимодействия пилы с электромагнитом в программе Ansys 10.0, описываемая уравнением регрессии вида  $F_{tc} = a + bI$  (таблица)

Результаты статистической обработки данных в программе Table Curve 2D 2.03

Параметр	Величина зазора, $l_2$	Сила тока, $I$
Уравнение регрессии	$F_{tc} = a + b / l_2^2$	$F_{tc} = a + bI$
Значения коэффициентов		
$a$	-162,827	-0,231
$b$	0,127	1155
$r^2$	0,9991	0,9999
Множественный $r^2$	0,9995	0,9999
Нормированный $r^2$	0,9990	0,9999
Стандартная ошибка	220,093	0,2637

взаимодействия полотна пилы с электромагнитом в программе Ansys 10.0 были определены зависимости усилий притяжения полотна пилы –  $F_{ansys}$  от величины воздушного зазора между электромагнитом и пилой –  $l_2$  (рис. 2) и силы тока в обмотке электромагнита –  $I$  (рис. 3).

В программе TableCurve 2D 2.03 проведена статистическая обработка данных, полученных в программе Ansys 10.0, составлены уравнения регрессии взаимодействия усилия притяжения полотна пилы  $F_{tc}$  от величины воздушного зазора и силы тока (табл.).

Таким образом, на основании теоретических исследований и моделирования процесса взаимодействия параметров электромагнита с величиной силы притяжения полотна пилы усилие притяжения возрастает при уменьшении величины воздушного зазора и увеличении силы тока. Проведенные исследования послужат основой при разработке конструкции электромагнитов и проведения последующих экспериментальных испытаний.

**Библиографический список**

1. Прокофьев, Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесная пром-сть, 1990.
2. Пат. 2307024 Российская Федерация МПК В 27 В 13/10. Отжимная аэростатическая направляющая ленточной пилы / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин; заявитель и патентообладатель Архангел. гос.

техн. ун-т. – № 2005139674/03; заявл. 19.12.2005; опубл. 27.09.2007.

3. Памфилов, Е.А. Применение управляемых магнитных полей в функциональных узлах деревообрабатывающего оборудования / Е.А. Памфилов, П.Г. Пыриков // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2006. – № 2.
4. Пат. 94898 Российская Федерация МПК В 27 В 13/10. Отжимная электромагнитная направляющая круглой пилы / Е.С. Шарапов, Е.Ю. Кузнецов; заявитель и патентообладатель Е.С. Шарапов, Е.Ю. Кузнецов – № 2010107641/22 ; заявл. 02.03.2010 ; опубл. 10.06.2010.
5. Касаткин, А.С. Курс электротехники: учебник для вузов 8-е изд., стер. / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высшая школа, 2005. – 542 с.
6. Буль, О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. / О.Б. Буль. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 288 с.
7. Method for reducing the kerf width made by a circular saw blade: 5497648 United states patent: B 27b 5/00/ Richard R. Martin; appl. no.199575; filed Feb. 22, 1994; patented Jan.19, 1971; patented Mar. 12, 1996.
8. Circular resaw apparatus and method: 4210184. United states patent: B27B 1/00/McGriff; appl. no.837711; filed Jan, 30, 1978; patented Jul. 1, 1980.
9. Saw stabilizing means and method: 3327696. United states patent: CI. 125-13/ Н.Н. Aiken Etal; appl. no. 402878; filed Oct. 9, 1964; patented June 27, 1967.
10. Method for straining and steering of a blade in a saw device and steering and straining devices: 0302227. United states patent: CI. 83/820/ R. Viljanen; appl. no. 11/997.337; filed Aug. 1, 2006; patented Dec. 11, 2008.

## О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОВЕДЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ, ПРОШЕДШЕЙ ГИДРОТЕРМИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

В.Г. САНАЕВ, проф. каф. древесиноведения МГУЛ, д-р техн. наук,

О.М. ПОЛЕЩУК, проф. каф. высшей математики МГУЛ, д-р техн. наук,

Е.Г. КОМАРОВ, доц. каф. информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГУЛ, канд. техн. наук

Древесина – это материал сложного строения, состоящий главным образом из трех биополимеров: лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы. В дополнение к этим полимерным компонентам древесина может содержать экстрактивные вещества в небольших количествах и несколько классов органических соединений, таких как сахар, танины, терпены, жиры или воск. Следствием сложного строения древесины является возникающая неопределенность (нечеткость) поведения древесины в процессе ее гидротермической обработки.

Гидротермическая обработка древесины – один из процессов, используемых для ее облагораживания, который служит для улучшения естественных свойств древесины, таких как устойчивость к деформации, сопротивляемость биологической коррозии и грибковым заболеваниям [1, 2]. Главными целями промышленной гидротермической обработки являются увеличение биологической стойкости древесины к загниванию, улучшение стойкости к атмосферным воздействиям. При выдерживании древесины в воде происходит разбухание и увеличение веса. При воздействии высоких температур может уменьшаться степень гигроскопичности, разбухания и усушки по причине формирования простых эфирных связей путем разделения двух смежных гидроксильных групп. То есть в результате термической обработки и термической деструкции уменьшается разбухание, и древесина теряет свой вес. Потеря массы зависит от температуры, времени и преобладающих условий термической обработки, а также размера образца. С другой стороны, в результате термической обработки древесина становится более хрупкой, ее прочность

*olga.m.pol@yandex.ru; komarov@mgul.ac.ru*

на изгиб и растяжение уменьшаются. Таким образом, учитывая сложность строения древесины, и, как, следствие, неопределенность поведения в процессе гидротермической обработки, представляется актуальной задача прогнозирования поведения древесины при разных режимах этой обработки.

Чтобы понять, почему в данной работе предлагается аппарат нечеткого анализа, давайте рассмотрим следующие высказывания: «При длительной гидротермической обработке в древесине накапливаются продукты гидролиза полисахаридов», «древесина имеет весьма существенные недостатки: высокую горючесть, склонность к гниению, гигроскопичность, которая приводит к трещинообразованию и частичной потере несущей способности». В этих высказываниях используются слова естественного профессионального языка, такие как «длительная гидротермическая обработка», «высокая горючесть», «весьма существенные недостатки», «частичная потеря несущей способности». Использование таких терминов не является искусственно созданным исключением, это норма при описании и оценивании происходящих процессов. Но для того, чтобы учесть накопленный опыт экспертов, заставить этот опыт работать в рамках той или иной модели, высказывания нужно формализовать в рамках определенной теории. Что в этом плане может предложить классическая теория множеств? Например, понятие «длительная гидротермическая обработка» может быть задано временным отрезком  $[\bar{x}_m, \bar{x}_M]$  или характеристической функцией, изображенной на рис. 1.

Характеристическая функция принимает два значения – единица, когда время обработки принадлежит отрезку  $[\bar{x}_m, \bar{x}_M]$  и ноль,

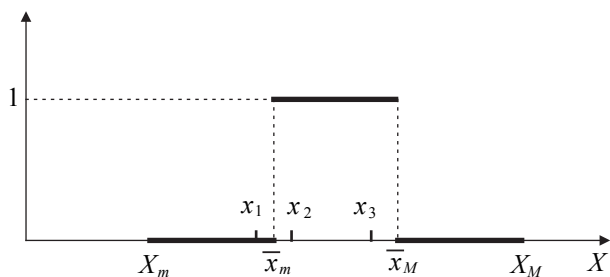


Рис. 1. Характеристическая функция множества, формализующего понятие «длительная гидротермическая обработка»

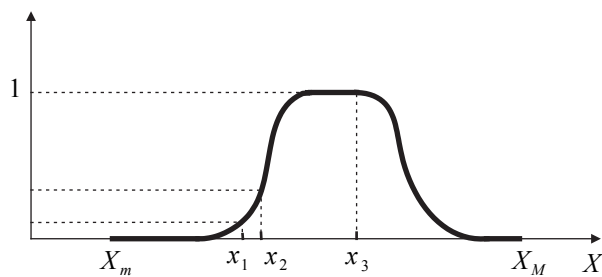


Рис. 2. Функция принадлежности нечеткого множества, формализующего понятие «длительная гидротермическая обработка»

когда не принадлежит. Тогда два временных значения  $x_2, x_3$  считаются близкими в рамках такой формализации (они принадлежат отрезку  $[\bar{x}_m, \bar{x}_M]$ ), а временные значения  $x_1, x_2$  различными, хотя они гораздо ближе друг к другу, чем временные значения  $x_2, x_3$ . Получается некий парадокс, в результате чего компьютерная модель (созданная на основе предложенной формализации) может видеть фактически близкие ситуации как разные, а более физически различные – как одинаковые. Данная ситуация может привести к тому, что выводы, полученные при анализе такого рода моделей, не будут соответствовать представлениям экспертов.

Рассмотрим формализацию понятия «длительная гидротермическая обработка» с позиции теории нечетких множеств [3] по сути, не давая четких определений. Во-первых, человек никогда не мыслит скачкообразно, это не свойственно его мышлению. Если посмотреть на рис. 1, то там как раз присутствует эта скачкообразность. Более простой пример можно привести с оценкой роста человека. Например, мы не говорим, что рост мужчины 1.75 см является средним, а вот рост 1.76 см уже высоким. Здесь нужно еще учитывать, какой национальности мужчина. Например, мужчины острова Бали с ростом 1.75 см считаются очень высокими.

Обратимся к рис. 2, на котором представлена функция принадлежности нечеткого множества «длительная гидротермическая обработка». Во-первых, присутствует плавность перехода от одного значения к другому, во-вторых временные значения  $x_1$  и  $x_2$  видятся моделью как близкие, в-третьих, значение функции принадлежности можно трактовать

как степень уверенности эксперта в том, что конкретное временное значение действительно является длительной обработкой древесины и эта степень уверенности меняется от нуля до единицы, что более логично, чем описание степени уверенности эксперта только двумя значениями – ноль или единица. Кроме этого, компьютерная модель, построенная на основе этой формализации, будет воспринимать фактически близкие ситуации как похожие, а значит, будет более адекватной действительности [4].

### Нечеткий логический контроллер (классификатор)

Рассмотрим структурную схему нечеткого лингвистического контроллера, представленную на рис. 3.

Возможность построения нечетких контроллеров предоставляет, например, программный комплекс MatLab/Simulink. Входной информацией нечеткого логического контроллера является числовая информация, поступающая с объекта управления. Эти данные поступают в блок под названием «Фаззификатор», где числовым значениям в соответствие ставятся их лингвистические значения. Например, входной информацией нечеткого логического контроллера для прогноза разбухания древесины и увеличения ее веса являются числовые значения двух переменных – температура термической обработки (в градусах) и время выдерживания в воде (в часах). Выходной информацией являются разбухание образца древесины (в миллиметрах) и увеличение веса (в граммах). Для входных и выходных переменных определяются уровни лингвистических шкал и осу-

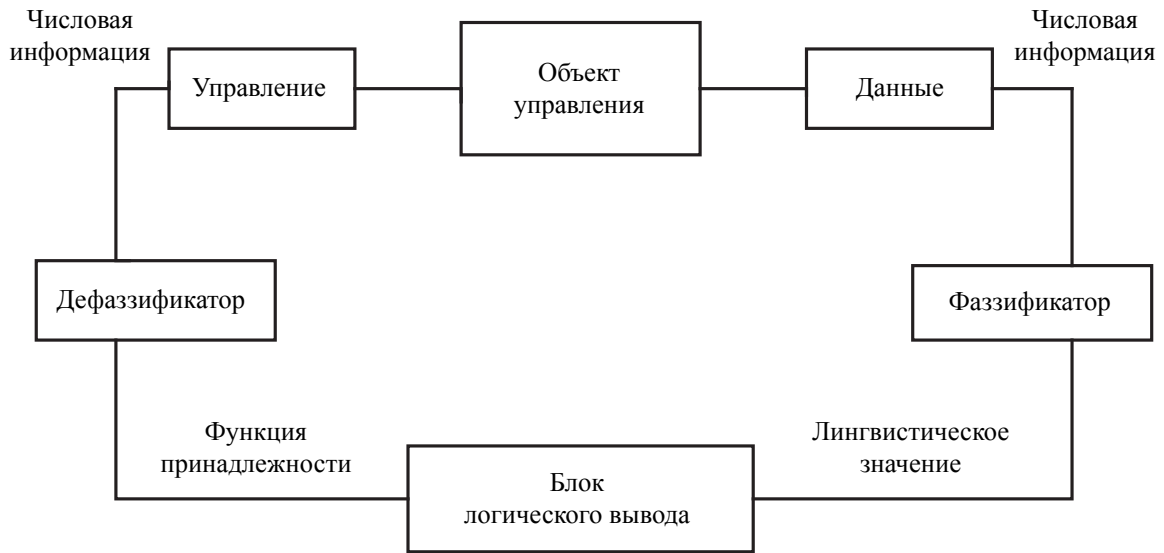


Рис. 3. Структурная схема нечеткого контроллера

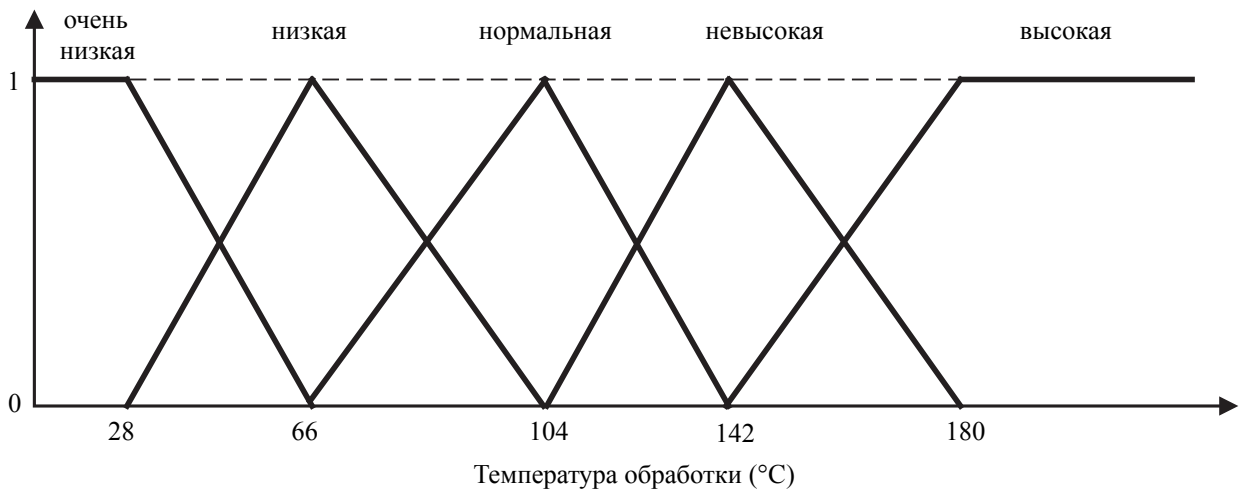


Рис. 4. Лингвистическая переменная «Температура термической обработки древесины»

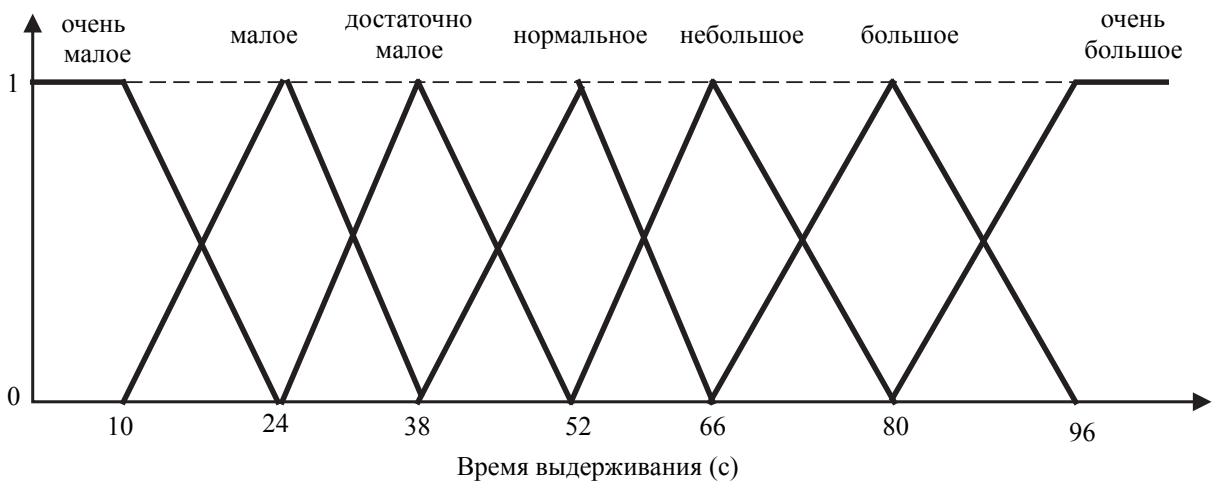


Рис. 5. Лингвистическая переменная «Время выдерживания образца древесины в воде»



Рис. 6. Функция принадлежности терма «Нормальная температура термической обработки древесины»

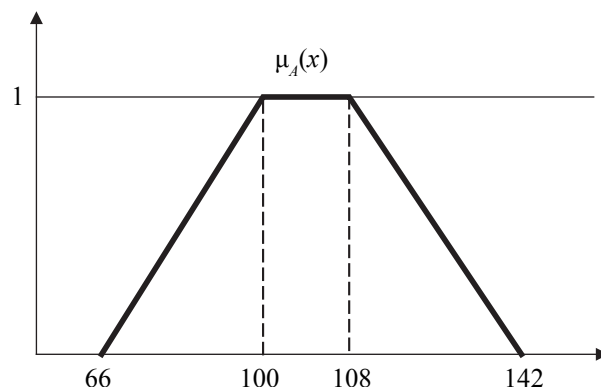


Рис. 7. Функция принадлежности терма «Нормальная температура термической обработки древесины»

ществляется построение соответствующих лингвистических переменных. Определение входных и выходных лингвистических переменных контроллера, так же как и правил нечеткого логического вывода, основано на практических (экспертных) знаниях и на интуиции. Таким образом, необходимой составляющей нечеткого контроллера является база знаний. Для температуры термической обработки предлагается использовать следующие уровни – очень низкая, низкая, нормальная, невысокая и высокая, для времени выдерживания в воде испытательных образцов – очень малое, малое, достаточно малое, нормальное, небольшое, большое и очень большое. Количество уровней для лингвистических переменных определяется на основе практических (экспертных) знаний, кроме этого разработан метод определения оптимального множества лингвистических шкал [5]. Лингвистические переменные для температуры термической обработки и времени выдерживания в воде представлены соответственно на рис. 4 и 5.

Как видно из этих рисунков, в качестве функций принадлежности термов (значений) лингвистических переменных выбраны треугольные функции принадлежности. Однако, опираясь на опыт экспертов, могут быть выбраны трапецеидальные функции принадлежности (графиком которых являются трапеции). Отличие треугольной и трапецеидальной функций принадлежности нечеткого множества состоит в том, что в случае треугольной функции принадлежности множество имеет одного типичного представителя

(точку), а в случае трапецеидальной функции принадлежности множество имеет несчетное число типичных представителей (отрезок).

Чтобы лучше понять суть треугольных и трапецеидальных нечетких чисел (функции принадлежности которых являются соответственно треугольниками или трапециями), давайте рассмотрим функции принадлежности терма «Нормальная температура термической обработки», которые представлены соответственно на рис. 6 и 7.

Из вида функции принадлежности на рис. 6, следует, что температура 104° является типичной для рассматриваемого терма и степень уверенности в этом равна 1. Значения температуры 66° и 142° не принадлежат этому терму (степень уверенности в их принадлежности равна нулю), значения температуры от 66° до 142° принадлежат рассматриваемому терму с разными степенями уверенности, которые больше нуля и меньше единицы.

Из вида функции принадлежности на рис. 7, следует, что значения температуры от 100° до 108° являются типичными для рассматриваемого терма и степень уверенности в этом равна 1. Значения температуры 66° и 142° не принадлежат этому терму (степень уверенности в их принадлежности равна нулю), значения температуры от 66° до 100° и от 108° до 142° принадлежат рассматриваемому терму с разными степенями уверенности, которые больше нуля и меньше единицы.

Для выходных переменных (разбухание и увеличение веса) предлагается использовать следующие уровни – очень малое,

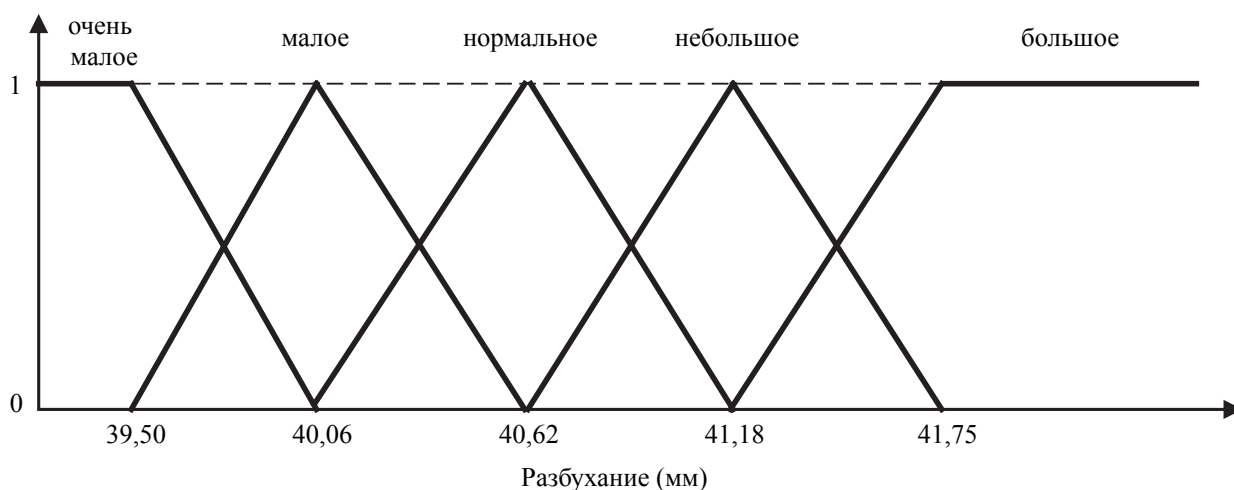


Рис. 8. Лингвистическая переменная «Разбухание древесины»

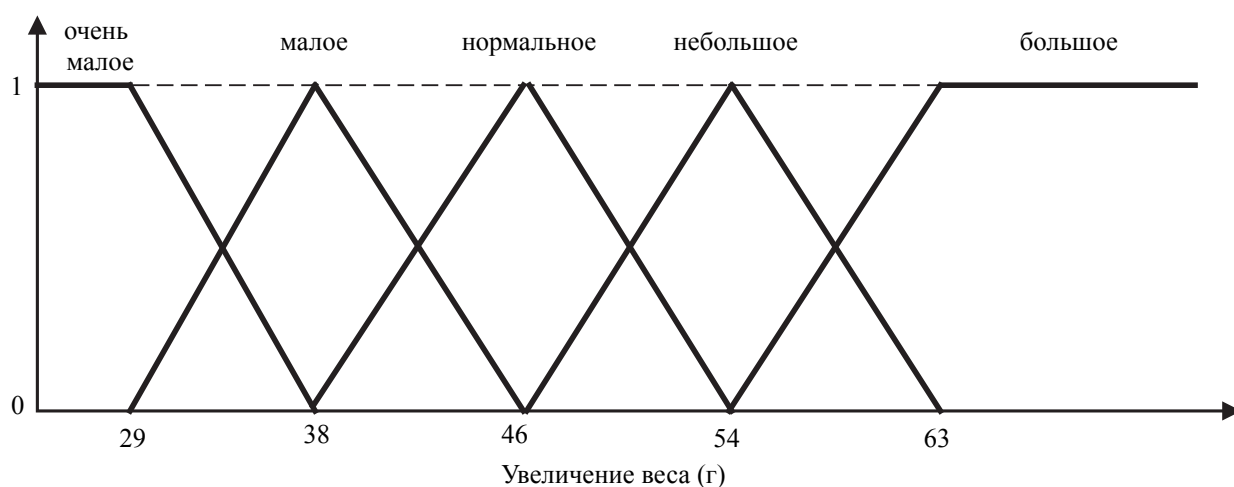


Рис. 9. Лингвистическая переменная «Увеличение веса древесины»

малое, нормальное, небольшое и большое. Лингвистические переменные для набухания и увеличения веса представлены соответственно на рис. 8 и 9.

После построения лингвистических переменных блок «Фаззификатор» ставит в соответствие числовым значениям переменных их лингвистические значения, то есть значения функций принадлежности соответствующих термов. Далее лингвистические значения поступают в блок системы нечеткого логического вывода, для построения которого используется опыт экспертов и, возможно, их интуиция. Правила логического вывода строятся по принципу ЕСЛИ...И..., ТО.... Например: «Если температура термической обработки нормальная и время выдерживания нормальное, то разбухание малое» или «Если температура термической обработки

невысокая и время выдерживания небольшое, то разбухание нормальное». После применения этой системы в блок «Дефаззификатор» поступает функция принадлежности выходной переменной, где по одному из известных правил этой функции принадлежности в соответствие ставится число, которое является прогнозным значением выходной переменной и может использоваться для выработки управляющих воздействий.

Достаточно часто для построения системы нечеткого логического вывода используется алгоритм Мамдани [6].

Чтобы понять работу этого алгоритма, рассмотрим две входные переменные  $X$ ,  $Y$ , выходную переменную  $Z$  и упрощенную систему из двух нечетких правил вывода

если  $X$  есть  $A_1$  и  $Y$  есть  $B_1$ , то  $Z$  есть  $C_1$ ,  
если  $X$  есть  $A_2$  и  $Y$  есть  $B_2$ , то  $Z$  есть  $C_2$ ,



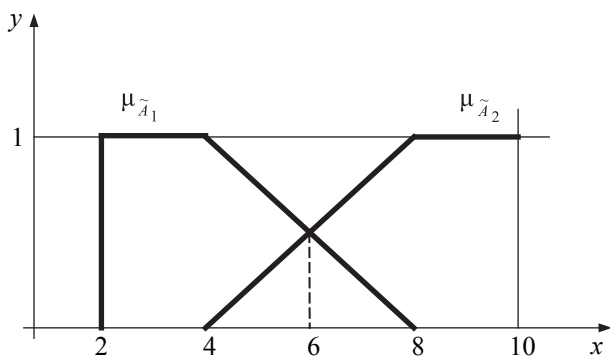


Рис. 10. Функции принадлежности переменной X

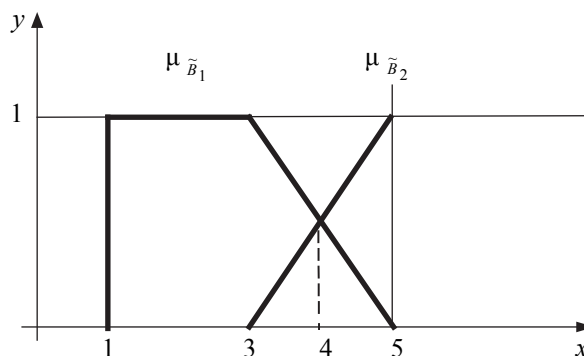


Рис. 11. Функции принадлежности переменной Y

Через  $A_1, A_2$  обозначены термы лингвистической переменной  $X$ , через  $B_1, B_2$  термы лингвистической переменной  $Y$ , через  $C_1, C_2$  термы лингвистической переменной  $Z$ . Функции принадлежности лингвистических переменных  $X, Y, Z$  обозначены соответственно через  $\mu_{A_i}, \mu_{B_i}, \mu_{C_i}, i = \overline{1, 2}$  и представлены на рис. 10–12.

Алгоритм Мамдани включает 4 этапа.

1. Фаззификация. Функции принадлежности  $\mu_{A_i}, \mu_{B_i}, i = \overline{1, 2}$  применяются к физическим (фактическим) значениям  $x_0, y_0$  переменных  $X, Y$ .

2. Нечеткий вывод.

$$\alpha_1 = \min(\mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0)),$$

$$\alpha_2 = \min(\mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_2}(y_0)).$$

Определение усеченных функций принадлежности переменной  $Z$

$$\mu_{C_1} = \min(\alpha_1, \mu_{C_1}(z)),$$

$$\mu_{C_2} = \min(\alpha_2, \mu_{C_2}(z)).$$

3. Композиция. Объединение усеченных функций принадлежности.

$$\mu_{\Sigma}(z) = \max(\mu_{C_1}(z), \mu_{C_2}(z)).$$

4. Дефаззификация. Для непрерывного случая

$$z_0 = \frac{\int_U z \mu_{\Sigma}(z) dz}{\int_U \mu_{\Sigma}(z) dz}.$$

Для дискретного случая

$$z_0 = \frac{\sum_i z_i \mu_{\Sigma}(z_i)}{\sum_i \mu_{\Sigma}(z_i)}.$$

Пусть  $x_0 = 5, y_0 = 4,8$ , тогда  $\mu_{A_1}(5) = 0,75, \mu_{A_2}(5) = 0,25, \mu_{B_1}(4,8) = 0,1, \mu_{B_2}(4,8) = 0,9$ .

$$\alpha_1 = \min(\mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0)) = \min(0,75, 0,1) = 0,1,$$

$$\alpha_2 = \min(\mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_2}(y_0)) = \min(0,25, 0,9) = 0,25.$$

Композиция усеченных функций принадлежности представлена на рис. 13.

Этап дефаззификации дает результат

$$z_0 = \frac{\int_{3,2}^{4,2} 0,1x dx + \int_{4,2}^{4,5} (0,5x - 2) dx + \int_{4,5}^8 0,25x dx}{\int_{3,2}^{4,2} 0,1 dx + \int_{4,2}^{4,5} (0,5x - 2) dx + \int_{4,5}^8 0,25 dx} =$$

$$= (0,05(4,2^2 - 3^2) + 0,167(4,5^3 - 4,2^3) - (4,5^2 - 4,2^2) + 0,125(8^2 - 4,5^2)) / (0,1(4,2 - 3) + 0,25(4,5^2 - 4,2^2) - 2(4,5 - 4,2) + 0,25(8 - 4,5)) = 5,86.$$

Схема использования нечеткого логического контроллера для прогноза разбухания древесины и увеличения ее веса представлены на рис. 14.

Нечеткие логические контроллеры хорошо зарекомендовали себя в тех проблемных областях, где используется опыт экспертов, а построение прогнозных моделей и моделей принятия решений на основе классических математических методов очень сложно или практически невозможно. Гораздо проще задать систему логических правил в рамках профессионального языка экспертов и соответственно обойтись без построения сложных математических конструкций. Как показывает практика, средняя точность прогноза при использовании нечеткого логического контроллера составляет более 90 %.

### Нечеткая регрессионная модель

Для прогноза значений характеристик и изучения зависимостей между различными характеристиками традиционно использу-

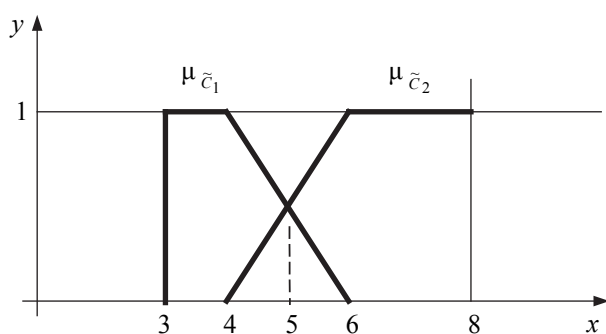


Рис. 12. Функции принадлежности переменной Z

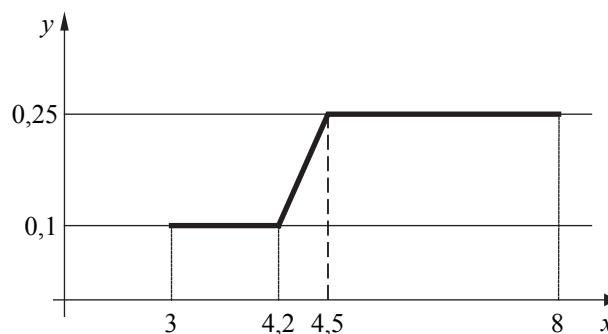


Рис. 13. Композиция усеченных функций принадлежности

ются методы классического регрессионного анализа. Общая задача исследования зависимостей, осуществляемая в рамках классического регрессионного анализа, может быть сформулирована следующим образом: по результатам  $N$  измерений  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}, y_i, i = 1, N$  переменных  $X_1, X_2, \dots, X_m, Y$  построить такую функцию  $f(X), X = (X_1, X_2, \dots, X_m)^T$ , ( $T$ -знак транспонирования), которая бы наилучшим (в определенном смысле) образом восстанавливала значения переменной  $Y$  по значениям переменных  $X_1, X_2, \dots, X_m$ . Частным случаем этой общей задачи является задача построения линейной регрессионной модели

$$f(X) = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_m X_m + \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  является ошибкой регрессии. Обычно предполагается, что  $\varepsilon$  имеет нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и дисперсией, равной  $\sigma^2$ . Незвестные коэффициенты регрессии находятся, например, методом наименьших квадратов. Выходная характеристика имеет исходные значения и модельные значения, которые в общем случае различны. Между модельными и исходными значениями находятся расстояния, потом эти расстояния возводятся в квадрат и складываются. Незвестные коэффициенты регрессии находят при условии минимума полученной суммы квадратов расстояний (отсюда название метод наименьших квадратов). Прогнозным значением выходной характеристики является число или интервал с заданным уровнем доверия.

Аппарат классического регрессионного анализа до работы Н. Танака [7] не имел альтернатив и традиционно применялся во всех областях деятельности человека. Появление

первой нечеткой регрессионной модели, разработанной Н. Танака, было результатом долгих исследований, направленных на то, чтобы повысить точность модели и избавиться от необходимости делать предположение (возможно ошибочное) о виде распределения ошибок регрессионной модели (как уже было сказано, обычно предполагается, что ошибки имеют нормальное распределение).

С работы Н. Танака началось развитие методов нечеткого регрессионного анализа, которые доказали на практике свою состоятельность и эффективность [8]. Входными и выходными исходными данными нечеткой регрессии могут быть обычные числа и нечеткие множества, коэффициентами нечеткой регрессии также могут быть как обычные числа, так и нечеткие множества. Главное отличие классической и нечеткой регрессий состоит в том, что ошибки классической регрессии считаются случайными величинами, а ошибки нечеткой регрессии считаются нечеткими множествами. Таким образом, в нечеткой регрессии нет необходимости делать предположение о виде вероятностного распределения ошибок, которое к тому же может быть ошибочным.

Для прогноза переменных  $Y_1 =$  «Разбухание древесины в результате гидротермической обработки» и  $Y_2 =$  «Увеличение веса древесины в результате гидротермической обработки» предлагается использовать нечеткие регрессионные модели, входными переменными которых являются  $X_1 =$  «Температура термической обработки древесины» и  $X_2 =$  «Время выдерживания древесины в воде». Принцип построения таких моделей разрабо-

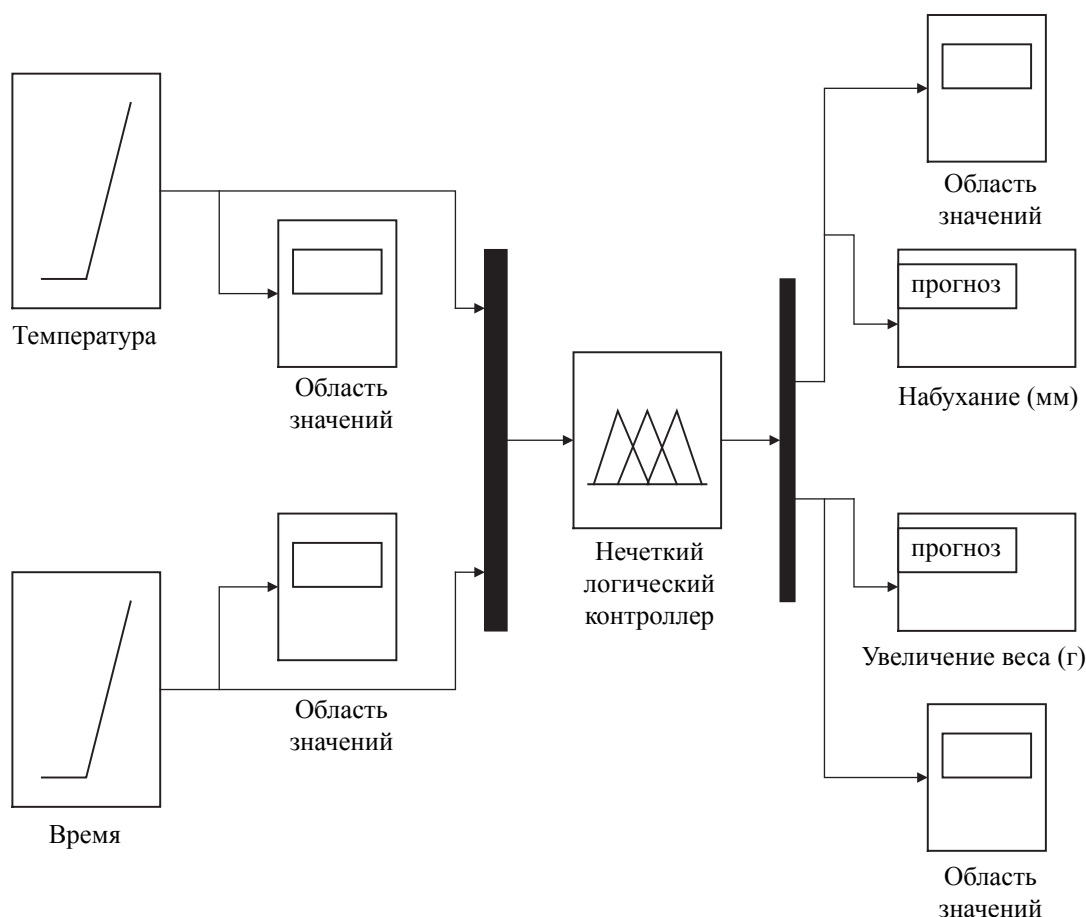


Рис. 14. Схема использования нечеткого логического контроллера при прогнозе поведения древесины

тан в [9, 10]. Зависимость между входными и выходными переменными находится в виде

$$\tilde{Y}_i = \tilde{a}_0^i + \tilde{a}_1^i X_1 + \tilde{a}_2^i X_2, i = \overline{1, 2},$$

где  $\tilde{a}_j^i, i = \overline{1, 2}, j = \overline{0, 2}$  – нечеткие числа с треугольными функциями принадлежности,

или в виде [11]

$$\tilde{Y}_i = \tilde{a}_0^i + \tilde{a}_1^i X_1 + \tilde{a}_2^i X_2 + \tilde{a}_3^i X_1^2 + \tilde{a}_4^i X_4^2 + \tilde{a}_5^i X_1 X_2, i = \overline{1, 2},$$

где  $\tilde{a}_j^i, i = \overline{1, 2}, j = \overline{0, 5}$  – нечеткие числа с треугольными функциями принадлежности.

При построении этих моделей и определении параметров неизвестных коэффициентов регрессии использованы некоторые принципы построения классической регрессии. Основной трудностью является не столько определение расстояния между исходными и модельными данными, поскольку исходные данные являются обычными числами, а мо-

дельные данные нечеткими числами, сколько полезность этого определения для построения модели. Поэтому, проанализировав известные определения расстояний для нечетких чисел, авторы пришли к необходимости определения агрегирующего интервала для нечетких чисел [12]. До этого определения существовали только точечные агрегирующие показатели, но они не позволяли учесть все информационные особенности нечетких данных. На основе этих агрегирующих интервалов были определены расстояния между нечеткими числами (как декартово расстояние между двумя точками на плоскости). Далее были найдены расстояния между исходными и модельными выходными данными, после чего для них был реализован метод наименьших квадратов. Прогнозное (модельное) значение может быть представлено в виде нечеткого числа, четкого (обычного) числа и интервала с заданным уровнем доверия. Только мерой доверия в данном случае

выступает не вероятностная мера, а мера возможности.

Новое определение расстояния между нечеткими числами позволило построить числовые показатели качества этих нечетких моделей, а именно – аналог стандартного отклонения, аналог оценки стандартной ошибки и аналог коэффициента детерминации. Эти показатели имеют приставку «аналог», поскольку подобные показатели есть в классическом регрессионном анализе и после построения аналогичных показателей для нечетких моделей появилась возможность объективного сравнительного анализа моделей, построенных в рамках разных математических теорий. Вообще говоря, эти математические теории не такие уж и разные, поскольку понятие нечеткого множества является обобщением понятия обычного (классического) множества, а аппарат нечеткого регрессионного анализа является обобщением классического регрессионного анализа. Несомненно, оперировать с нечеткими множествами гораздо сложнее, чем с обычными множествами, но наградой за эту сложность является повышение точности моделей, их адекватность действительности, возможность оперировать словами естественного языка и учитывать опыт экспертов. Как показывает практика, средняя точность прогноза при использовании нечетких регрессионных моделей составляет более 90 %.

Таким образом, нечеткий регрессионный анализ в состоянии дать возможность учета и успешной обработки нечеткости, которая возникает при гидротермической обработке древесины в силу ее достаточно сложного строения.

### Заключение

Древесина поглощает влагу вследствие гигроскопичности. Толщина и вес древесины изменяются в зависимости от условий окружающей среды. Эти изменения в древесном материале нежелательны, их стремятся минимизировать путем термической обработки. В работе предлагаются два подхода на основе нечеткого анализа для прогноза разбухания древесины и увеличения ее веса в зависимости от температуры термической обработки

и времени выдерживания древесины в воде. Первой моделью является нечеткий логический контроллер (классификатор), в основе которого лежит аппарат нечеткой логики. Существенным достоинством нечеткого контроллера является возможность описывать сложные взаимосвязи параметров на основе логических правил в рамках естественного языка. Второй моделью является нечеткая регрессионная модель, которая в случае подходящих характеристик качества позволяет определить зависимость между входными и выходными характеристиками в явном аналитическом виде. Разработанные модели предлагается использовать на различных этапах изготовления изделий из древесины.

Разработанные модели характеризуются высокой степенью устойчивости результатов обработки полученных данных, которая достигается за счет корректного представления (формализации) разнородной информации, а также за счет использования методов обработки данных, сочетающих в своей основе несколько теорий учета и обработки разных типов неопределенности. Интеллектуальность анализа этой информации достигается за счет применения логических построений, формализующих мыслительную работу экспертов. Самонастройка выводов поддерживается самообучением системы на основе апостериорных статистических и экспертных данных.

### Библиографический список

1. Расев, А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: учебное пособие / А.И. Расев. – М.: Форум, 2010. – 416 с.
2. Mazela, B., Zakrzewski, R., Kowiak, G.W., Cofta, G., Bartkowiak, M. Resistance of thermally modified wood to basidiomycetes // Wood Technology. – 2004. – Vol. 7 (1). Pp. 253–262.
3. Zadeh, L.A., (1994), Soft computing and fuzzy logic. IEEE Software, 48–56.
4. Полещук О.М., Комаров Е.Г. Методы и модели обработки нечеткой экспертной информации. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 288 с.: ил.
5. Полещук О.М. О применении нечетких множеств в задачах построения уровней градаций // Лесной вестник. – 2000. – №4 (13). – С.142 – 146.
6. Mamdani E.H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – №1. – Pp.1–13.

7. H. Tanaka, S. Uejima, K. Asai. Linear regression analysis with fuzzy model // IEEE. Systems, Trans. Systems Man Cybernet. – SMC-2. – Pp. 903–907, 1982.
8. Y.-H.O. Chang, B.M. Ayyub. Fuzzy regression methods – a comparative assessment // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. – Vol. 119. – Pp. 187–203.
9. V.G. Domrachev, O.M. Poleshuk. A regression model for fuzzy initial data // Automation and Remote Control. – 2003. – Vol. 64. – № 11. – Pp. 1715 – 1724.
10. O. M. Poleshuk, E. G. Komarov Multiple hybrid regression for fuzzy observed data // Proceedings of the 27th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. – NAFIPS'2008.
11. O. M. Poleshuk, E. G. Komarov A nonlinear hybrid fuzzy least-squares regression model // Proceedings of the 30th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. – NAFIPS'2011.
12. O.Poleshchuk, E.Komarov Hybrid fuzzy least-squares regression model for qualitative characteristics // Advances in Intelligent and Soft Computing. – Springer-Verlag. 2010. – Vol. 68. – Pp. 187–196.

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

В.Д. БУРКОВ, *проф. каф ИИС и ТП МГУЛ, д-р техн. наук,*

С.В. ПЕРМИНОВ, *соискатель каф. ИИС и ТП МГУЛ,*

Ю.С. КАПРАНОВ, *начальник отдела волоконно-оптических систем НТК СПП*

*av60017@comtv.ru*

Расширение объемов задач, решаемых современными космическими средствами при одновременном увеличении срока активного существования (САС) космических аппаратов (КА), потребовало от разработчиков космических комплексов новых подходов к организации бортовых систем информационного обмена. Такие требования, как САС порядка 10–15 лет, минимизация массо-габаритных характеристик бортовой кабельной сети (БКС) и стойкость к негативным воздействиям факторов космического пространства (ФКП), определили общее направление развития бортовых систем информационного обмена [1, 2].

По современным представлениям, масса бортовой кабельной сети составляет от 6 % до 10 % массы всего КА (без учета запаса топлива для двигателей ориентации и стабилизации), что является существенной величиной при выведении аппарата на орбиту [3]. Снижение массы БКС может быть достигнуто путем широкого применения волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСПИ). Средой передачи сигнала в этих системах служат волоконно-оптические кабели. ВОСПИ на борту КА находят все более широкое применение благодаря своим явным преимуществам перед прочими проводными системами связи:

- полная невосприимчивость к электромагнитным помехам;
- отсутствие проблем, связанных с контурами заземления и с напряжениями смещения в местах соединения разнородных проводников;
- отсутствие собственных (побочных) электромагнитных излучений;
- отсутствие перекрестных помех между каналами;
- существенно меньшая электрическая опасность;
- химическая инертность.

Помимо прочего, ВОСПИ позволяют организовать чрезвычайно широкополосные каналы информационного обмена, что снимает ряд проблем, связанных с управлением КА и обработкой первичных информационных массивов непосредственно на борту. Все это существенно упростит процедуры управления КА со стороны наземного центра управления полетом (ЦУП) и снимет дополнительную нагрузку с радиоканала связи «борт КА – Земля (ЦУП)».

К сожалению, широкому внедрению ВОСПИ на борту КА мешает уязвимость бортовых ВОСПИ к воздействию негативных факторов космического полета. В процессе эксплуатации бортовых ВОСПИ отдельные элементы системы передачи информации,

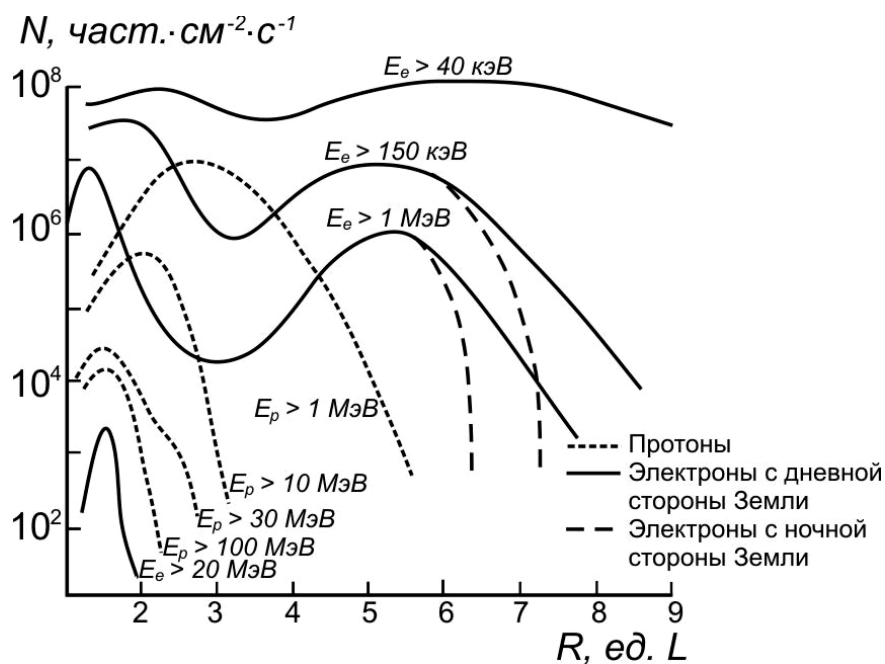


Рис. 1. Потoki электронов и протонов различных энергий в плоскости геомагнитного экватора.  $R$ -расстояние от центра Земли, выраженное в радиусах Земли

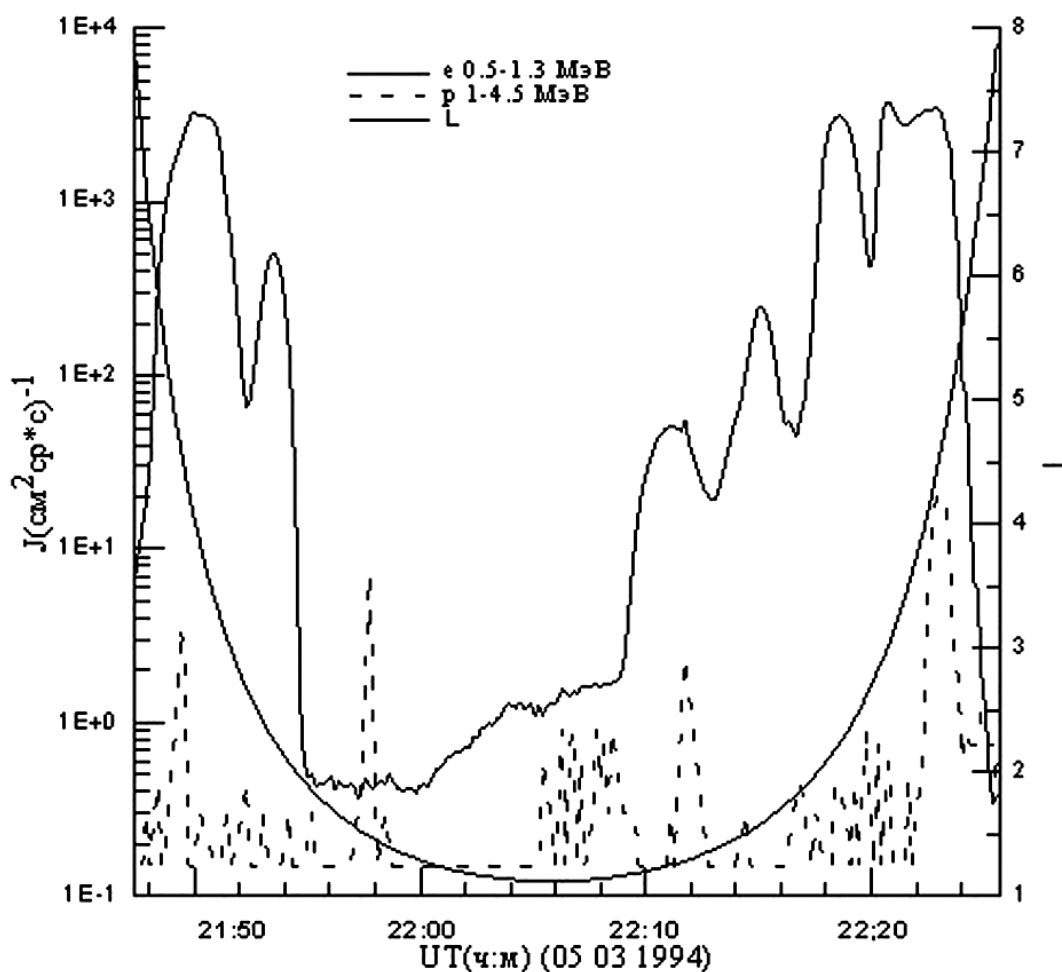


Рис. 2. Данные о потоках электронов и протонов на части высокоэллиптической орбиты КА ( $L < 8$ ) при движении с севера на юг

а также волоконно-оптический тракт подвержены деградации под действием тех или иных факторов космического пространства.

По современным представлениям основную роль в снижении качества передачи информации по ВОСПИ в условиях космического пространства играют радиационные эффекты за счет воздействия на элементы ВОСПИ протонов космических лучей и электронов, входящих в состав корпускулярного излучения Солнца и захваченных магнитным полем Земли.

Факторы, определяющие воздействие заряженных частиц и излучений солнечного ветра на те или иные элементы бортовой аппаратуры, к настоящему моменту изучены достаточно хорошо. Следует отметить, что КА обращаются вокруг Земли по типовым орбитам (достаточно вспомнить проблемы, связанные с размещением на стационарной орбите спутников связи и телевизионного вещания, принадлежащих различным государствам). Для каждой из таких орбит уже был проведен мониторинг радиационных полей и определены средние потоки заряженных частиц [4]. По данным многолетнего мониторинга околоземного космического пространства составлены карты распределения частиц [5,6]. Картина распределения протонов и электронов в плоскости геомагнитного экватора (по А. Гальперу [7]) представлена на рис. 1. Наблюдения за динамикой потоков частиц в области земной магнитосферы ведутся начиная с 1958 г. За эти годы накоплен громадный статистический материал, тем не менее, процессам, определяющим уровни потоков заряженных частиц в магнитосфере Земли, по-прежнему уделяется повышенное внимание. Картина распределения захваченных частиц, представленная на рис. 1, соответствует усредненному состоянию солнечной активности. В зависимости от геомагнитной обстановки, солнечной активности, уровня Галактических космических лучей и общего состояния магнитосферы Земли частица, обладавшая импульсом  $p$ , может быть захвачена той или иной  $L$ -оболочкой. В зависимости от величины магнитного поля  $B$ , импульса частицы  $p$  и пинч-угла в момент попадания

частицы на  $L$ -оболочку она может перейти в стационарное состояние захвата (время жизни захваченных протонов на оболочках  $L = 2-5$  может достигать до 100 лет!) или перейти в зону неустойчивой радиации в состоянии квазизахвата. В режиме квазизахвата частица совершает менее одного оборота вокруг той или иной  $L$ -оболочки и, дрейфуя в область хвоста, покидает магнитосферу Земли.

Орбиты космических аппаратов различного назначения пересекают практически все основные зоны верхней ионосферы, включая радиационные пояса планеты. Указанные типы космических аппаратов имеют срок активного существования более пяти лет, что позволяет проводить длительные однородные измерения [1, 2, 4]. Наиболее неблагоприятными, с точки зрения радиационной опасности, являются эллиптические высокоапогейные орбиты (для КА серии «Молния»  $H_A \sim 39,6$  тыс. км, перигей  $\sim 500$  км с наклоном  $65^\circ$ ). Эти орбиты пересекают все основные структурные области внутренней магнитосферы: центр внутреннего радиационного пояса в районе геомагнитного экватора ( $L=1,5$ ), весь внешний радиационный пояс ( $L = 3-7$ ) на средних геомагнитных широтах ( $30^\circ - 50^\circ$ ), авроральную зону ( $65^\circ - 70^\circ$ ) и область полярного каспа ( $>70^\circ$ ). Рис. 2 иллюстрирует эту картину.

Исходя из существующей модели радиационных поясов Земли и зная энергетический спектр заряженных частиц, захваченных геомагнитным полем, можно оценить усредненные показатели экспозиционных и поглощенных доз облучения. В работе С.В. Перминова [8] приведена сводная таблица, в которой указаны значения поглощенных доз для КА, находящихся на тех или иных орбитах в зависимости от срока активного существования КА. Эти данные говорят о том, что в наиболее жестких условиях, с точки зрения суммарной эквивалентной поглощенной дозы ионизирующих излучений, находятся КА, функционирующие на высокоапогейных эллиптических орбитах.

Сравнение рис. 1 и рис. 2 показывает, что при движении по сильно вытянутой эллиптической орбите КА значительную часть

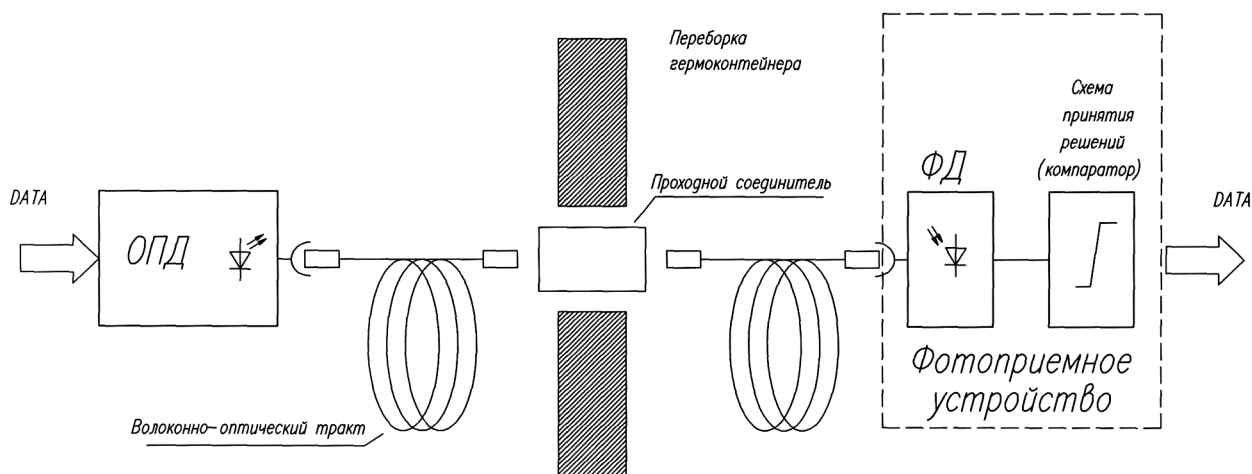


Рис. 3. Обобщенная структурная схема ВОПИ типа «от точки к точке»

времени пролета одного витка находится в весьма сложных условиях с точки зрения радиационных воздействий на его бортовую аппаратуру. Это сравнение только подтверждает высказанный ранее тезис.

Для случая эллиптической орбиты возможно оценить суммарную экспозиционную дозу поглощенного излучения по формуле

$$D_i(1 - \text{виток}) = \sum_{L=i}^k t_{iR} [D_i(E_e) + D_i(E_p)], \quad (1)$$

где  $t_{iR}$  – время пребывания КА на  $i$ -ом участке орбиты;

$D_i(E_e)$  – поглощенная доза излучения, обусловленная потоком электронов;

$D_i(E_p)$  – поглощенная доза излучения, определяемая потоком протонов.

Для практических целей удобнее пользоваться табличными величинами поглощенных доз ионизирующего излучения, которые приведены в работах [4, 8]. В случае высокоапогейной эллиптической орбиты суммарная доза поглощенного излучения от потока протонов и электронов за один год составит  $3 \cdot 10^5$  Р [2]. Такая поглощенная доза будет регистрироваться вне пределов КА, то есть на внешней обшивке аппарата. Стенки, элементы конструкции КА и экранно-вакуумная термоизоляция будут ослаблять эту величину, но следует отметить, что для ослабления поглощенной дозы в 50 раз требуется защитный слой из алюминия или его сплавов толщиной около 6 мм. К тому же часть коммуникаций, в том числе и те, которые используют волоконно-оптические кабели (ОК), будут проклады-

ваться по обшивке КА, вне защитных стенок корпуса. Следовательно, рассматривая самый неблагоприятный сценарий, следует исходить из того факта, что в течение 10 лет на элементы ВОПИ будет воздействовать ионизирующее излучение космического пространства с суммарной эквивалентной поглощенной дозой  $10^6 - 10^7$  Р.

В настоящее время существует несколько основных схем построения ВОПИ. Традиционной схемой построения является линия связи «от точки к точке» (*point-to-point*), изображенная на рис. 3. Подробное описание такой схемы построения, включая устройство электрической модуляции и электронного уплотнения сигнала, приведено в работе В.Д. Буркова и Г.А. Иванова [9]. Применительно к бортовым информационным каналам, с учетом расположения аппаратуры связи в различных отсеках КА, в состав бортовой ВОПИ необходимо включить и проходные оптические соединители, обеспечивающие прохождение оптического информационного сигнала через стенку гермоконтейнера (отсека).

Краткое описание работы данной ВОПИ. Электрический сигнал в виде, удобном для передачи по оптическому каналу, поступает на вход оптического передатчика. Оптический передатчик осуществляет модуляцию оптического излучения электрическим информационным сигналом. Генерация оптического излучения осуществляется излучателем на основе лазерного или свето-



излучающего диода со встроенной схемой управления и стабилизации оптической мощности. Это излучение вводится в оптическое волокно (ОВ) волоконно-оптического тракта передачи (ВОТ). ВОТ служит для передачи оптического сигнала источника к удаленному приемнику. Пришедший сигнал поступает на фотоприемное устройство (ФПУ), которое обычно включает фотодетектор (*p-i-n* диод или лавинный фотодиод), каскад предварительного усиления и пороговое устройство (компаратор). Далее уже электрический сигнал поступает либо на вход декодирующего устройства, либо непосредственно на тот или иной оконечный исполнительный узел.

В условиях космического полета каждый из структурных элементов бортовой ВОСПИ подвергается воздействию ионизирующих излучений космического пространства (ИИ КП). Как уже было сказано выше, в условиях длительного космического полета поглощенные дозы излучения могут достигать весьма значительных величин – десятков и даже сотен миллионов рад. Такие поглощенные дозы представляют крайнюю опасность не только для электронного оборудования КА, но и для конструкционных материалов. Применительно к элементам ВОСПИ это означает, что будет происходить деградация *p-n* перехода в излучателе оптического передатчика, что приведет к снижению уровня излучаемой оптической мощности, а затем и к полному фатальному разрушению за счет тепловых процессов. Для собственно ОК, точнее ВОТ, воздействие ионизирующих излучений (ИИ) приведет к увеличению потерь, связанных с радиационно-наведенным поглощением света на центрах окраски, обусловленных возбуждением атомов примесей и образованием экситонов Винье-Мотта [9, 10]. Что касается воздействия ИИ КП на фотоприемные устройства, то в этом случае ожидается падение чувствительности собственно фотодетектора ФПУ и сбой в работе последующих каскадов усиления. Ожидается резкое возрастание уровня собственных шумов фотодетектора за счет генерации неосновных носителей заряда в обедненной области, стимулированной излучением.

С целью уточнения стойкости бортовых ВОСПИ к воздействию ИИ КП нами был проведен ряд экспериментов на моделирующих установках.

Огромное число переменных параметров, влияющих на реакцию материалов, отдельных приборов и систем на воздействие ионизирующих излучений, как правило, не позволяет прогнозировать их радиационную стойкость без проведения испытаний. На более достоверными испытаниями такого рода, безусловно, являются натурные, то есть исследования работоспособности систем и объектов в требуемых режимах в условиях реальной радиационной обстановки, что или практически невозможно, или требует больших расходов. В полной мере это относится к испытаниям на радиационную стойкость аппаратуры, предназначенной для работы при длительном низкоинтенсивном излучении в вакууме космического пространства.

Исходя из соображений о минимизации проведения времени испытаний при сохранении высокой информативности результатов, был сделан выбор моделирующих установок. В качестве моделирующей установки при исследовании реакции экспериментальной ВОСПИ и отдельных ее элементов на воздействие ИИ использовался импульсный реактор БАРС-4. БАРС-4 – импульсный твердотопливный ядерный реактор на быстрых нейтронах. Импульсный двухзонный ядерный реактор БАРС-4 предназначен для моделирования воздействия гамма-нейтронного импульса при исследовании радиационной стойкости элементов РЭА и ЭРИ [11]. Параметры моделирующей установки подробно даны в работе (Васильев А.В. 2008) [11].

Эксперимент проводился следующим образом. Была собрана экспериментальная волоконно-оптическая линия передачи информации (ВОСПИ). Экспериментальная ВОСПИ состояла из передающего блока, содержащего тактовый генератор с частотой импульсов 2,4 МГц и скважностью  $Q = 2$  и лазерного передающего модуля типа КЭМ-8 ПД. Лазерный передающий модуль КЭМ-8 ПД работал в импульсном режиме при длине волны оптического излучения  $\lambda = 0,85-0,87$  мкм.

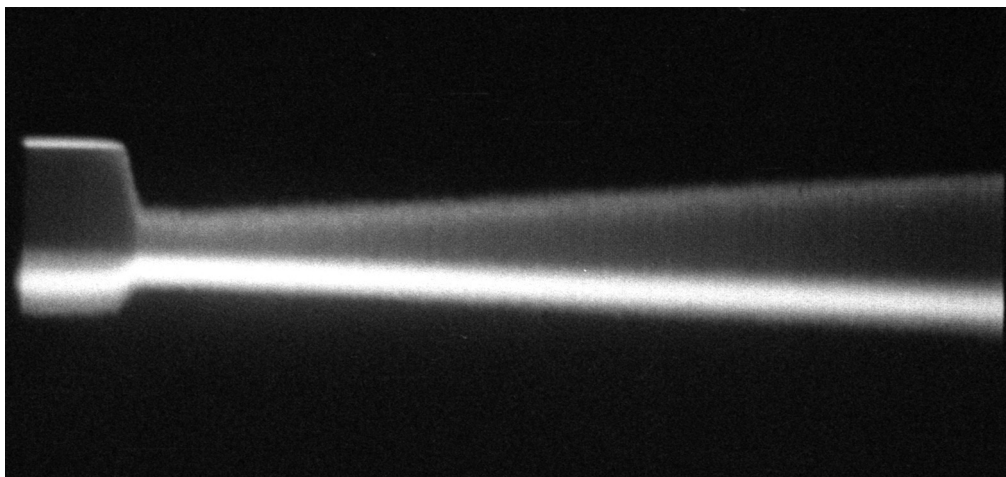


Рис. 4. Реакция волоконно-оптического кабеля на воздействие гамма-нейтронного импульса. Время восстановления порядка 1000 мкс

Начальная мощность излучения передающего модуля КЭМ-8 ПД составила 0,9 мВт. Волоконно-оптический тракт был создан на базе многомодового оптического волокна с характеристическим сечением 50/125 мкм. Необходимое начальное затухание в оптическом тракте создавалось при помощи оптического соединителя-аттенюатора (по а.с. СССР № 1780076 [169]).

В качестве приемного устройства использовался стандартный квантово-оптический приемный модуль КЭМ-8 ПР. В начальный момент на входе приемного модуля при помощи такого же оптического соединителя выставлялась оптическая мощность, которая позволяла обеспечить линейный режим работы приемного модуля КЭМ-8 ПР.

В зоне воздействия ионизирующих излучений поочередно размещались передающий модуль, приемный модуль, волоконно-оптический тракт. Реакция системы на воздействие импульсного ионизирующего излучения фиксировалась на фотопленке и на экране осциллографа в запоминающем режиме. Синхронизация запуска обеспечивалась сигналом внешней синхронизации, который формировался аппаратурой моделирующей установки. Уровень дозовой нагрузки задавался геометрическим размещением элементов экспериментальной ВОСПИ относительно центра мишени или относительно центрального канала (для импульсного реактора БАРС-4).

При исследовании реакции ОК на воздействие импульсного ИИ эксперимент строился следующим образом. В процессе эксперимента собственно ОК размещался в активной рабочей зоне. Длина ОК, подвергаемого воздействию ИИ, фиксировалась с точностью  $\pm 1$  м. Оптический передатчик и ФПУ размещались на периферии активной зоны реактора за защитой (свинец, толщина 50 мм). Реакция волоконно-оптического кабеля на воздействие импульсного гамма-нейтронного излучения приведена на рис. 4.

Рис. 4 представляет собой фотографию процесса, регистрируемого приемным модулем. Развертка по горизонтальной оси (времени) – 100 мкс/дел. Начальная амплитуда сигнала – 4,5 В. Длительность воздействия ИИ на исследуемый образец –  $60 \pm 5$  мкс при воздействии импульсной дозы излучения  $\sim 5 \cdot 10^3$  Р на отрезок волоконно-оптического кабеля длиной 100 м даже в момент максимума воздействия частично сохраняется пропускание света. При уровне экспозиционной дозы ионизирующего излучения, полученной в проведенном эксперименте, радиационно-наведенные потери исчезают за время порядка 1000 мкс. Остаточное радиационно-наведенное поглощение сохранялось около года. Мгновенное радиационно-наведенное поглощение (РНП) вычислялось по формуле (2)

$$\alpha_{\text{МГН}} = -10 \lg(P_{\text{имп.}} / P_{\text{начальн.}}) \text{ [дБ]}. \quad (2)$$

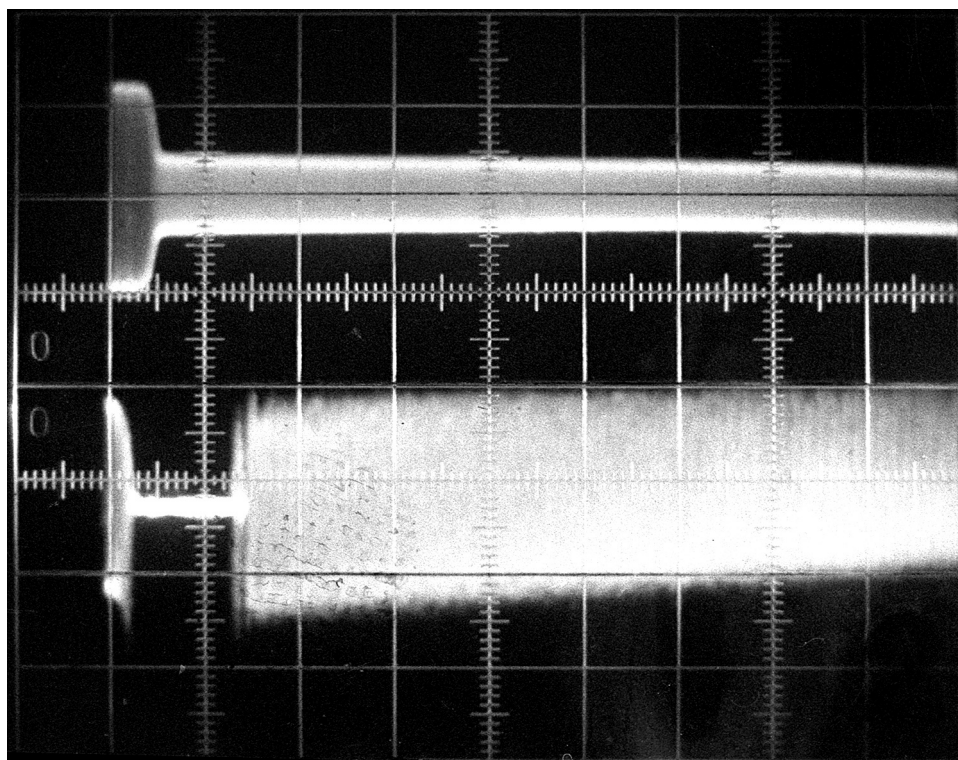


Рис. 5. Реакция передающего (вверху) и приемного (внизу) модулей типа КЭМ-8 на воздействие импульсного ионизирующего излучения (цена деления – 100 мкс/дел)

Радиационно-наведенное поглощение [дБ/км] оптического кабеля рассчитывалось по формуле 5.2

$$\text{РНП} = (1 / l_{\text{OK}}) \cdot \alpha_{\text{МГН}} \text{ [дБ/км]}. \quad (3)$$

Скорость восстановления пропускания оптического кабеля на линейном участке определялась исходя из выражения 4

$$S_{\text{ВОССТ}} = \alpha_{\text{МГН}} / (t_{\text{ВОССТ}} \cdot l_{\text{OK}}) \text{ [дБ/км с]}. \quad (4)$$

В эксперименте было получено значение скорости восстановления пропускания сигнала около  $2,4 \cdot 10^4 \pm 600$  дБ/км·с. Остаточное затухание, то есть РНП после завершения быстропротекающих процессов, составило величину  $400 \pm 60$  дБ/км. Эти данные хорошо согласуются с данными Ю.Т. Ларина [13], полученные для ОК с различным легированием ОВ.

В экспериментах по воздействию импульсного гамма-нейтронного излучения на работоспособность элементов экспериментальной ВОСПИ был проведен отдельный эксперимент, который выявлял реакцию собственно передающих и приемных оптических модулей на облучение. В этом случае волоконно-оптический тракт полностью выводился из зоны воздействия ионизирующих

излучений. Сигнал на выходе передающего модуля регистрировался индивидуальным фотоприемным устройством, размещенным вне действия импульсного ионизирующего излучения.

Сигнал на выходе фотоприемного оптического модуля, входящего в состав облучаемой части ВОСПИ, регистрировался одновременно с сигналом оптического передающего модуля.

Результат эксперимента представлен на рис. 5.

Рис. 5 представляет собой фотографию с экрана двухлучевого осциллографа (использовался осциллограф С1-75). Горизонтальная развертка – 100 мкс/дел. Вертикальная развертка – 2 В/дел. При регистрации процесса использовался «закрытый» вход осциллографа для того, чтобы отфильтровать постоянную составляющую на выходе фотоприемного устройства. Осциллограмма в верхней части фотографии рис. 5 представляет собой реакцию передающего модуля, нижняя часть фотографии рис. 5 – реакция фотоприемного модуля.

В данном эксперименте уровень воздействия на передающий и приемный моду-

ли экспериментальной ВОСПИ составлял  $\sim D_{\text{общ}} = 1 \cdot 10^4$  Р. Мощность дозы ионизирующего излучения в эксперименте составляла примерно  $\sim 1,7 \cdot 10^8$  Р/с.

Потери излучаемой оптической мощности после воздействия импульса ионизирующего излучения вычислялись по формуле 5

$$\alpha_{\text{ПД}} = 10 \lg(P_n / P_{\text{ии}}), \quad (5)$$

где  $P_n$  – изначальная мощность излучения передающего модуля;

$P_{\text{ии}}$  – регистрируемая мощность излучения передающего модуля после воздействия импульсного ионизирующего излучения.

Так как амплитуда электрического сигнала на выходе измерительного фотоприемного устройства пропорциональна мощности оптического сигнала на его входе, то, измеряя амплитуду сигнала, мы определим мощность оптического сигнала до и после воздействия.

Подставляя измеренные значения амплитуд, получаем измеренный уровень потерь  $\alpha_{\text{ПД}}(\text{изм}) = 10 \lg(2,2/0,9) = 10 \lg 2,44 = 3,9$  дБ.

На рис. 5 хорошо видно, что получившийся уровень излучаемой оптической мощности после воздействия ионизирующего излучения не восстанавливается, т.е. дефекты излучателя, возникшие после облучения, являются необратимыми. Восстановления уровня выходной оптической мощности передающего модуля не произошло и спустя примерно полтора года после проведения эксперимента.

Падение выходной мощности передающего оптического модуля объясняется следующими причинами. В полупроводниках излучательные переходы носителей заряда происходят между двумя энергетическими зонами – зоной проводимости и валентной зоной. Эти энергетические зоны разделены запрещенной энергетической зоной шириной  $E_g$ . Вероятность заселения уровня с энергией  $E$  в состоянии термодинамического равновесия составит

$$P_E = [1 + \exp((E - E_F) / kT)]^{-1}, \quad (6)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – температура, °K;

$E_F$  – уровень Ферми.

В чистом (беспримесном) полупроводнике уровень Ферми расположен точно посередине запрещенной зоны, и заселенность зоны стремится к нулю. Донорные и акцепторные примеси смещают уровень Ферми таким образом, что создается неравновесное распределение электронов по энергиям. При этом существует вероятность того, что равновесное распределение восстановится путем спонтанных переходов электронов с излучением фотонов. Легче всего реализуются переходы по краям энергетических зон, т.е. излучение происходит в основном по следующему пути:

$$h\nu = E_g, \text{ тогда } \lambda_0 = ch / E_g,$$

где  $c$  – скорость света в вакууме;

$h$  – постоянная Планка.

Дальнейшее излучение происходит либо в отсутствие резонатора Фабри-Перо, и тогда мы получаем светоизлучающий диод, либо при сформированном резонаторе. При превышении порогового тока  $p$ - $n$  переход в присутствии резонатора начинает работать в режиме лазерного диода. Выражение для величины порогового тока известно (7)

$$J_{\text{пор}} = \frac{8\pi n^2 \Delta\nu D}{\eta_q \cdot \lambda_0^2} \cdot \left( \alpha + \frac{1}{L} \cdot \ln \frac{1}{R} \right). \quad (7)$$

где  $\eta_q$  – квантовая эффективность (типичное значение 0,5–0,7);

$n$  – коэффициент преломления материала;

$\Delta\nu$  – ширина полосы спонтанного излучения;

$D$  – диаметр тела свечения;

$\alpha$  – суммарные потери света в лазере;

$L$  – длина активной области ( $p$ - $n$  перехода);

$R$  – коэффициент отражения полупрозрачного (выходного) зеркала.

При воздействии ионизирующих излучений на активную область полупроводникового лазера происходят следующие процессы. В первый момент, т.е. в момент воздействия ИИ, за счет возбуждения электронов, находящихся вблизи краев энергетических зон, происходит уширение полосы спонтанного излучения  $\Delta\nu$ , что сопровождается увеличением тела свечения  $D$  и увеличением значения тока

через  $p$ - $n$  переход. После окончания воздействия ИИ за счет явлений, происходящих в диэлектриках и полупроводниках под воздействием ИИ, происходит увеличение суммарных потерь  $\alpha$  и изменение коэффициента отражения  $R$  в выходном зеркале, поскольку в оптических материалах под воздействием ИИ увеличиваются собственные потери. Вследствие этого значение плотности порогового тока  $J_{\text{пор}}$  возрастает. Рост плотности тока до определенного момента компенсируется цепями обратной связи, которые удерживают выходную оптическую мощность ЛД в заданных границах. После того, как значение тока ЛД превысит некоторую величину (определяется границами регулировки), схема управления ЛД по току через  $p$ - $n$  переход уже не сможет компенсировать потерю оптической мощности. Далее, поскольку ток через ЛД в процессе работы будет иметь максимально допустимое значение, начнется интенсивная тепловая деградация  $p$ - $n$  перехода, которая в конечном итоге приведет к выходу из строя всего устройства. На рис. 5 (вверху) видно начало этого процесса.

Реакция приемного модуля на воздействие ионизирующих излучений в корне отличается от реакции оптического тракта и реакции передающего модуля.

После воздействия излучения дозой  $\sim 1 \cdot 10^4$  Р наблюдается полное пропадание электрического сигнала на выходе фотоприемного модуля. Время, в течение которого выходной сигнал полностью отсутствует, составляет  $\sim 100$ – $150$  мкс и практически не зависит от экспозиционной дозы излучения. Время «пропадания» сигнала на выходе приемного модуля зависит главным образом от мощности дозы излучения. После окончания периода «пропадания» сигнала на выходе фотоприемного модуля появляется электрический сигнал в виде хаотических шумовых выбросов. Спустя еще  $\sim 10$  мс сигнал на выходе фотоприемного модуля восстанавливается полностью.

Наблюдаемый эффект можно объяснить тем, что в момент воздействия ионизирующего излучения в базе фотодетектора (в данном случае – обратно смещенного  $p$ - $n$  перехода) образуется большое число нескомпен-

сированных неосновных носителей заряда. Базовая цепь фотодетектора входит в режим насыщения. До тех пор, пока индуцированные ионизирующим излучением неосновные носители заряда не покинут базовую область, фотодетектор невосприимчив к входному оптическому излучению. Время разряда базовой цепи определяется параметрами самого приемного модуля, в первую очередь значением емкости обратно смещенного  $p$ - $n$  перехода и входным сопротивлением первого каскада усиления модуля. Таким образом можно объяснить эффект «независимости» времени записывания приемного модуля от суммарной экспозиционной дозы ионизирующего излучения. В целом реакция передающего и приемного модулей соответствует современным знаниям о взаимодействии ИИ с диэлектриками и полупроводниками.

После того, как были проведены экспериментальные исследования отдельных компонентов ВОСПИ, был поставлен интегральный эксперимент. В объеме активной зоны размещались все составляющие ВОСПИ, т.е. и передающий и приемный модули вместе с ВОК длиной  $100 \pm 5$  м размещались внутри активной зоны реактора. Типичная реакция ВОСПИ на импульс ионизирующего излучения приведена на рис. 6.

Рис. 6 представляет собой фотографию процесса с экрана осциллографа. Верхний луч показывает огибающую импульса ИИ. Сигнал, повторяющий мгновенное значение мощности экспозиционной дозы ИИ, выдает потребитель центральная аппаратная с пульта управления реактором. Нижний луч осциллограммы рис. 6 показывает реакцию ВОСПИ в целом на воздействие импульсного ИИ.

В данном эксперименте в качестве измерительного фотоприемного устройства использовался приемный модуль ВОСПИ, подвергнутой воздействию импульсного ИИ. Размещение ВОСПИ в активной зоне производилось таким образом, чтобы все составляющие ВОСПИ подвергались примерно одинаковому воздействию ионизирующего излучения. Реакция экспериментальной ВОСПИ показана в нижней части рис. 6.

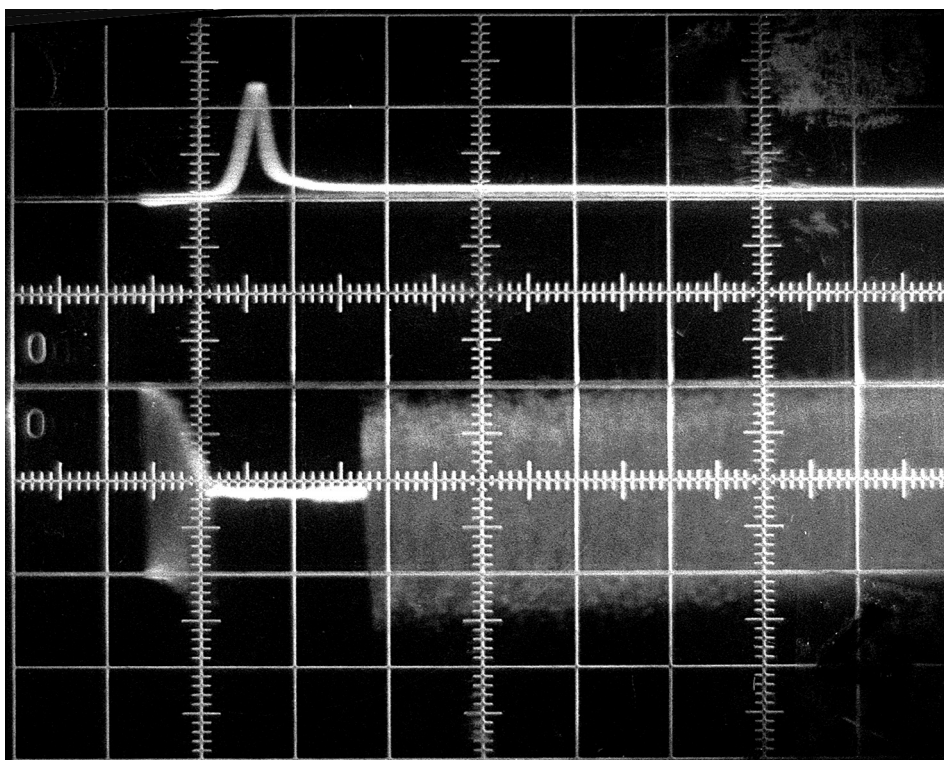


Рис. 6. Реакция ВОСПИ на импульсное воздействие ионизирующего излучения

В верхней части рис. 6 показана огибающая гамма-нейтронного импульса. Масштаб горизонтальной развертки по оси времени на рис. 6 равен 100 мкс/дел.

Как видно из рис. 6, интегральная реакция экспериментальной ВОСПИ в целом повторяет отклик приемного модуля на импульсное излучение. Реакция системы на воздействие является линейной суперпозицией откликов ее отдельных частей. Поскольку при воздействии ионизирующего излучения на передающий модуль мощность излучения последнего уменьшается на величину порядка 3–4 дБ, такое падение оптической мощности полностью компенсируется схемой АРУ приемной части ВОСПИ.

Восстановление пропускания оптического тракта в эксперименте происходит за время порядка  $10^{-4}$  –  $10^{-3}$  с. В течение этого промежутка времени уровень оптического сигнала на выходе передающего модуля падает на 3–4 дБ. Дальнейший сценарий развивается по схеме отклика приемного модуля.

Сигнал на выходе приемного оптического модуля прерывается на время порядка  $10^{-4}$  с за счет насыщения базовой области

фотодетектора. Затем, в течение времени порядка  $10^{-3}$  –  $10^{-2}$  с, продолжается шумоподобный процесс рекомбинации носителей заряда, индуцированных ионизирующим излучением. Через интервал времени  $10^{-2}$  –  $10^{-1}$  с «быстрые» переходные процессы в системе ВОСПИ заканчиваются. Система восстанавливает работоспособность. Суммарная экспозиционная доза излучения, при которой экспериментальная ВОСПИ сохраняла свою работоспособность (при этом не измерялось отношение сигнал/шум и не производилась оценка вероятности ошибки в процессе передачи сигнала), достигала величин  $5 \cdot 10^4$  Р.

Исходя из оценки поглощенных доз космической радиации, сделанных в работах [1, 2, 14], которым подвергаются КА, работающие на различных орбитах, и результатов эксперимента, можно сделать первый неутешительный вывод. Для КА, работающих на некоторых орбитах, например на орбитах КА типа «Молния», аппаратов «ГЛОНАСС» и КА на круговых орбитах  $H \approx 1500$  – 2000 км, экспозиционная доза облучения за САС свыше 10 лет приведет к отказу элементов бортовых ВОСПИ.

На других орбитах, например на орбитах пилотируемых КА, на стационарной орбите и на орбитах, пролегающих в «зазоре» между внутренним и внешним радиационными поясами Земли, возможно применение бортовых ВОСПИ с кабелями на одномодовых и градиентных оптических световодах. При этом дополнительная экранная защита требуется только для обеспечения штатной работы приемных и передающих оптических модулей. С учетом стенок корпуса КА (эквивалентная защита около  $1 \text{ г/см}^2$ ) дополнительное экранирование оптических модулей не приведет к излишнему увеличению массы КА. В качестве дополнительных элементов защиты будут выступать и отдельные элементы конструкции КА, между которыми происходит информационный обмен по волоконно-оптическим каналам.

Что касается «опасных», с точки зрения радиации, орбит, то в этом случае применение на борту световодов, использующих принцип полного внутреннего отражения, мало пригоден. Поскольку за 10 лет суммарная экспозиционная доза облучения составит величину  $10^6 - 10^7 \text{ Р}$  на поверхности КА, а, с учетом экранирующего действия корпуса, внутри КА эта доза составит  $10^5 - 10^6 \text{ Р}$ , то существующие в настоящий момент ОВ не способны обеспечить нормальное функционирование бортовых ВОСПИ. Следовательно, проблема радиационной стойкости сложных современных систем с применением кварцевых оптических световодов, к сожалению, не может быть решена путем вариативных свойств легирующих материалов, используемых в современных оптических световодах. Устойчивость оптических волноводов, реализованных на базе волноводных структур с различным показателем преломления в сердцевине и оболочке, к воздействию ионизирующих излучений ограничена свойствами вещества самих световодов и особенностями образования в нем квазистабильных квантовых псевдочастиц типа экситонов Ванье-Мотта (центров окраски) и экситонов Френеля (стабильные центры поглощения).

Решение этой почти неразрешимой проблемы, как полагают авторы, может ле-

жать в совершенно другой области. Начиная с 1996 г. активно исследуется новый тип волонных световодов – микроструктурные оптические волокна [1, 2]. Данный тип оптического волокна представляет собой двумерный набор полых оптических световодов. В случае периодического расположения отверстий оболочка дырчатых световодов имеет структуру двумерного фотонного кристалла (ФК), т.е. представляет собой периодический набор плотно упакованных полых стеклянных волокон. Благодаря периодическому расположению воздушных отверстий в стекле спектр пропускания подобной структуры для определенных направлений характеризуется наличием *фотонных запрещенных зон* – областей частот, на которых излучение не может проникать в оболочку световода. Сердцевина подобного волновода может содержать искусственно введенный дефект – либо в виде отсутствия отверстия, либо в виде отверстия, которое по диаметру превышает отверстия в оболочке. Подобные волноводы со структурой «фотонного кристалла» представляют значительный интерес и с точки зрения широкополосной передачи информации.

С физической точки зрения фотонные кристаллы или структуры с фотонными запрещенными зонами представляют собой новый тип искусственных структурно-организованных сред с пространственной периодичностью оптических характеристик, в которых элементарные кристаллические ячейки имеют размеры порядка оптической длины волны. Вследствие периодической модуляции их оптических свойств фотонные кристаллы характеризуются особыми режимами распространения световых волн в определенных интервалах длин волн и волновых векторов. В частности, фотонный кристалл с введенным протяженным дефектом может быть эффективной направляющей структурой. Дефект кристалла в этом случае играет роль отражающей границы и «запирает» свет в области дефекта.

Если в качестве дефекта выступает отсутствие отверстия, то подобные световоды называют *IG-волоконами* (*Index-guiding photonic crystal fiber*) или микроструктури-

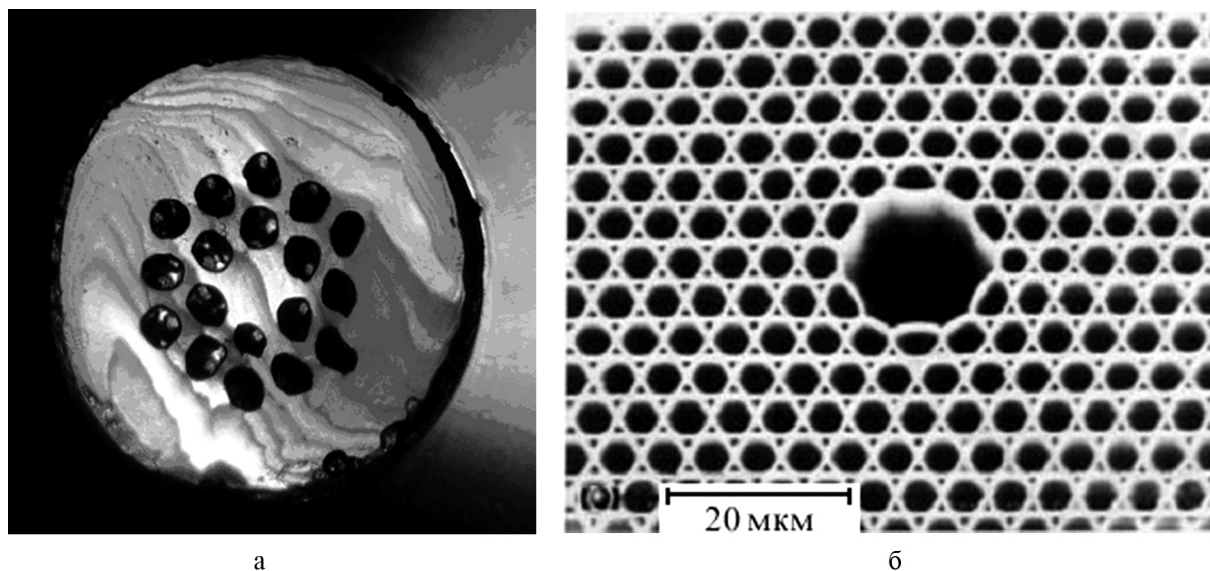


Рис. 7. Поперечное сечение ОВ со структурой фотонного кристалла: а – МОВ со структурой IG-волокна; б – МОВ со структурой PBG-волокна

рованными волокнами с модифицированным профилем показателя преломления.

Если в качестве протяженного дефекта используется отверстие большего диаметра, то микроструктурное оптическое волокно данного типа представляет собой фотонный кристалл, в котором свет распространяется вдоль искусственно введенного дефекта вида «отверстие большого диаметра». Распространение света вдоль решетки фотонного кристалла происходит за счет наличия фотонной запрещенной зоны, т.е. за счет многолучевой интерференции вытекающих мод [15]. Подобного рода ОВ в англоязычной литературе носят название *PBG-волокон (Photonic band gap fiber)*. Внешний вид таких микроструктурированных оптических волноводов показан на рис. 7.

Остановимся подробнее на свойствах *PBG-световодов*. Оболочка в виде периодической структуры с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$  (газ, заполняющий поры оболочки и стекло) образует фотонный кристалл.

Свойства собственных мод полых *PBG-световодов* определяются их геометрическими параметрами и коэффициентом отражения от структурированной оболочки.

Для таких световодов коэффициент затухания собственных мод волновода при условии многослойности оболочки ( $M \gg 1$ ) может быть записан в виде

$$\alpha_m^{PBG} \approx \frac{1}{2(n_2^2 - n_1^2)} \cdot \frac{(\lambda_m)^3}{t^4 n_1} \cdot \exp[-2(M-1)K'\Lambda], \quad (8)$$

где  $\Lambda$  – параметр фотонного кристалла, определяемый отношением диаметра отверстия в оболочке, к расстоянию между отверстиями.

Увеличение числа слоев в периодической структуре приводит к быстрому уменьшению волноводных потерь в оболочке. В центре фотонной запрещенной зоны в условиях, когда оптическая связь волноводных мод сердцевины и оболочки осуществляется путем туннелирования светового поля через протяженную структуру оболочки, потери волновода убывают экспоненциально с ростом числа слоев в оболочке. Как видно из выражения 8, доля вносимых потерь, определяемая собственно веществом *PBG-волокна* (значение  $n_1$ ) при числе слоев оболочки  $M \gg 1$  пренебрежимо мала. Из рис. 7б хорошо видно, что *PBG-волокна* по сути представляют из себя не вещественную, а «волноводную» структуру.

Следовательно, микроструктурированные световоды с полый сердцевиной наиболее предпочтительны для реализации бортовых ВОСПИ, которые работают в условиях больших экспозиционных доз радиации. Основные потери в полых микроструктурированных *PBG-световодах* определяются гео-



метрическими параметрами и длиной волны излучения. Доля материальных потерь, вносимых в общее затухание, крайне незначительна, поэтому стойкость *PBG*-волокон и оптических кабелей на их основе к воздействию ионизирующих излучений значительно выше, чем у оптических волокон, в которых распространение света происходит за счет формирования профиля показателя преломления в веществе.

### Заключение и выводы

Авторы разделяют мнение, что волоконно-оптические приборы и системы связи – ключевое направление развития информационных систем. Это мнение справедливо и для аппаратуры космического базирования. Применение волоконных световодов в качестве среды передачи не только снизит массо-габаритные характеристики бортовых систем, но и позволит существенно повысить скорость обработки информации. Появится возможность обработки первичной информации в реальном масштабе времени. За счет такой обработки первичного информационного потока удастся существенно снизить нагрузку на канал связи «орбита КА–Земля», что приведет к повышению эффективности всего космического комплекса в целом.

Радиационно-наведенное поглощение в оптических волокнах по современным представлениям обусловлено возникновением «центров поглощения» или «центров окраски», которые образуются на ионах легирующих примесей при облучении оптических волокон с распределенным по сечению профилем показателя преломления. Радиационно-возбужденное состояние таких центров окраски может сохраняться годами, за счет возникновения потенциальных «ловушек» в структуре световода. Меняя химический состав легирующих примесей, возможно несколько повысить радиационную стойкость световодов. Тем не менее, кардинальным образом разрешить возникшую проблему для световодов с распределенным по сечению показателем преломления не удалось.

Решение возникшей проблемы может быть найдено, если мы сможем создать

принципиально новую среду передачи оптического сигнала, свободную от недостатков, органически присущих «классическим» системам на базе оптических волокон с распределенным профилем показателя преломления. Такая среда передачи оптического сигнала была «найдена», а точнее, создана, на основе новых физических принципов.

Мы вправе ожидать значительного уменьшения РНП в *PBG*-волоконнах. Снижение РНП в бортовом волоконно-оптическом тракте по крайней мере в пределах одного-двух порядков позволит существенно повысить стойкость бортовых ВОСПИ к воздействию ионизирующих излучений космического пространства. Даже такая величина позволит довести время сохранения работоспособности ОВ на борту КА до 15–20 лет на «неблагоприятных» с точки зрения радиации орбитах.

### Библиографический список

1. Бурков, В.Д. Перспективы применения микроструктурных световодов для создания бортовых высокоинформативных систем передачи данных / В.Д. Бурков, С.В. Перминов, Н.А. Харитонов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2007. – № 2(51). – С. 23–28.
2. Бурков, В.Д. Применение современных оптических волокон для построения волоконно-оптических сетей в перспективных космических аппаратах / В.Д. Бурков, Ю.С. Капранов, С.В. Перминов и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 6. – С. 95–101.
3. Гуцин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов: учебник для вузов / В.Н. Гуцин. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.
4. Власова, Н.А. Система мониторинга радиационных условий в магнитосфере Земли на российских космических аппаратах связи, навигации и телевидения / Н.А. Власова, В.И. Верхотуров, О.С. Графодатский и др. // Космические исследования. – 1999. – Т. 37. – № 3. – С. 245–255.
5. ГОСТ 25645.138-86 Пояса Земли радиационные естественные. Модель пространственно-энергетического распределения плотности потока протонов.
6. ГОСТ 25645.139-86 Пояса Земли радиационные естественные. Модель пространственно-энергетического распределения плотности потока электронов.
7. Воронов, С.А. Пространственные распределения электронов и позитронов высоких энергий под радиационным поясом Земли / С.А. Воронов, А.М. Гальпер, С.В. Колдашев и др. // Космические исследования. – 1992. – Т. 30. – № 1. – С. 140–142.
8. Перминов, С.В. Анализ влияния ионизирующих излучений космического пространства на работо-

- способность и срок службы элементов волоконно-оптических систем передачи данных / С.В. Перминов // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2003. – Т. 8. – № 9. – С. 40–44.
9. Бурков, В.Д. Научные основы создания устройств и систем волоконно-оптической техники: монография / В.Д. Бурков, Г.А. Иванов. – М.: МГУЛ, 2008. – 332 с.
  10. Акишин, А.И. Космическое материаловедение: методическое и учебное пособие / А.И. Акишин. – М.: НИИЯФ МГУ, 2007. – С. 209.
  11. Васильев, А.В. Конвертор гамма-нейтронного поля импульсного ядерного реактора / А.В. Васильев, Н.Н. Ненадышин, А.А. Романенко // Вопросы атомной науки и техники. – 2008. – Вып. 2. – С. 76–82.
  12. А/с СССР № 1780076. Оптический соединитель – аттенюатор / С.В. Перминов, Ю.В. Аверьянов, и др. (Заявка № 4775416, Приоритет от 09.11.89 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 08.08.92г.).
  13. Ларин, Ю.Т. Оптические кабели: методы расчета конструкций. Материалы. Надежность и стойкость к ионизирующему излучению / Ю.Т. Ларин. – М.: Престиж, 2006. – 304 с.
  14. Перминов, С.В. Анализ влияния ионизирующих излучений космического пространства на работоспособность и срок службы элементов волоконно-оптических систем передачи данных / С.В. Перминов // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2003. – Т. 8. – № 9. – С. 40–44.
  15. Желтиков, А.М. Цвета тонких пленок, антирезонансные явления в оптических системах и предельные потери собственных мод полых световодов / А.М. Желтиков // УФН. – 2008. – Т. 178. – Вып. 6. – С. 619–629.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕБАЗИРУЕМОГО КОМПЛЕКСА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ «СЕЛЕНА ИТ» ПРИ ПРИЕМЕ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДЗЗ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

В.Д. БУРКОВ, *проф. каф. ИИС и ТП МГУЛ, д-р техн. наук,*  
М.В. ЧЕРЕМИСИН, *асп. каф. ИИС и ТП МГУЛ*

*burkov@mgul.ac.ru*

На сегодняшний день существует ряд удачных образцов мобильных комплексов приема и обработки данных ДЗЗ.

Основные проблемы развития российских наземных комплексов приема, обработки и распространения (НКПОР) состоят в ограничении технических возможностей ведомственных НКПОР по приему данных ДЗЗ с отечественных КА ДЗЗ; в отсутствии скоординированного подхода к техническому оснащению ведомственных НКПОР; в неполном покрытии российской территории зонами радиовидимости (прием в режиме непосредственной передачи с КА природно-ресурсного назначения только в европейской части Российской Федерации).

На сегодняшний день существует возможность приема данных из бортового запоминающего устройства КА только на 3–4 витках в сутки. Недостаточная скорость передачи существующих радиолиний ( $\leq 300$  Мбит/с) и ограничения по времени активной работы

(30–50 мин в сутки) КА природно-ресурсного назначения ограничивает внедрение информации ДЗЗ в отрасли народного хозяйства.

Разнородность пунктов приема информации по техническому оснащению вследствие разных производителей оборудования и высокая стоимость и технологическая сложность поставки крупногабаритных антенн с диаметром зеркала 7...12 м для массового потребителя существенно снижает доступность информации для массового использования.

В том числе к существенным проблемам можно отнести:

- отсутствие скоординированной системы внедрения и использования разработанных за бюджетные средства аппаратно-программных средств государственными потребителями;
- недостаточную унификацию аппаратно-программных средств приема и обработки информации;

- сложность оформления разрешительных документов на создание новых ППИ (пунктов приема информации) и на выполнение заявок на КИ с разрешением менее 2 м;

- отсутствие предполетной калибровки бортовой съемочной аппаратуры КА ДЗЗ, регулярной полетной внешней калибровки и валидации съемочной аппаратуры (СА) по тестовым участкам;

- отсутствие единого каталога данных ДЗЗ различной принадлежности, каталога распределенной базы спектральных характеристик природных объектов на региональной основе [3].

Ряд описанных проблем может быть решен средствами мобильных и перебазируемых ситуационных комплексов приема и обработки информации ДЗЗ.

#### **Возможные доработки перебазируемого комплекса телеметрических измерений «Селена ИТ» в качестве ситуационного центра планирования приема и обработки данных ДЗЗ**

ПКТИ «Селена ИТ» выполнен в моноконтейнерном исполнении с расположенной на крыше телеметрической антенной МАС-3 (рис. 1). Комплекс можно разбить на ряд модулей, которые имеют определенные задачи. Структурная схема приведена на рис. 2.

#### **Транспортно-операторский контейнер обеспечивает**

- в транспортном положении возможность размещения во внутреннем объеме всех аппаратных средств ПКТИ, включая антенную систему, с соблюдением установленных правил крепления для транспортировки;

- в рабочем положении возможность развертывания не менее пяти автоматизированных рабочих мест операторов: руководителя работ, оператора ПРА «Вектор», оператора антенной системы (АС), оператора экспресс-обработки (два);

- возможность автоматического поддержания температуры внутри контейнера в пределах от плюс 16 °С до плюс 30 °С при температуре окружающего воздуха от минус 40 °С до плюс 50 °С;

- возможность поддержания требуемых параметров жизнеобеспечения собственными системами климат-контроля (сплит-системами);

- возможность электропитания средств ПКТИ и жизнеобеспечения от собственных автономных источников электроэнергии непрерывно в течение восьми часов;

- возможность подключения трехфазной внешней сети электропитания 380/220 В и антенных систем через бортовые переходные панели;

- возможность установки (съемы) на автошасси с использованием собственного автономного погрузочно-разгрузочного устройства и развертывания на необорудованных площадках силами обслуживающего персонала.

#### **Сборно-разборная транспортируемая антенная система обеспечивает**

- одновременный прием телеметрических сигналов двух поляризацій в диапазонах М1, М2, М3, Д1, Д2 и Д4 с развязкой между поляризационными каналами не хуже минус 20 дБ;

- передачу ВЧ сигнала по кабелю на расстояние не менее 50 м с ухудшением шумовых характеристик не более чем на 0,4 дБ;

- эффективную поверхность не менее 3 м<sup>2</sup> в дециметровом диапазоне и не менее 2 м<sup>2</sup> – в метровом.

Выходные параметры АС совместимы с линейным трактом ПРА «Вектор».

АС транспортируется в транспортно-операторском контейнере в штатной упаковке на специальных укладочных местах.

Динамические характеристики АС обеспечивают сопровождение ракетносителя в рабочих областях.

#### **Приемо-регистрационная аппаратура (ПРА) обеспечивает**

- прием 2-х (4-х, 6-ти) потоков ТМИ в структуре кадров БА «Пирит», «РТС-9Ц», «РТС9 КИМ-Ц», «СКУТ» («СИРИУС»), «ОРБИТА IV МО»:

- выделение синхросигналов из принятого потока ТМИ;

- преобразование информации и формирование кадра регистрации ТМИ для обеспечения ввода ее в ПЭВМ;



Рис. 1. Внешний вид ПКТИ «Селена ИТ» (разработка ОАО «НПО Измерительной техники»)

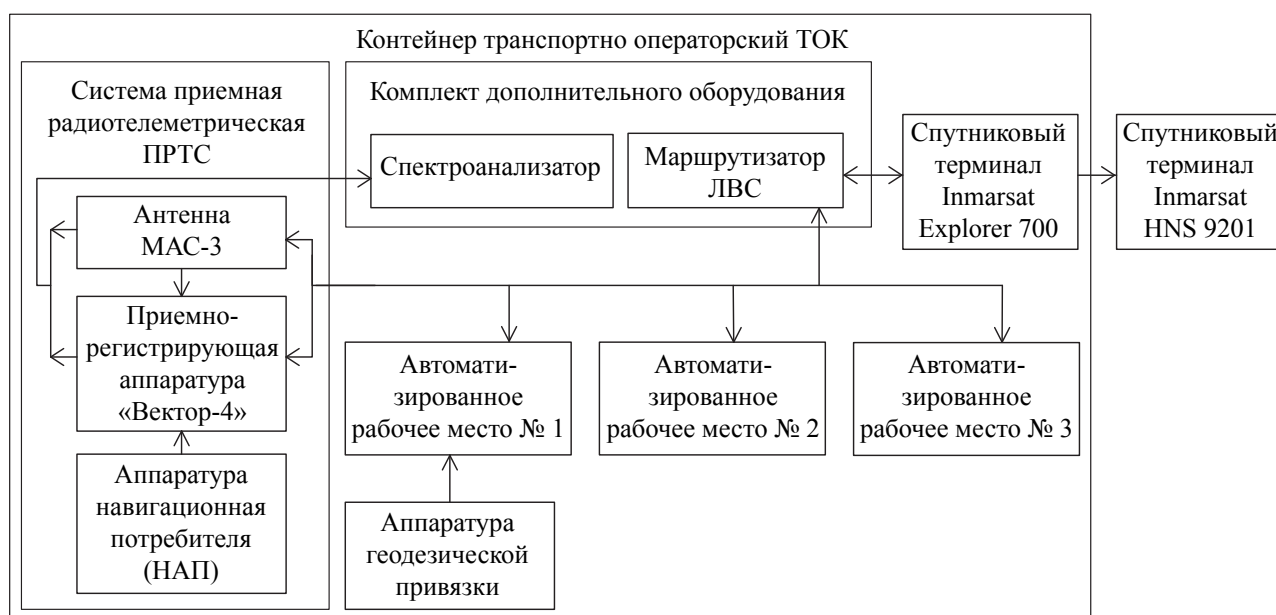


Рис. 2. Структурная схема на ПКТИ «Селена ИТ»

- формирование сигналов временной привязки ТМИ;
  - регистрацию ТМИ на накопитель на жестком магнитном диске, архивирование информации на оптическом диске (DVD) и воспроизведение потока ТМИ в сопровождении сигналов времени;
  - декоммутацию кадра ТМИ;
  - информационный контроль и предварительную обработку ТМИ с визуальным и документальным представлением результатов на периферийных средствах ПЭВМ;
  - выдачу принимаемой информации на внешние компьютеры в структуре локальной сети Ethernet посредством сетевого протокола UDP в процессе приема, регистрации ТМИ и при воспроизведении зарегистрированной информации;
  - управление режимами работы и контроль функционирования аппаратуры средствами ПЭВМ;
  - вторичное электропитание устройств аппаратуры.
  - непрерывную регистрацию принимаемых потоков ТМИ до 15 мин;
  - автоматизированный мониторинг состояния и работоспособности технических средств ПРА, в том числе ВЧ-тракта с использованием собственного ВЧ имитатора;
  - чувствительность не хуже 12 мкВ, в случае представления информации в четырехпозиционном коде при соотношении сигнал/помеха минус 10 дБ;
  - чувствительность не более 30 мкВ на входе приемных устройств и не более 10 мкВ с учетом входных устройств антенных систем при вероятности ошибки приема информации на символ  $10^{-5}$  –  $10^{-6}$  для цифровых БРТС («РТС-9Ц», «РТС-Ц», «Орбита-IVMO», «Пирит»);
  - чувствительность не хуже 10 мкВ, в случае приема аналоговой информации, при этом погрешность сигнала 1000 Гц не более 7 %;
  - динамический диапазон входных радиосигналов приемного устройства не менее 80 дБ;
- Навигационно-геодезическая аппаратура обеспечивает**

- определение в реальном масштабе времени трехмерных координат местонахождения ПКТИ в геоцентрической системе координат с ошибкой, не превышающей 15,0 м, определение высоты с ошибкой, не превышающей 20,0 м;
- определение направления на север с точностью, не превышающей 30 уг.мин;
- формирование импульса временной привязки с погрешностью, не превышающей 1 мс и выдачу меток времени в ЛВС;
- отображение в графическом и цифровом виде на экране АРМ оператора ПРА необходимой информации: результатов навигационных определений, состояния рабочих каналов и т.д.;
- навигационно-геодезическая аппаратура строится на базе серийной отечественной аппаратуры и обеспечивает работу со структурами сигналов систем «Глонасс»/»GPS».

В составе ПКТИ навигационно-геодезическая аппаратура решает три задачи в составе функциональных подсистем:

- 1) определение координат и высоты точки стояния АС – расчет целеуказаний для АС;
- 2) привязка «нулевой» риски основания АС к направлению на север – обеспечение работы системы управления АС;
- 3) частотно-временная синхронизация ЛВС ПКТИ, временная привязка измерительной информации, временная синхронизация системы управления АС.

#### **Анализ требований к АРМ оперативной обработки ТМИ**

АРМ оперативной обработки ТМИ выполнен на базе ПЭВМ с характеристиками:

- процессор Core 2 Duo 1,6 ГГц;
- оперативная память 1 Гб DDR2;
- жесткий диск 250 Гб;
- видеокарта 512 Мб;
- сетевая карта Ethernet 100/1000;
- экран – жидкокристаллическая панель 15»;
- DVD-ROM.

Т а б л и ц а 1

Устройство	Текущие основные возможности	Необходимые требования
<b>Малогабаритная антенная система (МАС-3)</b>	Программное наведение и прием телеметрии в диапазоне частот: М1, М2, М3, Д1, Д2 и Д4	Программное наведение АС, заблаговременное планирование сеансов приема информации с КА ДЗЗ. Диапазон рабочих частот: X,L
<b>Приеморегистрирующая аппаратура «Вектор»</b>	<p>Прием телеметрии структур бортовой аппаратуры на рабочих частотах диапазонов волн: М1, МП, МПШ, Д1, ДШ, ДУВ.</p> <p>Прием потоков ТМИ в структуре кадров «Скут» («Сириус»), «Пирит», «РТС-9Ц», «РТС-Ц», «РТС-9 КИМ-Ц», «РТС-9 ВИМ», «РТСЦ-М2», «Орбита-IVМО».</p> <p>Демодуляция принятых радиосигналов; выделение синхросигналов из принятого потока ТМИ; преобразование форм-и и формирование сигнала регистрации ТМИ для обеспечения ввода ее в ПЭВМ; формирование сигнала временной привязки ТМИ; регистрация ТМИ на накопитель на жестком магнитном диске, перезапись информации на оптический диск (DVD), и воспроизведение потока ТМИ в сопровождении сигналов времени; декодирование кадра ТМИ.</p>	<p>Широкополосный прием данных в X,L диапазонах.</p> <p>Входная частота: 2x 720 МГц ±200 МГц, 1x 1.2 ГГц ±300 МГц. Диапазон синхронизации с несущей ±10 kHz to ±1МГц. Демодуляция и битовая синхронизация. Поддерживаемые схемы BPSK, QPSK, O/S QPSK. A/U QPSK, 8PSK, GMSK, 16APSK, 16QAM. Битовая скорость приема от 500 кбит/сек до 2 Гбит/сек. Декодирование Сверточное : 4D-TSM (мультиплексор канала связи) (2/3 и 2.5/3) Витерби. Стековый Витерби (SNUG). Пост обработка: LDPC 7/8 Nasa LDPC 1/2 Nasa (AR4JA)</p>
<b>АРМ приема и обработки информации</b>	<p>На базе промышленно защищенного ноутбука.</p> <p>Процессор Intel Core 2 Duo 2260 МГц Pentium (P8400), Шина 1066 МГц 3 Мб L2 Cache, Оперативная память 4 Гб DDR2-800МГц, Экран 15.4» TFT Matовый (No Glare), Разрешение (1280x800) WXGA, Видеокарта Intel GMA X3100, +384 Мб, Звуковая карта Intel High-Definition Audio, Жесткий диск HDD 250.0GB (5400 rpm), SATA, CD привод DVD±RW (DL). Связь 56k modem, lan 10/100/1000. Беспроводная связь Bluetooth, WiFi (802.11a/b/g). Порты 4xUSB, Kensington security, Line-out, FireWire (IEEE 1394), COM, Mic-in, VGA. Слоты расширения PCMCIA type II, Card Reader (SD) Батарея Li-Ion 7200 мАч (до 7 часов). Вес 3.35 кг Цвет:Корпус (Д x Ш x В): 350x280x49 мм Операционная система MS Win XP Professional RU</p>	<p>Компьютер стоечного варианта, основные параметры:</p> <p>АРМ приема 4U/19"/4xPCI Express-16/ Процессор Core 2 Duo E7400 2.8 ГГц, / Оперативная память 4Gb DDR2/ Связь Gb LAN/. Жесткий диск 2x500Gb SATA HotSwap/ RAID 0,1/. Привод DVD-RW/ Резервный источник питания. Операционная система MS Win XP Professional RU. АРМ обработки. 4U/19"/не ниже: 2xIntel Quad Core Xeon 5335 2.0 ГГц/ Оперативная память 4Gb DDR2 FB DIMM/ Связь 2xGb LAN. Жесткий диск 2x1T6 SATA HDD HotSwap/RAID 0,1/. Привод DVD-RW. Для АРМ хранения данных используется жесткий диск объемом порядка 12x2T6 SATA HotSwap</p>
<b>Программно-математическое обеспечение</b>	<p>ПО ПРА «Вектор» осуществляет регистрацию потоков телеметрической информации, поступающих на аппаратную часть аппаратуры «Вектор»; оперативную декодирование и отображение потоков телеметрической информации; оперативное отображение состояния приемного тракта; воспроизведение ранее зарегистрированных потоков телеметрической инфо-ции; проверку целостности ПО «Вектор»; тестирование специализированной аппаратной части аппаратуры «Вектор».</p> <p>ПМО «АРМ ПКТИ»: – регистрация потоков телеметрической информации (ТМИ); – ретрансляция потоков ТМИ; – оперативной декодирования и отображения потоков ТМИ; – оперативное отображение состояния приемного тракта; – воспроизведение ранее зарегистрированных потоков телеметрической информации;</p>	<p>Программное обеспечение делится: – ПМО приема и оперативного контроля качества принимаемой информации; – ПМО – ПМО предварительной обработки информации; – ПМО вторичной обработки (типа ERDAS Imagine Professional leica photogrammetry suite, ArcGIS); – ПМО многокритериальной оценки, прогнозирования и планирования для поддержки принятия управленческих решений</p>

Специальное программно-математическое обеспечение АРМ оперативной обработки ТМИ выполняет:

- ввод в ПЭВМ и дешифрацию структур ТМИ БРС-4 («Скут», «Сириус»);
- визуальный контроль качества принимаемой и регистрируемой информации;
- экспресс-обработка заданных параметров (в том числе навигационных) с привязкой результатов обработки к станционному или бортовому времени;
- выдачу на экран ПЭВМ результатов экспресс-обработки ТМИ для ведения репортажа;
- запись входного полного потока ТМИ и результатов его обработки в сопровождении сигналов времени в архивную систему;
- чтение запрашиваемой информации из архивной системы, отображение ее на экране ПЭВМ и выдачу потребителям;
- перезапись из архивной системы полного потока принимаемой ТМ информации, кода текущего времени и результатов обработки ТМИ на магнитооптический диск (МОД), CD-RW или DVD;
- контроль принимаемого сигнала по отображению отдельных выбранных параметров информации на экране ПЭВМ.

Следует отметить, что в настоящее время производителями предлагается весьма широкий выбор базовых компьютеров. В ПКТИ АРМ оперативной обработки и АРМ руководителя работ реализованы на базе промышленных защищенных ноутбуков.

При доработке комплекса под цели приема и обработки информации ДЗЗ необходимо оценить все необходимые технические требования, основываясь на опыте изученных аналогов, максимально используя особенности собственной концепции построения (модульность, моноконтейнерная реализация, транспортабельность).

Основные элементы комплекса ПКТИ, которые необходимо заменить или модернизировать под новый класс задач, отражены в табл. 1.

Анализ требований по модернизации ПКТИ под задачи ситуационного центра на основе информации ДЗЗ выделил основ-

ные мероприятия по доработке комплекса: модернизация антенной системы МАС-3 под X,L диапазон частот (высокочастотные облучатели, зеркало высокого качества исполнения); разработка или модернизация приемника «Вектор» под входные частоты 720 МГц  $\pm$ 200 МГц, 1.2 ГГц  $\pm$ 300 МГц с возможностью декодирования сигналов различных схем модуляции BPSK, QPSK, O/S QPSK, A/U QPSK, 8PSK, GMSK, 16APSK, 16QAM; использование в качестве АРМ приема и обработки информации компьютеров промышленного исполнения в 19 дюймовых стойках с мощными вычислительными возможностями (многоядерные) и возможностью хранения больших объемов данных (терабайты информации).

#### **ПКТИ «Селена ИТ» при решении задач мониторинга природных процессов и оперативного управления в рамках системы с Web-ГИМС технологиями**

Описанные в работах [2, 3, 4] общие принципы и концепция построения систем на основе Web-ГИМС технологий позволяет рассмотреть возможность использования перебазируемого комплекса «Селена ИТ» при решении задач оперативного мониторинга природных процессов и формирования управленческих решений на основе информации ДЗЗ. Изменение функциональных возможностей комплекса влечет за собой изменение его общего названия, которое предполагается как перебазируемый ситуационный центр планирования (ПСЦП) «Селена ИТ». Основываясь на обработанной спутниковой информации, комплекс может использоваться при решении задач МЧС по ликвидации стихийных бедствий (рис. 4).

Система на основе Web-ГИМС технологий подразумевает взаимосвязь ПСЦП с силами оперативного реагирования МЧС, дислоцируемыми в зоне чрезвычайной ситуации, получая от них ответные натурные данные по текущей ситуации. Затем данные могут передаваться в научный центр контроля и разработки Web-ГИМС, имеющий мощные вычислительные ресурсы для анализа и прогнозирования ситуации.

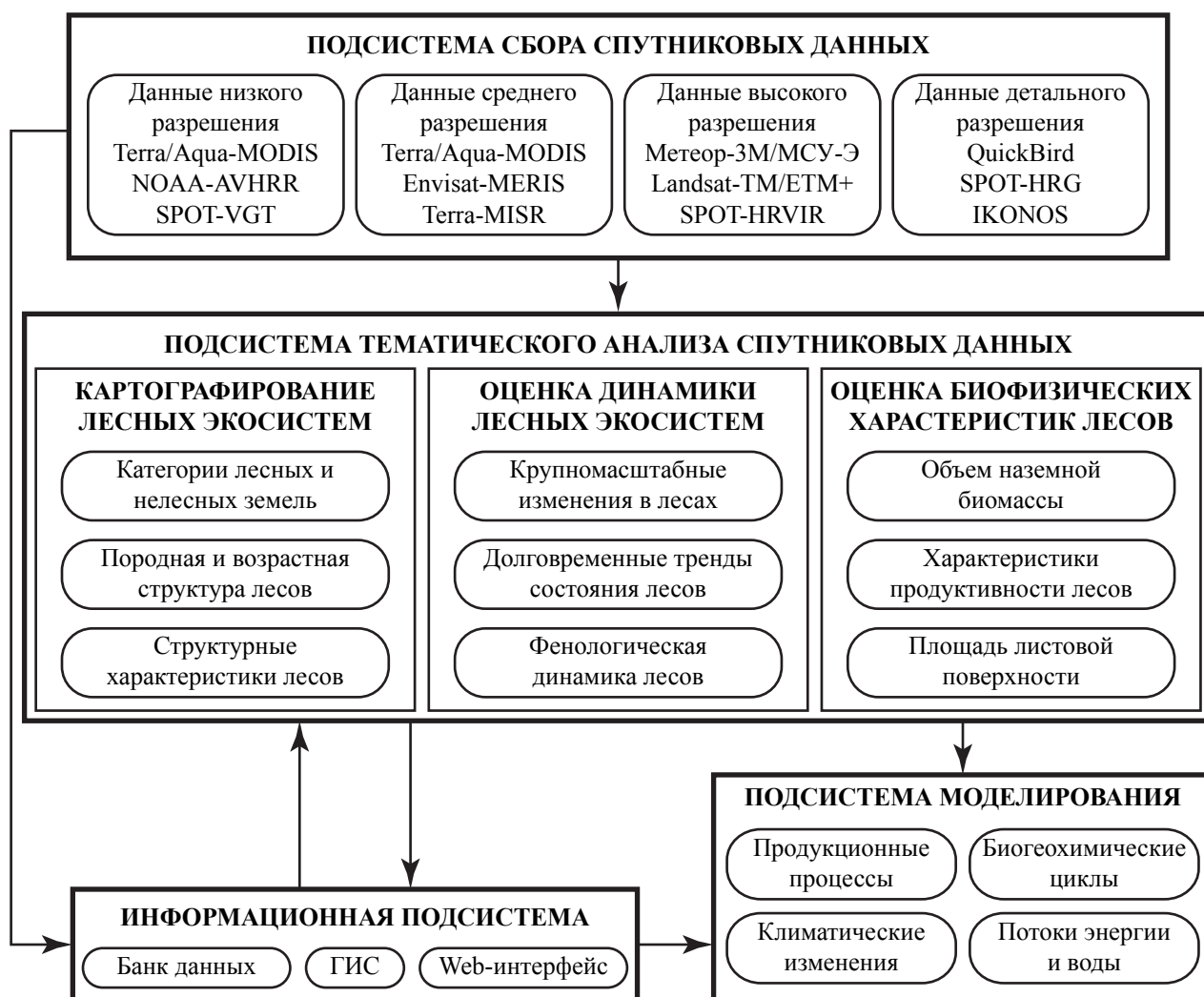


Рис. 3. Структура системы спутникового мониторинга лесов [1]

На сегодняшний день прослеживаются тенденции расширения границ исследований в области спутникового мониторинга лесов. Это связано с растущим интересом к глобальным экологическим проблемам, появление некоторых из них зависит от состояния лесных экосистем напрямую (проблемы глобального изменения климата, снижение биоразнообразия, водоохраны). Мониторинг лесов с получением объективных оценок их состояния необходим для эффективного прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Разработанные методики и структуры систем мониторинга лесов в работах [1] отражают принципы реализации концепции Web-ГИМС, которая, в свою очередь, может распространяться не только на проблемы, связанные с лесной отраслью, но и при решении других глобальных

задач (загрязнение мирового океана, таяние арктических ледников и др.). Структурная схема системы спутникового мониторинга лесов, изображенная на рис. 3, вносит существенный вклад в декомпозицию этих задач на этапе проектирования.

Применение Web-технологий дает возможность привлекать (при оперативной необходимости) опыт сторонних разработчиков и организаций, их масштабируемые вычислительные ресурсы, базы данных и знаний. Проверка существующих математических моделей различных природных процессов и разработка новых осуществляется на основе собранной информации в научном центре контроля и разработки Web-ГИМС. Научная работа в рамках центра несет стратегическое, в большинстве случаев, долго-



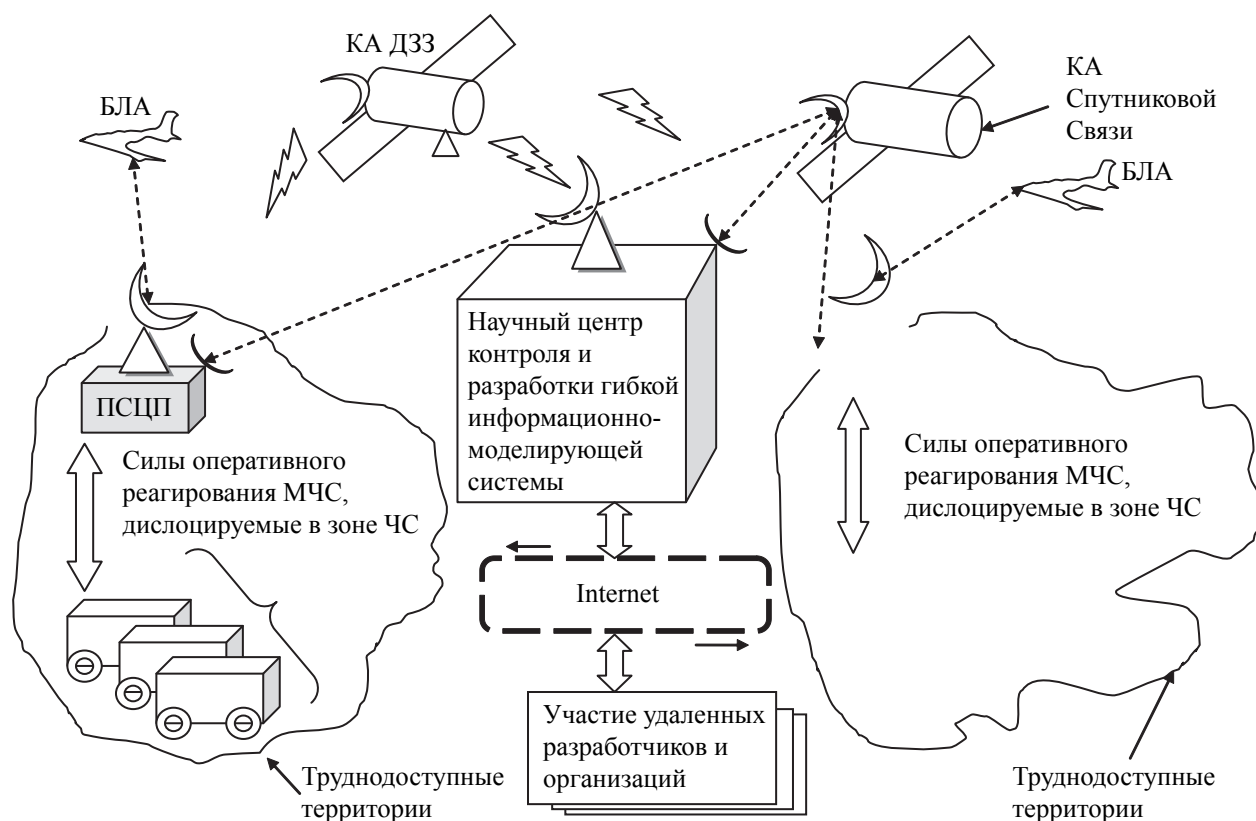


Рис. 4. Схема использования ПСЦП «Селена ИТ» в рамках Web-ГИМС

срочное развитие определенной реализации Web-ГИМС, а оперативное планирование и мониторинг конкретной территории для решения текущих задач осуществляется в рамках ПСЦП.

Расчет группы ПСЦП, состоящий из пяти человек, выполняет ряд конкретных задач, который в зависимости от ситуации и вида ЧС формируется на этапе переброски в научном центре контроля и разработки Web-ГИМС. Подготовка расчета должна иметь как ряд общих положений, так и разделение по специфике ЧС. Это обусловлено сложностью и индивидуальностью процессов, в которых предполагается работа расчета. Методы подготовки специалистов на основе классификации контролируемых процессов (чрезвычайные, природные, социально-экономические, военно-тактические и т.д.) для ситуационных центров планирования требуют отдельных научных исследований.

Особого внимания требует система связи между ПСЦП и научным центром. Инфраструктура высокоскоростного доступа к

сети Интернет в России на сегодняшний день развита, главным образом, в больших городах. Потребности в доступе к независимому от местоположения каналу вызвана спецификой решаемых задач, возложенных на ПСЦП «Селена ИТ». Решение этих проблем возможно при использовании современных высокоскоростных систем спутниковой связи. Анализ рынка существующих систем спутниковой связи (ССС) высокоскоростной передачи данных для российского рынка пользователей привел к рассмотрению двух основных коммерческих СССР: VSAT и INMARSAT. Существует ряд основных отличий (табл. 2), которые являются существенными при выборе СССР.

Эффективность принятия управленческих решений обусловлена достоверностью и оперативностью поступления информации об объекте. В качестве средств получения информации могут использоваться не только натурные испытания и обработка снимков ДЗЗ, но и мониторинг с помощью БЛА (беспилотных летательных аппаратов).

ССС	VSAT	INMARSAT
Карта покрытия	95 % территории России, СНГ, Восточная Европа.	Глобальное мировое, от 70° ю.ш. до 70° с.ш.
Скорость приема/передачи информации	до 4 Мбит/с в обратном канале и до 45 Мбит/с в прямом канале	до 492 Кбит/с (симметричный канал)
Цена минимального комплекта оборудования	От 3 000 \$	От 6 000 \$
Цены тарификации	Безлимитный тариф от 600 \$ в месяц	От 6\$ и выше за 1 мегабайт

Комплекс воздушного мониторинга окружающей среды имеет важное значение для оперативного контроля состояния окружающей среды путем анализа текущих данных видеонаблюдения и аэрофотосъемки в дневное время и сумерки.

При помощи функционала ПСЦП в качестве наземной станции управления (НСУ) можно получать видеоизображение, передаваемое БЛА, фотоснимки, навигационную информацию (высота, скорость, удаление от точки старта и пр.). НСУ позволяет управлять БЛА как в автоматическом режиме (полет по заранее заданному маршруту), так и в ручном, осуществляя отклонения от маршрута, пролеты и кружения над точкой, изменение высоты и скорости движения, изменение угла обзора камер.

Принимаемый сигнал может обрабатываться системой технического зрения, позволяющей выделять в поле зрения ряд объектов, отличающихся внешним видом, например цветом. Кроме видео и фото могут использоваться и другие анализаторы физико-химических свойств воздуха. Управление осуществляется по командам пилота, находящегося на земле и использующего отдельную видеокамеру для обзора движения. Радиус патрулирования БЛА может достигать 1500 км, ограничиваясь дальностью действия антенной системы. Антенная система в ПСЦП «Селена ИТ», одной из задач которой является прием информации ДЗЗ, должна иметь возможность принимать информацию с БЛА и управлять БЛА в зависимости от выбора текущей тактики мониторинга. Таким образом, требования к АС для ПСЦП должны исходить из факта ее возможной работы

как приемо-передающей антенны (особенность работ приемо-передающей антенны). Наведение антенной системы для управления и контроля телеметрии БЛА должно выполняться на основании автосопровождения по равносигнальной зоне или принципу навигационной коррекции по телеметрии объекта, так как объект обладает существенной динамикой в отличие от спутников ДЗЗ.

#### Библиографический список

1. Барталев, С.А. Разработка методов оценки состояния и динамики лесов на основе данных спутниковых наблюдений: автореф. дис. ... д-ра тех. наук / С.А. Барталев. – М., 2007. – 48 с.
2. Басков, Р.С. Использование мобильного ситуационного центра планирования, приема и обработки данных космической съемки в борьбе с лесными пожарами / Р.С. Басков // Геоматика. – 2010. – № 3. – С. 72–74.
3. Бурков, В.Д. Технология гибких информационно-моделирующих систем как инструмент исследования последствий антропогенного воздействия на лесные экосистемы. / В.Д. Бурков, В.Ф. Крапивин, В.С. Шалаев и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – № 7. – С. 10–20.
4. Бурков, В.Д. Экоинформатика: алгоритмы, методы и технологии: монография / В.Д. Бурков, В.Ф. Крапивин. – М.: МГУЛ, 2009. – 432 с.
5. Бурков, В.Д. Технология гибких информационно-моделирующих систем в микроволновом мониторинге природных процессов / В.Д. Бурков, М.В. Черемисин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – № 5. – С. 161–171.
6. Савиных, В.П. Информационные технологии в системах экологического мониторинга / В.П. Савиных, В.Ф. Крапивин, И.И. Потапов. – М.: ООО «Геодескартиздат», 2007. – 392 с.
7. Носенко, Ю.И. Единая территориально распределенная информационная система дистанционного зондирования Земли – проблемы, решения, перспективы / Ю.И. Носенко, П.А. Лошкарев // Геоматика. – 2010. – № 3. – С. 35–42.

## МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ УГРОЗУ СТОЛКНОВЕНИЯ С ОРБИТАЛЬНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

М.А. КОНДРАШИН, *асп., инженер I категории баллистико-навигационного отдела ЦУП ЦНИИМАШ,*

В.А. СКОРНЯКОВ, *доц. каф. информатики и вычислительной техники МГУЛ, канд. техн. наук*

*ufkon@rambler.ru*

Наблюдение за космическим пространством в зонах полета управляемых космических аппаратов (КА) в настоящее время становится одной из приоритетных задач, поскольку только ее эффективное решение обеспечивает возможность существенного повышения безопасности космических полетов, в том числе и Международной космической станции (МКС). В настоящее время в каталогах наблюдений за космическим пространством представлены данные по более чем четырнадцати тысячам объектов.

Под «космическим мусором» в рамках данной статьи понимается потенциально опасный космический объект, который может быть причиной ущерба функционирующим космическим аппаратом при столкновении с ним.

В настоящее время технология обнаружения возможных опасных сближений основывается на так называемом «прямом методе». Суть его состоит в том, что на определенном временном интервале с заданным шагом вычисляются взаимные расстояния между контролируемым и потенциально опасным объектами. Такая процедура выполняется применительно ко всем объектам «космического мусора», содержащимся в каталоге. При этом на множестве получаемых оценок определяются минимальные взаимные расстояния и выбираются те, значения которых меньше допустимых. Реализация «прямого метода» представляется весьма трудоемким процессом, требующим существенных затрат машинного времени.

Проведенные исследования и соответствующая модификация метода позволили существенно повысить скорость вычислений за счет использования специального «фильтра предварительной обработки данных». При этом процесс фильтрации разбивается на три этапа.

На первом этапе выделяются те объекты, орбиты которых лежат «внутри» или «снаружи» орбиты контролируемого объекта. Такие объекты классифицируются как безопасные и в дальнейшем не принимаются в расчет.

На втором этапе фильтрации исследуются геометрические параметры орбит. При этом определяются проекции орбит на виртуальную геоцентрическую сферу, радиус которой равен максимальному апогею рассматриваемых объектов, и находится расстояние между орбитами в точках пересечений рассматриваемых проекций. Для определения этого расстояния находятся дуги сферических треугольников, образованные следами орбит на сфере. В данной процедуре используются значения геометрических параметров орбиты, включающие: эксцентриситет, долготу восходящего узла, большую полуось, наклонение и долготу перицентра. На основе полученных расчетов определяется состав объектов, представляющих потенциальную опасность для заданного космического аппарата и подлежащих дальнейшему исследованию.

Проведенные расчеты и экспериментальная проверка показали, что разработанный «фильтр» на рассматриваемом этапе позволяет отсеять до 50 % объектов, не представляющих угрозу для контролируемого объекта. При этом обнаружено, что критическая величина расстояния между различными классами орбит зависит от эксцентриситетов этих орбит, причем для орбит с малым эксцентриситетом величина порога уменьшается, а для более вытянутых орбит – возрастает.

На третьем этапе вычисляются угловые расстояния между объектами в точках минимального сближения. С этой целью определяется время попадания контролируемого объекта в найденные на втором этапе точки и находятся

эксцентриская аномалия и драконический период орбиты контролируемого КА.

Эксцентриская аномалия находится исходя из следующего соотношения

$$\operatorname{tg} \frac{E}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \cdot \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2},$$

где  $\vartheta$  – истинная аномалия орбиты.

По полученному значению эксцентриской аномалии находится момент времени прохождения опасной точки на первом суточном витке

$$t = \tau + ((E - e \sin E) / \lambda),$$

где  $\tau$  – время прохождения рассматриваемого тела через перицентр орбиты;

$\lambda$  – находится из формулы

$$\lambda = \frac{\sqrt{\mu}}{a^{3/2}},$$

где  $\mu$  – коэффициент, равный произведению гравитационной постоянной на массу земли;

$a$  – большая полуось орбиты.

Драконический период орбиты характеризует время между двумя последовательными прохождениями рассматриваемого объекта через восходящий узел орбиты. Его значение позволяет определить время прохождения объектом одного витка и, соответственно, количество витков за сутки. С учетом того, что геометрические параметры орбиты с течением времени изменяются незначительно (по статистическим данным наблюдений, например для МКС за полгода большая полуось изменилась на 11 км; эксцентриситет на 0,00025; наклонение  $0,12^\circ$ ), принимается, что точка минимального расстояния на следующем витке

смещается незначительно. Отсюда время прохождения данной точки объектом на каждом суточном витке может быть определено путем прибавления драконического периода ко времени, в котором базовый объект проходит данную точку на предыдущем витке.

Для каждого объекта в найденные моменты попадания в опасную область находится угол, определяющий положение объекта на орбите (параметр  $U$ ). При этом, если разность данных углов не превышает допустимое критическое значение, то исследуемый объект считается не опасным.

Разработанный фильтр, основанный на рассмотренных принципах, позволяет отсеивать до 90 % объектов, являющихся безопасными для рассматриваемого КА, при этом сокращается время расчетов более чем в пять раз по сравнению с «прямым методом». Состоятельность полученных результатов подтверждена практической обработкой представленного метода на реальных данных в процессе экспериментальной обработки.

#### Библиографический список

1. Хуторовский, З.Н. Методы предупреждения столкновений в космосе / З.Н. Хуторовский, В.Ф. Фатеев, С.А. Суханов и др. // Успехи современной радиоэлектроники. – М.: 2009. – № 4. – С. 21–25.
2. Гетман, М. «Космический мусор» страшнее кинетического оружия / М. Гетман // Военный парад. – 2007. – № 2, С. 28–30.
3. Колегов, Г.А. Избранные разделы космической баллистики искусственных спутников Земли / Г.А. Колегов. – ЦНИИмаш, 2007. – С. 94–101.
4. Эльязберг, П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников земли / П.Е. Эльязберг. – М., 1965. – С. 107.

## К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДВОИЧНЫХ ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГИСТРА СДВИГА

М.И. РОЖКОВ, доц. каф. информационной безопасности Московского государственного института электроники и математики (Технического университета), канд. физ.-мат. наук

[alexloss@miem.edu.ru](mailto:alexloss@miem.edu.ru)

В данной работе будут использоваться следующие обозначения:  $F_2$  – поле из двух элементов  $\{0, 1\}$ ;  $(F_2)^n$  – пространство двоичных векторов длины  $n$ ;  $(f_1, f_2, \dots, f_m)$  – задание преобразования  $(F_2)^n \rightarrow (F_2)^m$

в виде системы координатных функций;  $\delta_L$  – подстановочное преобразование векторов пространства  $(F_2)^n$ , осуществляемое регистром сдвига с аффинной функцией обратной связи

$$L = L(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n b_i x_i + b_0, \quad b_i \in \{0, 1\},$$

$b_1 = 1$ , действующее на вектор  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in (F_2)^n$  по правилу

$$\delta_L(x_1, x_2, \dots, x_n) = (x_2, x_3, \dots, x_n, L(x_1, x_2, \dots, x_n));$$

$\langle f, \delta_L \rangle$  – отображение  $(F_2)^n \rightarrow (F_2)^n$  задаваемое следующей системой координатных функций

$$\langle f, \delta_L \rangle = \langle f, \delta_L \rangle(x) = (f(x), f(\delta_L(x)), \dots, f(\delta_L^{n-1}(x))), \quad x \in (F_2)^n.$$

В настоящей работе рассматриваются вопросы выбора нелинейной функции  $f: (F_2)^n \rightarrow F_2$  а также аффинной функции  $L$ , при которых отображение  $\langle f, \delta_L \rangle$  является биективным.

В соответствии с [4] систему (множество) булевых функций от  $n$  переменных  $(f_1, f_2, \dots, f_m)$ ,  $m \leq n$ , будем называть ортогональной, если при любых двоичных  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  система уравнений  $\lambda_j = f_j(x)$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , имеет ровно  $2^{n-m}$  решений в  $(F_2)^n$ .

Так как в случае биективности отображения  $\langle f, \delta_L \rangle$  (и только в этом случае) система уравнений

$$\lambda_i = f(\delta_L^{i-1}(x)), \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (1)$$

имеет ровно  $2^{n-k}$  решений при любых

$$k \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ и } (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k) \in (F_2)^k,$$

то биективность отображения  $\langle f, \delta_L \rangle$  равносильна ортогональности любого подмножества его координатных функций.

Следовательно, ортогональность системы первых  $n-1$  координатных функций отображения  $\langle f, \delta_L \rangle$  является необходимым условием его биективности.

Примечание. Системы из  $n$  координатных функций биективных отображений  $V: (F_2)^n \rightarrow (F_2)^n$  называются также регулярными [1].

В работе в теоремах 1 и 2 получено полное описание класса нелинейных функций от трех переменных  $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1, x_2, x_3)$  и соответствующих аффинных функций

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 + \sum_{i=2}^n b_i x_i + b_0,$$

при которых система булевых функций  $(y_1, y_2, \dots, y_{n-1})$ ,  $y_i = f(\delta_L^{i-1}(x))$ , является ортогональной.

### Теорема 1

Пусть  $n > 3$ ,

$$\Phi_1 = \{x_1 x_2 + x_3 + d_1 x_1 + d_2 x_2 + d_0 \mid d_i = 0, 1\},$$

$$\Phi_2 = \{x_1 + x_2 x_3 + d_1 x_2 + d_2 x_3 + d_0 \mid d_i = 0, 1\},$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Phi_1 \cup \Phi_2,$$

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 + \sum_{i=2}^n b_i x_i + b_0, \quad b_i \in \{0, 1\}.$$

Тогда система функций  $y_1, y_2, \dots, y_{n-1}$ ,  $y_i = f(\delta_L^{i-1}(x))$ , является ортогональной в том и только том случае, если выполнены условия

1)  $n = 2k + 1$  – нечетное число;

2)  $d_1 + d_2 = 1$ ;

3)  $f \in \Phi_1$  и  $b_3 = b_5 = \dots = b_n = 0$ , либо  $f \in \Phi_2$  и  $b_2 = b_4 = \dots = b_{n-1} = 0$ .

Для доказательства теоремы нам потребуются несколько вспомогательных лемм.

### Лемма 1

Булева функция  $x_1 x_2 + x_2 x_3 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_0$ ,  $a_i \in \{0, 1\}$  равновероятна в том и только том случае, если  $a_1 \neq a_3$ .

### Лемма 2

Булева функция

$$x_1 x_2 + x_2 x_3 + x_3 x_4 + x_4 x_5 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_5 + a_0, \quad a_i \in \{0, 1\},$$

равновероятна в том и только том случае, если  $a_1 + a_3 + a_5 = 1$ .

### Лемма 3

Булева функция

$$f = \beta_1 x_1 x_2 + \beta_2 x_2 x_3 + \dots + \beta_{2t-1} x_{2t-1} x_{2t} + \beta_{2t} x_{2t} x_{2t+1} + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_{2t+1} x_{2t+1} + a_0, \quad \beta_j, a_i \in \{0, 1\}, \beta_1 = \beta_{2t} = 1,$$

является равновероятной, если функцию  $a_1 x_1 + a_3 x_3 + a_5 x_5 + \dots + a_{2t+1} x_{2t+1}$  нельзя представить в виде линейной комбинации функций

$$x_1 + \beta_2 x_3, \beta_3 x_3 + \beta_4 x_5, \dots, \beta_{2t-1} x_{2t-1} + x_{2t+1}.$$

### Лемма 4 [4]

Система булевых уравнений

$y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , ( $m \leq n$ ) имеет ровно  $2^{n-m}$  решений для любых  $y_1, y_2, \dots, y_m \in \{0, 1\}$  в том и только том случае, когда любая ненулевая линейная комбинация функций  $f_1, f_2, \dots, f_m$  приводит к равновероятной булевой функции.

В справедливости лемм 1-2 можно убедиться прямыми вычислениями. Лемма 4 вытекает из следствия 7.39 работы [4] (том 2, стр. 464). Для доказательства леммы 3 заметим, что заменой переменных

$$z_i = x_i \text{ при четных } i \in \{1, 2, \dots, 2t + 1\}$$

и

$$z_{2p-1} = \beta_{2p-1} x_{2p-1} + \beta_{2p} x_{2p+1} + a_{2p},$$

$$p = 1, 2, \dots, t, \quad z_{2t+1} = x_{2t+1}$$

функция  $f$  приводится к виду

$$f_* = \sum_{i=1}^t z_{2i-1} z_{2i} + a_1 x_1 + a_3 x_3 + \dots + a_{2t+1} x_{2t+1}.$$

При этом если  $z_{2p-1} = 1$ , то функция  $f$  линейна по переменной  $x_{2p}$  и, значит, равновероятна. Если же  $z_{2p-1} = 0$ , то либо  $f$  линейна по переменной  $x_j \in \{x_{2p-1}, x_{2p+1}\}$ , либо  $f$  не зависит от переменных  $x_{2p-1}, x_{2p}, x_{2p+1}$ , и задача сводится к исследованию функции такого же класса при  $t-1$ .

В остальных случаях указанная замена переменных является невырожденной и веса функций  $f_*$  и  $f$  совпадают. Далее, так как функции

$$z_1 = x_1 + \beta_2 x_3, z_3 = \beta_3 x_3 + \beta_4 x_5, \dots, z_{2t-1} = \beta_{2t-1} x_{2t-1} + x_{2t+1}, a_1 x_1 + a_3 x_3 + \dots + a_{2t+1} x_{2t+1}$$

линейно независимы, то невырожденной заменой переменных

$$z_i = x_i \text{ — при четных } i \in \{1, 2, \dots, 2t+1\}$$

и

$$z_{2p-1} = \beta_{2p-1} x_{2p-1} + \beta_{2p} x_{2p+1} + a_{2p},$$

$$p = 1, 2, \dots, t, z_{2t+1} = a_1 x_1 + a_3 x_3 + \dots + a_{2t+1} x_{2t+1},$$

функция  $f$  приводится к виду

$$f_* = \sum_{i=1}^t z_{2i-1} z_{2i} + z_{2t+1},$$

и, значит, является равновероятной. На этом доказательство леммы завершено.

Приступим теперь к доказательству необходимости условий теоремы 1 при  $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 x_2 + x_3 + d_1 x_1 + d_2 x_2 + d_0$ . Рассмотрим два случая в зависимости от четности числа  $n$ .

Случай 1, когда  $n = 2k - \text{четно}$ . Предположим противное и рассмотрим линейную комбинацию

$$g(x) = g(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=0}^{k-1} y_{2i+1} = \sum_{i=0}^{k-1} f((\delta_L)^{2i}(x)) =$$

$$= x_1 x_2 + d_1 x_1 + d_2 x_2 + d_0 + x_3 + x_3 x_4 + d_1 x_3 +$$

$$+ d_2 x_4 + d_0 + x_5 + \dots + x_{n-3} x_{n-2} + d_1 x_{n-3} +$$

$$+ d_2 x_{n-2} + d_0 + x_{n-1} + x_{n-1} x_n + d_1 x_{n-1} + d_2 x_n +$$

$$+ d_0 + x_1 + \sum_{i=2}^n b_i x_i + b_0$$

В таком случае при некоторых  $\varepsilon_j \in \{0, 1\}$  справедливо

$$g(x) = \sum_{i=0}^{k-1} (x_{2i+1} + \varepsilon_{2i+1})(x_{2i+2} + \varepsilon_{2i+2}) + \varepsilon_0. \quad (2)$$

Следовательно,  $g(x)$  является неравновероятной, так как равна сумме неравновероятных функций от непересекающихся

переменных. Тем самым ненулевая линейная комбинация функций  $y_1, y_2, \dots, y_{n-1}$ , составляющих (по предположению) ортогональную систему, оказалась неравновероятной. Полученное противоречие (см. лемму 4) завершает доказательство для данного случая.

Случай 2, когда  $n = 2k + 1 - \text{нечетно}$ . Так же, как и в первом случае, доказательство проводим от противного.

Рассмотрим линейную комбинацию

$$(y_1 + y_3 + \dots + y_{2t-3}) + (y_{2t-1} + y_{2t} + y_{2t+1} + y_{2t+2}) +$$

$$+ (y_{2t+4} + y_{2t+6} + \dots + y_{2k}) = (\varphi(x_1, x_2) + x_3 +$$

$$+ \varphi(x_3, x_4) + x_5 + \dots + \varphi(x_{2t-3}, x_{2t-2}) + x_{2t-1}) +$$

$$+ (\varphi(x_{2t-1}, x_{2t}) + x_{2t+1} + \varphi(x_{2t}, x_{2t+1}) + x_{2t+2} +$$

$$+ \varphi(x_{2t+1}, x_{2t+2}) + x_{2t+3} + \varphi(x_{2t+2}, x_{2t+3}) + x_{2t+4} +$$

$$+ (\varphi(x_{2t+4}, x_{2t+5}) + x_{2t+6} + \varphi(x_{2t+6}, x_{2t+7}) + x_{2t+8} +$$

$$+ \dots + \varphi(x_{2k}, x_{2k+1}) + x_1 +$$

$$+ \sum_{i=2}^n b_i x_i + b_0) = f_1 + f_2 + f_3,$$

где

$$t = 1, 2, \dots, \left(\frac{n-1}{2}\right),$$

$$\varphi(z_1, z_2) = z_1 z_2 + d_1 z_1 + d_2 z_2 + d_0,$$

$$f_1 = (\varphi(x_1, x_2) + x_3 + \varphi(x_3, x_4) + x_5 + \dots +$$

$$+ \varphi(x_{2t-3}, x_{2t-2}) + x_1 + \sum_{i=2}^{2t-2} b_i x_i,$$

$$f_2 = x_{2t-1} + \varphi(x_{2t-1}, x_{2t}) + x_{2t+1} + \varphi(x_{2t}, x_{2t+1}) +$$

$$+ x_{2t+2} + \varphi(x_{2t+1}, x_{2t+2}) + x_{2t+3} +$$

$$+ \varphi(x_{2t+2}, x_{2t+3}) + \sum_{i=2t-1}^{2t+3} b_i x_i,$$

$$f_3 = x_{2t+4} + \varphi(x_{2t+4}, x_{2t+5}) + x_{2t+6} +$$

$$+ \varphi(x_{2t+6}, x_{2t+7}) + x_{2t+8} + \dots +$$

$$+ x_{2k} + \varphi(x_{2k}, x_{2k+1}) + \sum_{i=2t+4}^n b_i x_i + b_0.$$

Функции  $f_1$  и  $f_3$ , как легко видеть, допускают представление вида (2) и, значит, неравновероятны (при  $t = 1$  полагаем  $f_1 = 0$ ,  $b_1 = 1$ ; при  $t = (n-1)/2$  полагаем  $f_3 = b_0$ ). А так как функции  $f_i$  зависят от разных переменных, то равновероятность их суммы  $f_1 + f_2 + f_3$  равносильна равновероятности функции  $f_2$ . Заметим далее, что функция  $f_2$  представима в виде

$$f_2 = \sum_{i=2t-1}^{2t+3} x_i x_{i+1} + \sum_{i=2t-1}^{2t+3} a_i x_i,$$

где

$$a_{2t-1} = b_{2t-1} + d_1 + 1 \text{ при } t > 1, \text{ и } a_1 = b_1 + d_1 = d_1 + 1,$$

$$a_{2t} = b_{2t} + d_1 + d_2,$$

$$a_{2t+1} = b_{2t+1} + d_1 + d_2 + 1,$$

$$a_{2t+2} = b_{2t+2} + d_1 + d_2 + 1, \\ a_{2t+3} = b_{2t+3} + d_2 + 1.$$

В случае равновероятности  $f_2$  с учетом леммы 2 отсюда получаем равенства

$$b_{2t+3} + b_{2t+1} + b_{2t-1} = 0 \text{ при } t > 1, b_5 + b_3 = 0. \quad (3)$$

Рассмотрим еще одну линейную комбинацию

$$(y_1 + y_3 + \dots + y_{2t-3}) + (y_{2t-1} + y_{2t}) + \\ + (y_{2t+2} + y_{2t+4} + \dots + y_{2k}) = f_1 + f_2 + f_3,$$

где

$$f_1 = \varphi(x_1 x_2) + x_3 + \varphi(x_3 x_4) + x_5 + \dots + \\ + \varphi(x_{2t-3} x_{2t-2}) + x_1 + \sum_{i=2}^{2t-2} b_i x_i, \\ f_2 = x_{2t-1} + \varphi(x_{2t-1} x_{2t}) + x_{2t+1} + \varphi(x_{2t} x_{2t+1}) + \\ + b_{2t-1} x_{2t-1} + b_{2t} x_{2t} + b_{2t+1} x_{2t+1}, \\ f_3 = x_{2t+2} + \varphi(x_{2t+2} x_{2t+3}) + x_{2t+4} + \varphi(x_{2t+4} x_{2t+5}) + \\ + x_{2t+6} + \dots + x_{2k} + \varphi(x_{2k} x_{2k+1}) + \sum_{i=2t+2}^n b_i x_i + b_0.$$

Аналогичными рассуждениями можно показать, что равновероятность суммы  $f_1 + f_2 + f_3$  равносильна равновероятности функции  $f_2$ , которая допускает представление

$$f_2 = x_{2t-1} x_{2t} + x_{2t} x_{2t+1} + a_{2t-1} x_{2t-1} + a_{2t} x_{2t} + a_{2t+1} x_{2t+1},$$

где  $a_{2t-1} = b_{2t-1} + d_1 + 1$  при  $t > 1$ , и  $a_1 = b_1 + d_1 = d_1 + 1$ ,  $a_{2t} = b_{2t} + d_1 + d_2$ ,  $a_{2t+1} = b_{2t+1} + d_2 + 1$ .

С учетом леммы 1 отсюда получаем, что равновероятность функции  $f_2$  равносильна выполнению равенств

$$b_{2t+1} + b_{2t-1} = d_1 + d_2 + 1 \\ \text{при } t > 1, b_3 = d_1 + d_2 + 1. \quad (4)$$

равенства (3) и (4) возможны лишь в том случае, когда

$$d_1 + d_2 = 1, b_3 = b_5 = \dots = b_n = 0. \quad (5)$$

На этом доказательство необходимости условий теоремы для случая  $f(x) = x_1 x_2 + x_3 + d_1 x_1 + d_2 x_2 + d_0$  полностью завершено.

Приступим к доказательству достаточности условий 1)-3) теоремы.

Покажем, что произвольная ненулевая линейная комбинация

$$g = \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i y_i, \beta_i \in \{0, 1\},$$

функций  $y_1, y_2, \dots, y_{n-1}$ ,  $y_i = f((\delta_L)^{i-1}(x))$ , является равновероятной. Это с учетом леммы 4 будет равносильно их ортогональности.

Заметим, что без потери общности можно считать, что  $\beta_1 = \beta_{n-1} = 1$  (в противном

случае функция  $g$  будет линейной по одной из переменных). В таком случае

$$g = \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i y_i = \sum_{i=1}^{2k} \beta_i \varphi(x_i, x_{i+1}) + x_1 + \\ + \sum_{i=2}^{2k+1} b_i x_i + b_0 = \sum_{i=1}^{2k} \beta_i x_i x_{i+1} + \sum_{i=1}^{2k+1} a_i x_i + a_0,$$

где

$$\varphi(z_1, z_2) = z_1 z_2 + d_1 z_1 + d_2 z_2 + d_0, \\ a_1 = d_1 + 1, \\ a_2 = \beta_2 d_1 + \beta_1 d_2 + b_2, a_{2t} = \\ = \beta_{2t} d_1 + \beta_{2t-1} d_2 + \beta_{2t-2} + b_{2t} \text{ при } t > 1, \\ a_{2t+1} = \beta_{2t+1} d_1 + \beta_{2t} d_2 + \beta_{2t-1} \text{ при } t \neq k, \\ a_{2k+1} = d_2 + \beta_{2k-1}.$$

С учетом леммы 3 для доказательства равновероятности функции  $g$  достаточно показать, что вектор  $a = (a_1, a_3, \dots, a_{2k-1}, a_{2k+1})$  нельзя представить в виде линейной комбинации векторов

$$r_1 = (1, \beta_2, 0, \dots, 0), \\ r_2 = (0, \beta_3, \beta_4, 0, \dots, 0), \\ r_{k-1} = (0, \dots, 0, \beta_{2k-3}, \beta_{2k-2}, 0), \\ r_k = (0, \dots, 0, \beta_{2k-1}, 1),$$

рассматриваемых как векторы пространства  $(F_2)^{k+1}$ .

Предполагая противное, получим соотношение

$$a = \sum_{i=1}^k v_i r_i, v_i \in \{0, 1\}. \quad (6)$$

Отсюда

$$v_1 = a_1 = d_1 + 1, a_{2t+1} = v_{t+1} \beta_{2t+1} + v_t \beta_{2t} \\ \text{при } t \in \{1, 2, \dots, k-1\}, a_{2k+1} = v_k.$$

Далее получим

$$v_2 \beta_3 + v_1 \beta_2 = a_3 = \beta_3 d_1 + \beta_2 d_2 + 1, \\ \text{т.е. } (d_1 + v_2) \beta_3 = 1, \text{ т.е.} \\ v_2 = v_1 = d_1 + 1, \beta_3 = 1. \quad (7)$$

Пусть при некотором  $t$  выполнены равенства

$$v_{t+1} = v_t = d_1 + 1, \beta_{2t+1} = 1. \quad (8)$$

Тогда для  $t < (k-1)$

$$v_{t+2} \beta_{2t+3} + v_{t+1} \beta_{2t+2} = a_{2t+3} = \beta_{2t+3} d_1 + \beta_{2t+2} d_2 + \beta_{2t+1}.$$

Отсюда  $(d_1 + v_{t+2}) \beta_{2t+3} = 1$ , т.е. равенства (8) выполняются и для  $t+1$ .

Таким образом, в соотношении (6) должны выполняться равенства

$$v_1 = v_2 = \dots = v_k = d_1 + 1, \beta_1 = \beta_3 = \dots = \beta_{2k-1} = 1. \quad (9)$$

Но в таком случае из (6) и (9) получаем

$$d_2 + 1 = a_{2k+1} = d_1 + 1,$$

что равносильно равенству  $d_1 + d_2 = 0$ , которое невозможно по условиям теоремы. Тем

самым, достаточность условий 1)-3) для случая  $f \in \Phi_1$  доказана.

Пусть теперь  $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 + \varphi(x_2, x_3)$ . В силу биективности отображения  $\delta_L$  система функций  $\{f(x), f(\delta_L(x)), \dots, f(\delta_L^{n-2}(x))\}$  будет ортогональной в том и только том случае, когда таким свойством будет обладать система функций

$$\{z_1 = f(\delta_L^{-1}(sx)), z_2 = f(sx), z_3 = f(\delta_L(sx)), \dots, z_n = f(\delta_L^{n-2}(sx))\},$$

где

$$s: (F_2)^n \rightarrow (F_2)^n, s(x_1, x_2, \dots, x_n) = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_1).$$

Функции  $z_i, i = 1, 2, \dots, n-1$ , имеют вид

$$z_1 = \varphi(x_n, x_{n-1}) + x_1 + \sum_{i=2}^n b_{n-i+2} x_i + b_0, \\ z_2 = \varphi(x_{n-1}, x_{n-2}) + x_n, \\ \dots \\ z_{n-2} = \varphi(x_3, x_2) + x_4, \\ z_{n-1} = \varphi(x_2, x_1) + x_3$$

Таким образом, случай  $f \in \Phi_2$  сводится к рассмотренному выше случаю  $f \in \Phi_1$  только с другой функцией

$$L = x_1 + \sum_{i=2}^n b_{n-i+2} x_i + b_0.$$

На этом доказательство теоремы полностью завершено.

**Примечание.** Можно показать, что при  $n = 3, f(x) = x_1 x_2 + d_1 x_1 + d_2 x_2 + d_0 + x_3, L(x) = x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$  система функций  $(y_1, y_2) = (f(x), f(\delta_L(x)))$  ортогональна лишь в случае, когда выполнено одно из условий

- 1)  $d_1 = 0, d_2 = b_3 + 1$ ; 2)  $d_1 = 1, d_2 = b_3$ .

Следующее утверждение показывает, что теоремой 1 по существу полностью закрывается вопрос описания ортогональных систем вида  $\{f(x), f(\delta_L(x)), \dots, f(\delta_L^{n-2}(x))\}$  для случая произвольной нелинейной функции  $f = f(x_1, x_2, x_3)$  от трех аргументов.

**Теорема 2**

Пусть  $n \geq 5, f = f(x_1, x_2, x_3)$  – нелинейная функция от трех аргументов,

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 + \sum_{i=2}^n b_i x_i + b_0, b_i \in \{0, 1\}.$$

Тогда система функций  $(y_1, y_2, \dots, y_{n-1}), y_i = f(\delta_L^{i-1}(x))$  является ортогональной в том и только том случае, если  $n$ -нечетно и функции  $f$  и  $L$  удовлетворяют условиям теоремы 1.

Для доказательства нам потребуется следующее утверждение, установленное

с помощью экспериментальных расчетов на ЭВМ.

**Лемма 5**

Если система уравнений  $\lambda_i = f(x_i, x_{i+1}, x_{i+2}), i = 1, 2, 3$ , имеет 4 решения (относительно неизвестных  $x_1, x_2, \dots, x_3$ ) при любых фиксированных  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \in \{0, 1\}$ , тогда функция  $f(x_1, x_2, x_3)$  линейна по одной из крайних переменных.

Приступим теперь к доказательству теоремы 2. Пусть ортогональна система функций  $(y_1, y_2, \dots, y_{n-1}), y_i = f(\delta_L^{i-1}(x))$ . Тогда в условиях теоремы система функций  $\{y_1 = f(x_1, x_2, x_3), y_2 = f(x_2, x_3, x_4), y_3 = f(x_3, x_4, x_5)\}$  также будет ортогональной.

Но в таком случае с учетом леммы 5 функция  $f(x_1, x_2, x_3)$  линейна по одной из крайних переменных, то есть  $f \in \Phi_1$ , либо  $f \in \Phi_2$ , где множества  $\Phi_i$  определены в условиях теоремы 1. На этом доказательство закончено.

Следующее утверждение свидетельствует о том, что в определенных случаях необходимым условием биективности отображения  $\langle f, \delta_L \rangle$  является отсутствие у функции  $f$  запретов.

**Утверждение 1**

Пусть  $n \geq 2^{k-1} + k - 1, f = f(x_1, x_2, \dots, x_k), deg(f) > 1, k > 1$ .

Если ортогональна система функций  $(y_1, y_2, \dots, y_{n-1}), y_i = f(\delta_L^{i-1}(x))$ , тогда функция  $f$ , рассматриваемая как функция от  $k$  переменных, не имеет запретов.

**Доказательство**

Как показано в работе [3], если система уравнений  $\lambda_i = f(x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k-1}), i = 1, 2, \dots, m$ , имеет в точности  $2^{k-1}$  решений при любых двоичных  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  и  $m = 2^{k-1}$ , тогда функция  $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  не имеет запретов.

Заметим, что из ортогональности множества функций  $(y_1, y_2, \dots, y_{n-1})$  следует ортогональность и любого его подмножества мощности  $m < n$ . Осталось заметить, что в наших условиях  $m = 2^{k-1} < n$ , причем функции  $y_i = f(\delta_L^{i-1}(x)), i = 1, 2, \dots, m = 2^{k-1}$ , имеют вид

$$y_1 = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \\ y_2 = f(x_2, x_3, \dots, x_{k+1}), \dots, \\ y_m = f(x_m, x_{m+1}, \dots, x_{k+m-1}),$$

где  $k + m - 1 = 2^{k-1} + k - 1 \leq n$ . На этом доказательство завершено.



В заключение отметим, что, как показано в работе [1], в классе функций, фигурирующих в условиях теоремы 1, существуют функции  $f$  и  $L$ , отвечающие биективному отображению  $\langle f, \delta_L \rangle$ .

**Библиографический список**

1. Саранцев, А.В. Построение регулярных систем однотипных двоичных функций с использованием регистра сдвига / А.В. Саранцев // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник. – 2004. – № 1(32). – С. 164–169.

2. Сумароков, С.Н. Запреты двоичных функций и обратимость для одного класса кодирующих устройств / С.Н. Сумароков // Обзорение прикл. и промышл. матем., сер. дискретн. матем. – 1994. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 33–35.  
 3. Рожков, М.И. Некоторые алгоритмические вопросы идентификации конечных автоматов по распределению выходных  $m$ -грамм. Часть 2 / М.И. Рожков // Обзорение прикл. и промышл. матем., сер. дискретн. матем. – 2008. – Т. 15. – Вып. 5. – С. 785–806.  
 4. Лидл, Р. Конечные поля: В 2-х т. / Р. Лидл, Г. Нидеррайтер. – М.: Мир, 1988. – 822 с.

**О ПРЕДЕЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ МАКСИМУМА ПРОЦЕССА СКОЛЬЗЯЩЕГО СУММИРОВАНИЯ (ЧАСТИЧНЫХ СУММ ЭРДЕША–РЕНЬИ)**

А.Б. ЛОСЬ, доц. каф. информационной безопасности Московского государственного института электроники и математики (Технического университета), канд. техн. наук

*alexloss@miem. edu.ru.*

Пусть  $X_1, X_2, \dots, X_N, \dots$  – независимые, одинаково распределенные случайные величины. Пусть также  $n, N$  – некоторые натуральные числа. Для  $k = 0, 1, 2, \dots$ , положим

$$\xi(k, n) = X_{k+1} + X_{k+2} + \dots + X_{k+n}, \quad (1)$$

$$\eta(n, N) = \max_{0 \leq k \leq N-n} \xi(k, n). \quad (2)$$

Последовательность случайных величин  $\xi(k, n)$  в научной литературе обычно называют процессом скользящего суммирования или последовательностью частичных сумм Эрдеша–Реньи. Исследованию асимптотических свойств статистики  $\eta(n, N)$  при  $n = o(N)$  посвящено довольно много работ (см. [1] и библиографию там же). В работах [2], [3] найдена асимптотика умеренных уклонений статистики  $\eta(n, N)$ . В [4] получено явное выражение для константы в асимптотике вероятностей больших уклонений сумм  $\xi(k, n)$  с условием Крамера. В форме условных предельных теорем описаны траектории блуждания, на которых осуществляется большое уклонение.

В настоящей работе исследуется предельное распределение статистики  $\eta(n, N)$  для случая  $EX_i = 0, DX_i = 1$ . Асимптотические свойства изучаются в условиях  $N, n \rightarrow \infty$  и  $N/n \rightarrow m + \theta$ , где  $m$  – целое,  $0 \leq \theta < 1$ .

Введем необходимые обозначения. Пусть  $D^N [0, 1]$  – пространство непрерывных справа функций без разрывов 2-го рода, определенных на отрезке  $T = [0, 1]$ , со значениями из  $R^N = R \times R \times \dots \times R$  –  $N$  – мерного евклидова пространства. На этом пространстве зададим метрику Скорохода  $d$  [5].

Обозначим также  $C^N [0, 1]$  – пространство непрерывных функций, заданных на отрезке  $T = [0, 1]$ ,  $C^N [0, 1] \subset D^N [0, 1]$ . Для получения предельного распределения случайной величины  $\eta(n, N)$  нам потребуется одно утверждение, являющееся непосредственным обобщением теоремы 1 §3 работы [5].

Пусть  $\zeta_{n1}, \zeta_{n2}, \dots, \zeta_{nk(n)}$  – последовательность серий независимых, одинаково распределенных в каждой серии случайных величин со значениями из  $R^N$ . Рассмотрим ступенчатый случайный процесс, построенный по суммам

$$\zeta_n(t) = \sum_{k < k(n)t} \zeta_{nk}, \quad t \in [0, 1].$$

Пусть  $\mathfrak{F}$  – минимальная  $\sigma$ -алгебра подмножеств  $D^N [0, 1]$ , содержащая в себе все цилиндрические подмножества. Обозначим  $F_c$  – множество функционалов  $f$ , заданных на  $D^N [0, 1]$  со свойствами:

1)  $f$  измерим относительно  $\sigma$ -алгебры  $\mathfrak{F}$ ;

2)  $f$  непрерывен на множестве  $C^N [0,1]$  в метрике равномерной сходимости.

**Теорема 1**

Пусть случайные величины  $\zeta_{n1}, \zeta_{n2}, \dots, \zeta_{nk}$  независимые, одинаково распределенные в каждой серии, удовлетворяют условиям:

1. Существует элемент  $a \in R^N$ , такой, что для всех  $\varepsilon > 0$  и  $z \in R^N$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} k_n \int_{|x| \leq \varepsilon} (x, z) \mu(dx) = (a, z),$$

где

$$\mu_n(A) = P \{ \zeta_{n1} \in A \}, k_n = k(n);$$

2. Существует неотрицательный линейный оператор  $B$  в пространстве  $R^N$ , такой, что для всех  $\varepsilon > 0$  и  $z \in R^N$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} k_n \int_{|x| \leq \varepsilon} (x - a, z)^2 \mu(dx) = (Bz, z);$$

$$3. \lim_{n \rightarrow \infty} k_n P \{ |\zeta_{n1}| > \varepsilon \} = 0.$$

Пусть также  $h_n$  – последовательность измеримых отображений  $D^N[0,1]$  в  $D^N[0,1]$ , сходящаяся в метрике  $d$  к отображению  $h$ , т.е. для любой последовательности  $X_n(t) \xrightarrow{d} X(t)$  справедливо  $h_n X_n(t) \xrightarrow{d} hX(t)$  (символ « $\xrightarrow{d}$ » означает сходимость в метрике  $d$ ) и отображение  $h$  таково, что  $h C^N [0,1] \subset C^N [0,1]$ .

Тогда для любого функционала  $f \in F_c$  распределение случайной величины  $f(h_n \zeta_n(t))$  при  $n \rightarrow \infty$  сходится к распределению случайной величины  $f(h \zeta(t))$ , где  $\zeta(t)$  – винеровский процесс с характеристической функцией

$$\exp \{ t[i(a, z) - S(Bz, z)] \}.$$

Доказательство. Заметим, что для всякой последовательности

$$X_n(t) \rightarrow X(t) \\ X(t)^j \in C^N [0,1],$$

последовательность  $h_n X_n(t)$  сходится в метрике  $d$  к  $hX(t)$  и  $hX(t) \in C^N [0,1]$ . Следовательно,

$$\limsup_{n \rightarrow \infty} |h_n X_n(t) - hX(t)| = 0.$$

Тогда для  $f \in F_c$  имеем  $f(h_n X_n(t)) \rightarrow f(hX(t))$ . Теперь в применении к последовательности функционалов  $f(h_n X_n(\bullet))$ , сходящейся к  $f(hX(\bullet))$ , справедлива без изменения схема доказательства теоремы 1 §3 работы [5].

Аналогично доказательству теоремы 1 настоящей работы и следствиям 1 и 3 §3 ра-

боты [5] доказываются следующие утверждения.

**Следствие 1**

Пусть  $\xi_1, \xi_2, \dots$ , – независимые, одинаково распределенные случайные величины, для которых  $M\xi_k = 0, D\xi_k = 1$ . Положим

$$\xi_n(t) = n^{-1/2} \sum_{k \leq nt} \xi_k.$$

Тогда в условиях теоремы 1, при  $n \rightarrow \infty$  конечномерные распределения процесса  $h_n \xi_n(t)$  сходятся к конечномерным распределениям процесса  $h \omega(t)$ , где  $\omega(t)$  – стандартный винеровский процесс.

**Следствие 2**

Пусть  $\varphi(t, x)$  – функция, определенная и непрерывная при  $t \in [0,1]$  и  $x \in R^N$ . Тогда в условиях теоремы 1 при  $n \rightarrow \infty$

$$\sup_{0 \leq t \leq 1} \varphi(t, h_n \zeta_n(t)) \Rightarrow \sup_{0 \leq t \leq 1} \varphi(t, h \zeta(t)),$$

где символ « $\Rightarrow$ » означает сходимость по распределению.

Перейдем к получению предельного распределения случайной величины

$$\eta(n, N) = \max_{0 \leq k \leq N-n} \xi(k, n).$$

Положим

$$\varphi_\gamma(x) = (2\pi\gamma)^{-1/2} \exp \{ -x^2/2\gamma \}.$$

**Теорема 2**

Пусть  $N, n \rightarrow \infty$  так, что  $N/n \rightarrow m, m > 0$  – целое. Тогда, при любом  $a \in R$  имеет место равенство

$$\lim_{N, n \rightarrow \infty} P \{ \eta(n, N) < a N^{1/2} \} = \int_{D_1} \dots \int \det || \varphi_\gamma(y_i - y_{j+1} + a) ||_{i, j=0, \dots, m-1} dy_1 \dots dy_m, \quad (3)$$

где интегрирование ведется по области  $D_1 \subset R^m$ , задаваемой соотношениями

$$D_1 = \{ 0 = y_0 < y_1 < \dots < y_m \}, \gamma = m^{-1}.$$

**Доказательство**

Определим в пространстве  $D[0,1]$  последовательность процессов

$$\chi_{N, n}(t) = \begin{cases} N^{-1/2} \xi([Nt], n), & 0 \leq t \leq 1 - n/N, \\ N^{-1/2} \xi(N - n, n), & 1 - n/N < t \leq 1, \end{cases}$$

и положим

$$\chi_{N, n} = \sup_{0 \leq t \leq 1} \chi_{N, n}(t).$$

Обозначим

$$\psi_N(t) = N^{-1/2} \sum_{k \leq Nt} X_k, \quad t \in [0,1].$$

Рассмотрим последовательность отображений  $D [0, 1]$  в  $D [0, 1]$  вида

$$h_N Z(t) = \begin{cases} Z(t+n/N) - Z(t), 0 \leq t \leq 1-n/N \\ Z(1) - Z(1-n/N), 1-n/N < t \leq 1, \end{cases}$$

для  $N \geq n$ .

Нетрудно показать, что при  $N, n \rightarrow \infty$  и  $n/N \rightarrow \gamma$  последовательность  $h_N$  сходится в метрике  $d$  к отображению  $h$

$$hZ(t) = \begin{cases} Z(t+\gamma) - Z(t), 0 \leq t \leq 1-\gamma, \\ Z(1) - Z(1-\gamma), 1-\gamma < t \leq 1, \end{cases}$$

а также что  $h C[0, 1] \subset C[0, 1]$ , т.е.  $h$  сохраняет непрерывность функций.

Заметим далее, что для  $\psi_N(t)$  выполнено равенство

$$\chi_{N,n}(t) = h_N \psi_N(t).$$

Тогда, применяя результаты следствий 1 и 2 теоремы 1 настоящей работы к процессу  $\psi_N(t)$  и последовательности отображений  $h_N$ , получаем

$$\lim_{N,n \rightarrow \infty} p\{\chi_{N,n} < a\} = p\{\sup_{0 \leq t \leq 1-\gamma} [\omega(t+\gamma) - \omega(t)] < a\},$$

и, следовательно,

$$\lim_{N,n \rightarrow \infty} p\{(n, N < aN^{1/2})\} = p\{\sup_{0 \leq t \leq 1-\gamma} [\omega(t+\gamma) - \omega(t)] < a\}, \quad (4)$$

Рассмотрим процесс  $\omega_\gamma(t) = \omega(t+\gamma) - \omega(t)$  и найдем функцию распределения его максимума на отрезке  $[0, 1-\gamma]$ , обобщая результаты работы [3], в которой изучалась вероятность

$$Q_a(T/x) = p\{S(t) < a, 0 \leq t \leq T / S(0) = x\},$$

где

$$S(t) = \omega(t) - \omega(t+1), T > 0.$$

Нетрудно видеть, что

$$P_a = p\{\sup_{0 \leq t \leq 1-\gamma} \omega_\gamma(t) < a\} = p\{\omega_\gamma(t) < a, 0 \leq t \leq (m-1)\gamma\}. \quad (5)$$

Пусть далее  $W_1(t), \dots, W_m(t)$  – независимые винеровские процессы.

В работе [6] отмечено, что

$$P\{W_1(t) < \dots < W_m(t), 0 \leq t \leq \tau / W_i(0) = a_i, W_i(\tau) = b_i, i=1, \dots, m\} = \det \|\varphi_\tau(a_i - b_j)\|_{i,j=0, \dots, m} / \prod_{i=1}^m \varphi_\tau(a_i - b_i), \quad (6)$$

где  $a_1 < \dots < a_m, b_1 < \dots < b_m$  – некоторые постоянные.

Заметим далее, что

$$P_a = p\{\omega(t+\gamma) - \omega(t) < a, 0 \leq t \leq (m-1)\gamma\} = p\{\Omega\},$$

где

$$\Omega = \{\omega(t) > \omega(t+\gamma) - a > \dots > \omega(t+(m-1)\gamma) - (m-1)a, 0 \leq t \leq \gamma\}. \quad (7)$$

Интегрируя по значениям  $x_i$  процесса  $\omega(t)$  в моменты времени  $i\gamma, i=0, 1, \dots, m$ , из (7) получаем

$$P_a = \int \dots \int p\{\Omega, \omega(0) \in dx_0, \dots, \omega(m\gamma) \in dx_m\} = \int \dots \int p\{\Omega / \omega(i\gamma) = x_i, i=0, 1, \dots, m\} \times p\{\omega(i\gamma) \in dx_i, i=0, 1, \dots, m\}, \quad (8)$$

где  $x_0 = 0$ .

Для  $i = 1, 2, \dots, m$  положим  $W_i(t) = \omega(t+(m-i)\gamma) - (m-i)a, 0 \leq t \leq \gamma$ . Тогда

$$\Omega = \{W_1(t) < \dots < W_m(t), 0 \leq t \leq \gamma\}, \quad (9)$$

где

$$W_i(0) = \omega((m-i)\gamma) - (m-i)a = x_{m-i} - (m-i)a, \quad (10)$$

$$W_i(\gamma) = \omega((m-i+1)\gamma) - (m-i)a = x_{m-i+1} - (m-i)a. \quad (11)$$

С учетом (9) – (10) из (8) получаем

$$P_a = \int \dots \int p\{\Omega / W_i(0) = x_{m-i} - (m-i)a, W_i(\gamma) = x_{m-i+1} - (m-i)a, i=1, \dots, m\} \times p\{\omega(i\gamma) \in dx_i, i=0, 1, \dots, m\}. \quad (12)$$

Область интегрирования в (12) есть множество, где первая вероятность под интегралом отлична от нуля и, следовательно, это есть множество, где неравенства (9) выполняются при  $t = 0, t = \gamma$  и

$$W_i(0) = x_{m-i} - (m-i)a, W_i(\gamma) = x_{m-i+1} - (m-i)a, i=1, \dots, m. \quad (13)$$

Таким образом, область интегрирования в (12) определяется соотношениями  $x_{m-i} - (m-i)a < x_{m-i-1} - (m-i-1)a, i=0, \dots, m-1$ .

Заметим, что при условии (13) процессы  $W_i(t)$  независимы, поэтому, в силу (6)

$$p\{\Omega / W_i(0) = x_{m-i} - (m-i)a, W_i(\gamma) = x_{m-i+1} - (m-i)a, i=1, \dots, m\} = \det \|\varphi_\gamma(x_{m-i} - (m-i)a - x_{m-j+1} - (m-j)a)\|_{i,j=1, \dots, m} / \prod_{i=1}^m \varphi_\gamma(x_{m-i} - (m-i)a - x_{m-i+1} - (m-i)a) = \det \|\varphi_\gamma(x_i - ia - x_{j+1} + ja)\|_{i,j=0, \dots, m-1} / \prod_{i=0}^{m-1} \varphi_\gamma(x_i - x_{i+1}). \quad (14)$$

Вторая вероятность в правой части (12) равна

$$p\{\omega(i\gamma) \in dx_i, i=0, 1, \dots, m\} = \prod_{i=0}^{m-1} \varphi_\gamma(x_i - x_{i+1}). \quad (15)$$

Полагая  $y_i = -x_i + ia, i=0, 1, \dots, m$  и подставляя (14) и (15) в (12), получаем

$$P_a = \int \dots \int_{D_1} \det \|\varphi_\gamma(-y_i + y_{j+1} - a)\|_{i,j=0, \dots, m-1} dy_1 \dots dy_m = \int \dots \int_{D_1} \det \|\varphi_\gamma(y_i - y_{j+1} + a)\|_{i,j=0, \dots, m-1} dy_1 \dots dy_m. \quad (16)$$

Теорема 2 доказана.

**Теорема 3**

Пусть  $N, n \rightarrow \infty$  так, что  $N/n \rightarrow m + \theta, m > 0 -$  целое,  $0 < \theta < 1$ . Тогда, при любом  $a \in R$  имеет место равенство

$$\lim_{N, n \rightarrow \infty} p\{\eta(n, N) < a N^{1/2}\} = \int_{D_2} \dots \int \det \|\Phi_{\theta\delta}(x_i - y_j)\|_{ij=0, \dots, m} \det \|\Phi_{(1-\theta)\delta}(y_i - x_{j+1} + a)\|_{ij=0, \dots, m-1} \times dx_1 \dots dx_m dy_0 \dots dy_m,$$

где интегрирование ведется по области  $D_2$ , задаваемой соотношениями

$$D_2 = \{0 = x_0 < x_1 < \dots < x_m, y_0 < y_1 < \dots < y_m\}, \delta = (m + \theta)^{-1}.$$

Доказательство теоремы 2. Аналогично предыдущему нетрудно показать, что

$$\lim_{N, n \rightarrow \infty} p\{\eta(n, N) < a N^{1/2}\} = p\{\sup_{0 \leq t \leq 1-\delta} [\omega(t+\delta) - \omega(t)] < a\}.$$

Пусть  $\omega_\delta(t) = \omega(t+\delta) - \omega(t)$ . При этом

$$P(a) = p\{\sup_{0 \leq t \leq 1-\delta} \omega_\delta(t) < a\} = p\{\omega_\delta(t) < a, 0 \leq t \leq (m-1 + \theta)\delta\}. \quad (17)$$

Заметим, что

$$P(a) = p\{\omega(t) > \omega(t+\delta) - a > \dots > \omega(t+m\delta) - ma, 0 \leq t \leq \delta\theta, \omega(\tau+\delta\theta) > \omega(\tau+\delta\theta+\delta) - a > \dots > \omega(\tau + \delta\theta + (m-1)\delta) - (m-1)a, 0 \leq \tau \leq (1-\theta)\delta\}.$$

Интегрируя по значениям  $u_i$  и  $v_i$  процесса  $\omega(t)$  в моменты времени  $i\delta$  и  $(i+\theta)\delta$  соответственно,  $i = 0, 1, \dots, m$ , и, обозначая,

$$\Omega = \Omega_1 \cap \Omega_2,$$

где

$$\Omega_1 = \{\omega(t) > \omega(t+\delta) - a > \dots > \omega(t+m\delta) - ma, 0 \leq t \leq \delta\theta\},$$

$$\Omega_2 = \{\omega(\tau+\delta\theta) > \omega(\tau+\delta\theta+\delta) - a > \dots > \omega(\tau+\delta\theta+(m-1)\delta) - (m-1)a, 0 \leq \tau \leq (1-\theta)\delta\},$$

$$P(a) = \int \dots \int p\{\Omega, \omega(0) \in du_0, \dots, \omega(m\delta) \in du_m, \omega(\theta\delta) \in dv_0, \dots, \omega((m+\theta)\delta) \in dv_m\}. \quad (18)$$

Используя соотношения для условных вероятностей, из (18) получаем

$$P(a) = \int \dots \int p\{\Omega / \omega(i\delta) = u_i, \omega(\theta\delta+i\delta) = v_i, i = 0, \dots, m\} \times p\{\omega(i\delta) \in du_i, \omega(\theta\delta+i\delta) \in dv_i, i = 0, 1, \dots, m\}, \quad (19)$$

где  $u_0 = 0$ .

Введем процессы  $W_i(t), i = 0, 1, \dots, m$  и  $W'_j(\tau), j = 1, 2, \dots, m$ :

$$W_i(t) = \omega(t+(m-i)\delta) - (m-i)a, 0 \leq t \leq \delta\theta, W'_j(\tau) = \omega(\tau+\delta\theta+(m-j)\delta) - (m-j)a, 0 \leq \tau \leq (1-\theta)\delta.$$

Тогда, очевидно,

$$\Omega_1 = \{W_1(t) < \dots < W_m(t), 0 \leq t \leq \theta\delta\}, \Omega_2 = \{W'_1(\tau) < \dots < W'_m(\tau), 0 \leq \tau \leq (1-\theta)\delta\}.$$

При этом для  $0 \leq i \leq m$  и  $1 \leq j \leq m$  имеем

$$W_i(0) = \omega((m-i)\delta) - (m-i)a = u_{m-i} - (m-i)a, W_i(\theta\delta) = \omega(\delta\theta+(m-i)\delta) - (m-i)a = v_{m-i} - (m-i)a, \quad (20)$$

$$W'_j(0) = \omega(\delta\theta+(m-j)\delta) - (m-j)a = v_{m-j} - (m-j)a, W'_j((1-\theta)\delta) = \omega((m-j+1)\delta) - (m-j)a = u_{m-j+1} - (m-j)a.$$

В условиях (20) процессы  $W_i(t)$  и  $W'_j(\tau)$  независимы, поэтому условная вероятность  $\Omega$  в (19) есть произведение условных вероятностей  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$ .

Тогда

$$P(a) = \int \dots \int p\{\Omega_1 / W_i(0) = u_{m-i} - (m-i)a, W_i(\theta\delta) = v_{m-i} - (m-i)a, i = 0, \dots, m\} \times p\{\Omega_2 / W'_j(0) = v_{m-j} - (m-j)a, W'_j((1-\theta)\delta) = u_{m-j+1} - (m-j)a, j = 1, \dots, m\} \times p\{\omega(i\delta) \in du_i, \omega(\theta\delta+i\delta) \in dv_i, i = 0, 1, \dots, m\}. \quad (21)$$

Полагая  $x_i = -u_i + ia, y_i = -v_i + ia, i = 0, 1, \dots, m$  и используя соотношение (6), из (21) получаем

$$P(a) = \int \dots \int \det \|\Phi_{\theta\delta}(x_i - y_j)\|_{ij=0, \dots, m} \det \|\Phi_{(1-\theta)\delta}(y_i - x_{j+1} + a)\|_{ij=0, \dots, m-1} \times dx_1 \dots dx_m dy_0 \dots dy_m, D_2 = \{0 = x_0 < x_1 < \dots < x_m, y_0 < y_1 < \dots < y_m\}, \delta = (m + \theta)^{-1}.$$

Теорема 3 доказана.

**Библиографический список**

1. Новак, С.Ю. О распределении максимума частичных сумм Эрдеша-Реньи. Теория вероятностей и ее применения / С.Ю. Новак. – 1997. – Т. 42. – Вып. 2. – С. 274–293.
2. Питербарг, В.И. О больших скачках случайного блуждания. – Теория вероятностей и ее применения / В.И. Питербарг. – 1991. – Т. 36. – Вып. 1. – С. 54–64.
3. Довгалюк, В.В. Большие уклонения траекторий пуассоновского процесса. – Вероятностные процессы и их приложения / В.В. Довгалюк, В.И. Питербарг. – М.: МИЭМ, 1989. – С. 112–117.
4. Козлов, М.В. О частичных суммах Эрдеша-Реньи: Большие уклонения, условное поведение. – Теория вероятностей и ее применения / М.В. Козлов. – 2001. – Т. 46. – Вып. 4. – С. 678–696.
5. Скороход, А.В. Предельные теоремы для случайных блужданий / А.В. Скороход, А.П. Слободенюк. – Киев: Наукова думка, 1970.
6. Shepp L.A., First passage time for a particular Gaussian process. – Ann.Math.Stat., v.42, № 3, 1971.

## ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ БИЗНЕС-МОДЕЛИ

Ф.И. СИМАНОВСКИЙ, *асс. каф. менеджмента и информационных технологий МГУЛ*

*f.simanovskiy@gmail.com*

Появление новых технологий, позволяющих создавать совершенно новые продукты или производить существующую продукцию качественнее и дешевле, возникновение неудовлетворенных желаний потребителей, открытие новых рынков сбыта вследствие изменений экономических отношений между странами – все эти факторы заставляли задумываться предпринимателей о своем бизнесе, что в дальнейшем приводило к эволюции бизнес-моделей. Некоторые старые бизнес-модели забывались, а некоторые распадались на элементы, которые в дальнейшем находили место в новых, инновационных бизнес-моделях.

Можно разделить все современные бизнес-модели на 2 типа – традиционные и инновационные.

Традиционные бизнес-модели – активно и повсеместно применяющиеся бизнес-модели, придуманные ранее, часто копируемые компаниями со схожими концепциями бизнеса и технологическими возможностями. Эти модели, как правило, составляют основу бизнес-среды.

Инновационные бизнес-модели – базируются на никогда ранее не применявшихся механизмах моделирования бизнеса, характе-

ризуются уникальной технологической и/или философской концепцией бизнеса.

Адриан Сливотски (Adrian Slywotzky) называет «Toyota» «первопроходцем в построении бизнес-модели, ориентированной на потребителей» [1], и объясняет рост ее ключевых показателей (доход, доля рынка, прибыль и рыночная стоимость) тем, что компании удалось создать новаторскую бизнес-модель. Сливотски также определяет четкий цикл бизнес-моделей, состоящий из роста ценности, стабильности и устаревания. Графически жизненный цикл абстрактной бизнес-модели представлен на рис. 1.

Период времени  $t_0 - t_1$  соответствует стадии роста ценности, на протяжении которой происходит активная интеграция бизнес-модели в деятельность компании, происходит коррекция ее элементов, направленная на увеличение ценностных характеристик производимых товаров или услуг. На данном этапе происходит окончательное формирование бизнес-модели, поэтому он затрагивает все ее ключевые элементы – блок определения потребительской ценности продукта, блок формирующий основные концепции производства, а также блок, рассчитывающий формулу прибыли. Данный цикл характеризуется

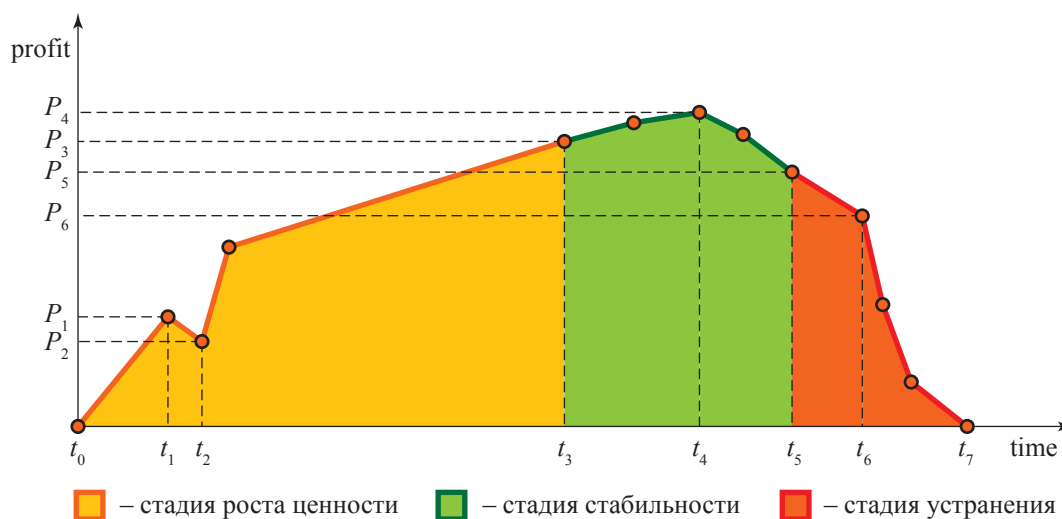


Рис. 1. Жизненный цикл бизнес-модели

Различия традиционной бизнес-модели и бизнес-модели «Toyota»

	традиционная бизнес-модель	бизнес-модель «Toyota»
ключевые элементы	ориентирована на продукт	ориентирована на потребителя
	жесткая производственная система	гибкая система производства и продаж
	обратная интеграция	специализация
ключевые предложения	технология и масштаб	понимание потребителя и бизнес-модель
	бизнес можно делать только так	оптимизация бизнеса за счет инноваций

нестабильностью, так как на данном этапе не выработан оптимальный механизм взаимодействия между элементами бизнес-модели. На графике подобная нестабильность соответствует временному интервалу  $t_1 - t_2$  и соответствующему падению прибыли с точки P1 до точки P2 (рис. 1). Как правило, подобные ситуации являются издержками вследствие высокой погрешности планирования, которое влияет на корреляцию между элементами бизнес-модели. Следующий временной отрезок  $t_2 - t_3$  показывает стабильное восстановление роста ценности и увеличение прибыли с точки P2 до точки P3. В течение данного периода определяются основные параметры функционирования бизнес-модели и происходит оптимизация взаимодействия ее элементов.

Период времени  $t_3 - t_5$  отражает стадию стабильности, во время которой происходит поддержание выработанных на прошлой стадии ключевых параметров на определенном уровне. На данном этапе достигается максимальный объем прибыли, соответствующий точке P4 и времени  $t_4$ , после чего начинается постепенный отток ценности.

На данном этапе могут незначительно измениться концепции производства – изменениям могут подвергнуться ключевые ресурсы (появятся новые технологии, оборудование, увеличится лояльность к брэндю и т.д.) и ключевые процессы (поиск новых партнеров, внедрение новых технологий, обучение работе с новыми методами сбора и анализа информации и т.д.). Период времени в точке  $t_5$  и соответствующий ему размер прибыли P5 является переломным моментом, так как прибыль упала до отметки ниже, чем на этапе роста ценности. Часто это является

свидетельством того, что восстановить денежный поток до прежнего уровня в рамках данной бизнес-модели уже не удастся, или для этого потребуется существенное преобразование всех ее элементов. На данном этапе важно сделать правильный выбор между построением новой бизнес-модели и попыткой обновления существующей. Временной отрезок  $t_5 - t_7$  отражает стадию устаревания бизнес-модели, причем точку  $t_6$ , после которой начинается стремительное падение прибыли, можно считать началом смерти бизнес-модели.

Сливотски рассматривает традиционную бизнес-модель и сравнивает ее с инновационной бизнес-моделью компании «Toyota». Он выделил ключевые отличия бизнес-модели компании «Toyota» от бизнес-моделей ее конкурентов, считавших ключевыми факторами успеха передовые технологии, долю рынка и экономию масштаба (табл. 1) [1].

Со временем любая успешная инновационная бизнес-модель может стать традиционной, так же как и традиционная бизнес-модель может стать инновационной, если она применяется с незначительными доработками и модификациями в неспецифичной для нее среде или отрасли.

При проектировании любой бизнес-модели важно понимать, что рано или поздно настанет момент, когда произойдет смещение зоны прибыли и денежный поток не удастся удержать на приемлемом уровне. При конструировании новой бизнес-модели важно оценить степень защиты ее ключевых элементов от копирования, так как копирование может позволить конкурентам перехватить часть денежного потока, тем самым

**Примеры использования концепции «приманки и крюка»**

«Приманка»	«Крючок»
бритва «Gillette»	сменные лезвия
принтеры	картриджи с чернилами
пленочные фотокамеры	пленка и печать фотографий
сотовые телефоны	абонентская плата за связь и прочее
плеер iPod	скачивание музыки посредством i-Tunes
кукла «Barbie»	дополнительные аксессуары
бизнес-приложения	внедрение и техническая поддержка
антивирусное ПО	обновление программы и баз данных
игровые видео приставки	игры
пылесосы	пылесборники

существенно сократить срок жизни бизнес-модели.

Выстраивание механизмов протекции определенных элементов является наиболее актуальным элементом стратегии для компаний, в бизнес-моделях которых используются специфические модели доходов. Одной из наиболее интересных моделей доходов, появившихся в начале 20 столетия, является модель «приманки и крюка» (bait and hook), которую разработал Кинг Кэмп Жилетт (King Camp Gillette), придумав бритву со сменными лезвиями. Примеры использования данной модели представлены в табл. 2.

Данная модель доходов, также называемая моделью «бритвы и лезвий» (razor and blades), моделью «привязанных» продуктов (tied products), или маркетингом «халявы» (freebie marketing), подразумевает предложение основного продукта по очень низкой цене, которая часто ниже себестоимости («приманка»), с дальнейшей компенсацией подобных издержек за счет получения долгосрочной прибыли от продажи «привязанных» товаров или услуг («крюк»).

Резкое изменение жизненного цикла бизнес-модели можно проиллюстрировать на примере компании «Sony», использующей модель «приманки и крюка» при продажах своих игровых консолей серии PlayStation.

На рис. 2 представлен жизненный цикл бизнес-модели компании «Sony» на примере игровой консоли PlayStation 3, где приманкой является сама консоль, продававшаяся по цене ниже себестоимости, а крюк

представляют игры, средняя стоимость которых составляет \$70, причем некоторые издания стоят дороже самой системы.

Компания начала продажи первых версий консоли в конце 2006 г. по цене \$600 при ее себестоимости более \$800, «Sony» теряла более \$200 с каждой проданной коробки. В итоге убытки компании от продаж консолей составили \$3.31 млрд [2]. В конце 2009 г. стали продаваться новые, усовершенствованные варианты консоли – PlayStation Slim, отличающиеся от первых версий вместимостью жесткого диска, меньшими размерами и весом, а также новым процессором и переработанной системой охлаждения. В первые годы продаж консоль приобреталась как некий мультимедийный «комбайн», с помощью которого можно было не только играть, но и работать в Internet, слушать музыку, и, главное, смотреть фильмы в формате Blu-ray, качество воспроизведения которых превосходит многие современные Blu-ray плееры (особенно учитывая тот факт, что их цена сопоставима с ценой консоли).

Разработчики игр стали предлагать поистине успешные продукты только к 2009 г. – чем больше качественных игр выпущено для консоли, тем выше ее потребительская ценность. Бизнес-модель перешла на начальную стадию роста ценности. На графике этому периоду соответствует начальная ситуация на временном отрезке  $t_0 - t_1$ , которому соответствует объем прибыли  $P_1$ . Бизнес-модель стала создавать устойчивый денежный поток, который должен был увеличиваться

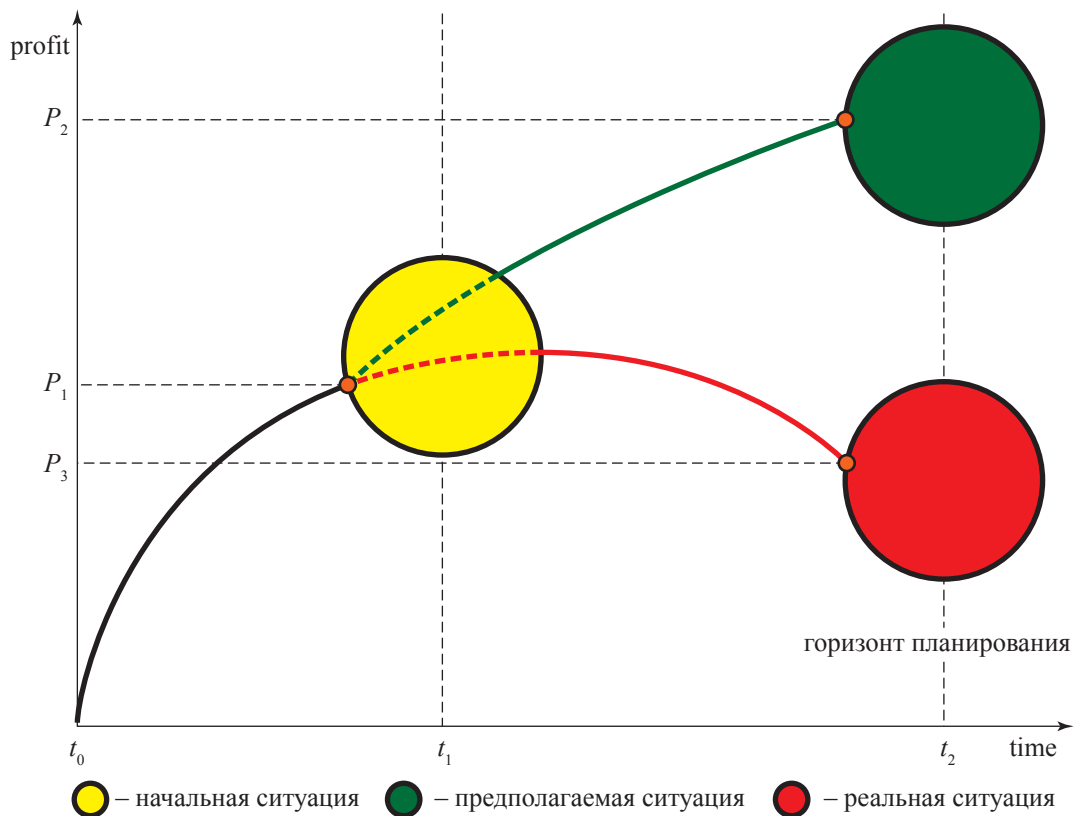


Рис. 2. Жизненный цикл бизнес-модели

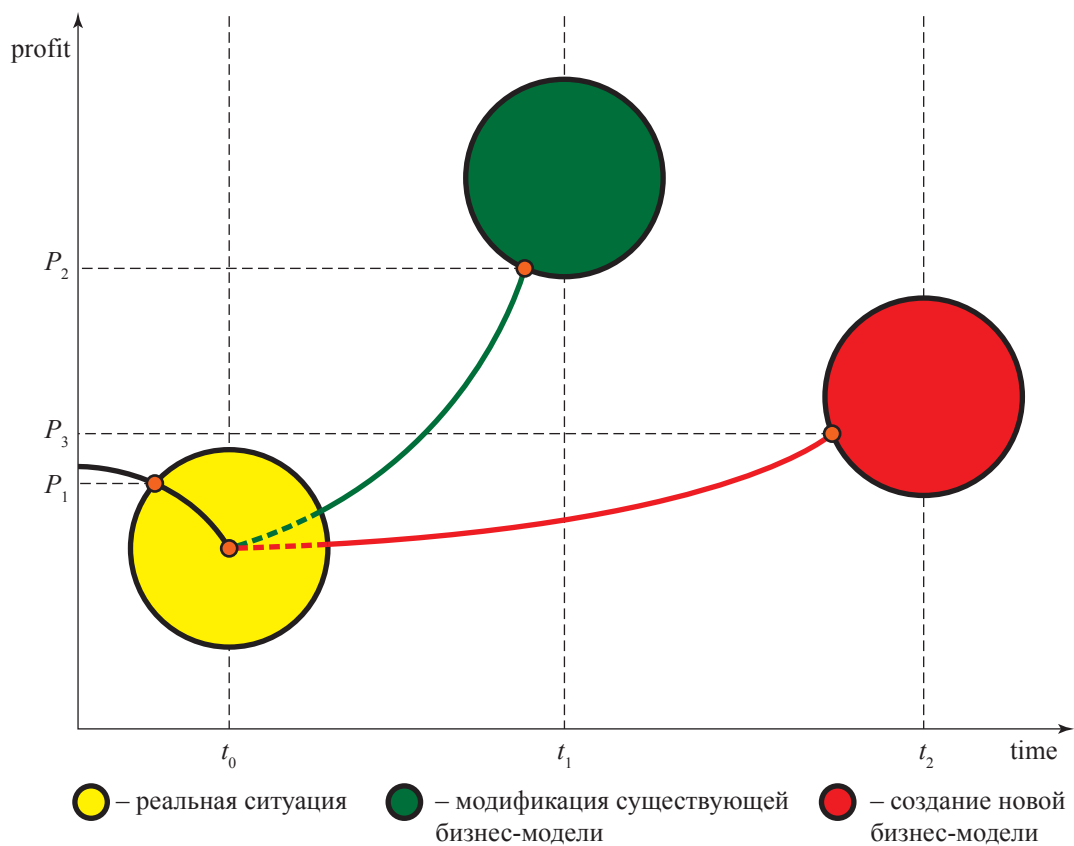


Рис. 3. Создание денежного потока за счет обновленной бизнес-модели



быстрыми темпами – предполагаемая ситуация, соответствующая временному отрезку  $t_1 - t_2$ , которому должен соответствовать объем доходов  $P_2$ .

Но в августе 2010 г. группой хакеров была взломана защита игровой консоли, что позволило недобросовестным пользователям (а таких большинство) устанавливать в систему скачанные из Internet образы дисков с играми, лишив компанию большей части планируемой прибыли – на графике это соответствует реальной ситуации на временном отрезке  $t_1 - t_2$  и соответствующему размеру прибыли  $P_3$ . С одной стороны, это событие должно было существенно увеличить объемы продаж консолей, но интерес к ней как к мультимедийному центру начал падать, так как цены на Blu-ray приводы сильно снизились, а их качественные характеристики улучшились. Улучшение производительности и существенное снижение цен на DTR-ноутбуки и нетбуки, а также появление различных планшетных компьютеров снизили привлекательность консоли от «Sony» как устройства для Internet-серфинга.

Компания потеряла значительную часть денежного потока, а бизнес-модель сразу перешла из начала цикла роста ценности в цикл устаревания.

В таких случаях необходимо существенно преобразовывать бизнес-модель или конструировать новую (рис. 3).

Можно предположить 2 варианта развития бизнес-модели компании «Sony»: первый заключается в адаптации текущей бизнес-модели компании к новым реалиям рынка, а второй предполагает создание новой бизнес-модели. Второй вариант маловероятен, так как компания уже понесла значительные убытки ( $t_0 - P_1$  на графике), а давление со стороны конкурентов («Microsoft» с консолью Xbox 360 и «Nintendo» с Wii) не позволяет компании затрачивать значительные ресурсы на построение новой бизнес-модели. Поэтому оптимальным вариантом является обновление бизнес-модели.

Все большую популярность получают игры с использованием контроллеров движений (Wii Remote от «Nintendo», Kinect

от «Microsoft» и Move Motion от «Sony»). «Nintendo» уже использовала эту инновацию в 2006 г., создав уникальную бизнес-модель и полностью завоевав сегмент потребителей, любящих «активные» игры. «Sony» и «Microsoft» только в конце 2010 г. выпустили подобные продукты, но их консоли обладают большими техническими возможностями, что позволит им в ближайшее время поделить между собой большую часть сегмента «Nintendo».

В рамках своей бизнес-модели «Sony» может построить новую модель доходов, основной концепцией которой станет продажа видеоигр в комплекте с контроллерами движений, используемых только для конкретной игры и которые нельзя приобрести отдельно. Это позволит минимизировать потери прибыли, связанные с падением продаж игр. Также можно адаптировать уже выпущенные игры под работу с новыми контроллерами движений и тем самым вернуть желание пользователей покупать легальные продукты, а не довольствоваться скачанными из Сети пиратскими версиями. Еще одним технологически важным фактором, который может повлиять на развитие бизнес-модели «Sony», является распространение 3-d телевизоров, и, как следствие, адаптированных под трехмерную картинку игр. В процессе адаптации могут быть применены новые методы защиты от копирования, что также позволит вернуть пользователей к легальной продукции.

Для этого необходимо преобразовать часть элементов бизнес-модели – поменять механизмы формирования ценности, доработать ключевые процессы, связанные с логистикой, производством и продвижением и, наконец, изменить формулу прибыли. Подобная модификация бизнес-модели позволит в короткие сроки (отрезок  $t_0 - t_1$ ) создать стабильный денежный поток, соответствующий размеру прибыли  $P_2$ .

Как правило, жизненный цикл бизнес-модели включает все три этапа. Примером бизнес-моделей, жизненный цикл которых состоял из одного или двух этапов, являются бизнес-модели «доткомов» (т.е. компаний,

бизнес-модель которых функционирует только в пределах сети Internet) образца конца 90-х годов XX в. Жизненный цикл бизнес-моделей «доткомов» того времени состоял, в лучшем случае, из роста ценности и устаревания, мимолетная фаза стабильности – они появлялись так же быстро, как и исчезали. Но многие «доткомы» даже не успевали «стареть», а просто теряли свою актуальность в начале этапа роста ценности.

Итак, первый этап полноценной бизнес-модели начинается с дизайна архитектуры бизнеса, благодаря которой начинает создаваться некая ценность, и заканчивается формированием денежного потока, увеличивающегося по мере роста ценности. На втором этапе наступает фаза стабильности, во время которой все элементы бизнес-модели начинают работать как отлаженный механизм – становится понятно, что нужно делать, появляются знания о том, как это делать, и вырабатывается чувство предвидения относительно того, сколько делать. Рождаются новые технологии, появляются новые механизмы продвижения и изменяется скорость оборота ресурсов – все это легко интегрируется в бизнес-модель с грамотно выстроенными ключевыми элементами, находящейся в стадии стабильности. На третьем этапе жизненного цикла бизнес-модели наступает фаза устаревания. Она связана, прежде всего, с невозможностью создавать в рамках старой бизнес-модели новую ценность, требуемую потребителями. Но так как на начальных этапах появления новой ценности затраты переключения для многих потребителей слишком высоки, они на какое-то время еще будут оставаться потребителями ценности, генерируемой бизнес-моделью. Например, пользователи аналоговых фотокамер не сразу смогли перейти на цифровые камеры, так как их цена на момент по-

явления была слишком высока, поэтому они продолжали какое-то время пользоваться услугами фотолабораторий (проявка и печать пленки), тем самым обеспечивая «старость» бизнес-модели. Подобную ситуацию можно было наблюдать, когда на смену пылесосам с дорогостоящими картонными пылесборниками пришли пылесосы с аквафильтрами, видеомагнитофоны с видеокассетами сменили cd/dvd/blue-ray плееры, а кассетные плееры сменили cd/md/mp3 портативные устройства.

Важно не только понимать, на какой стадии жизненного цикла находится бизнес-модель, но и суметь вовремя отказаться от нее. В книге «Маркетинг со скоростью мысли» Адриан Сливотски приводит слова бывшего руководителя «Hewlett-Packard» Лью Плэтта (Lew Platt), который говорил, что единственной крупной проблемой в бизнесе является привязка к прежней успешно действующей бизнес-модели, когда от нее уже нужно давно отказываться [3].

Поэтому при анализе жизненного цикла бизнес-моделей важно правильно оценивать ситуацию и вовремя принимать решение о проектировании новой бизнес-модели, а не пытаться реанимировать безнадежно умирающую бизнес-модель, поглощающую все новые и новые ресурсы, приносимые на алтарь нерешительности.

#### Библиографический список

1. Сливотски, А. Миграция ценности. Что будет с вашим бизнесом послезавтра? / А. Сливотски. – М.: Изд-во Манн, Иванов и Фербер, 2006.
2. Geek-портал МОРО [электронный ресурс]. Sony lost \$3.31 billion by selling PS3 below cost. – Режим доступа: <http://www.mopo.ca/2008/06/sony-lost-331-billion-by-selling-ps3.html>
3. Сливотски, А. Маркетинг со скоростью мысли / А. Сливотски, Д. Моррисон. – М.: Изд-во Эксмо, 2002.

## ФИЛОСОФИЯ, СМИ И БУДУЩЕЕ КУЛЬТУРЫ ЧЕЛОВЕКА: ПРОБЛЕМА ВЗАИМНЫХ ОТНОШЕНИЙ

В.П. МАЙКОВА, доц. каф. философии МГУЛ, канд. философских наук

*valmaykova@mail.ru*

**И**нформационное пространство, находясь под определяющим, ведущим воздействием общественного бытия, изменяет направление своего развития и содержания, в то же время оно как фактор формирования общественного сознания продолжает совершенствовать формы отражения, посредством которых велось до сих пор отражение.

Читательский интерес к СМИ изменяется по времени, которое культурно разрознено. Один читатель уходит, другой приходит. Каждый раз исчезает и больше не возобновляется прошлый литературный опыт, внутри которого и рождались СМИ. Массмедийный поток доставляет необходимое знание просто, грубо и всеми возможными техническими способами. Нужда в чтении, в той физиологически замкнутой позе, тишине, недоступности, полной сосредоточенности и, главное, в страстном желании читать проходит, все это уже невосстановимо.

Сегодня победило не чтение, а писание. Оно стало матричным условием массмедийного нарратива. Не обязательно читать, важно писать.

Ограничение чтения по времени приводит к депрофессионализации гуманитарного знания. В социуме выделяется прослойка специальных читателей, которую Р. Барт [1] назвал аристократией чтения. Где сегодня взять время для чтения? И все-таки вопрос не в том, что кто-то очень хочет читать, а ему не дают. Вопрос в другом – он вообще не хочет читать.

Отсюда уровень культуры потребления массовой коммуникации. Если потребление массовой коммуникации, особенно Интернета, превращается в неистребимую страсть, когда без разбора, некритично поглощаются все материалы или только развлекательные, то это являет собой типичный пример «бездуховного потребления» со всеми вытекающими отсюда последствиями оскудения духовного мира человека и его общения. Проблема повышения

культуры потребления массовой коммуникации стоит сейчас очень остро. Мир информации, передаваемой средствами массовой коммуникации, настолько насыщен важнейшими, интереснейшими, острейшими материалами, особенно сейчас, что сориентироваться в них, выбрать наиболее важное и насущное, все успеть охватить – дело чрезвычайно сложное. Недаром, известный латышский писатель Янис Петерс сравнивает умение читать программы телевидения для выбора соответствующих передач с умением работать в библиотеке и предлагает учиться умению должным образом читать программы телевидения и учить тому же детей, в частности в семейных обсуждениях [2]. Действительно, культура потребления средств массовой коммуникации должна прививаться с детства и не только в отношении телевидения, но и всех остальных каналов массовой коммуникации.

Одним из надежных критериев для оценки роли массовой коммуникации в развитии личности является развитие и широта информационных интересов, их направленность на информацию разных типов и тем (общественно-политическую и художественную, познавательную и развлекательную).

В нашем обществе, где развитие человека является его целью, а формирование общественного сознания – это одновременно и результат и средство развития как общества в целом, так и отдельного человека, основная функция средств массовой коммуникации на уровне личности – это единство информационного обеспечения и реализации разносторонней активности личности. Для успешного выполнения данной сложной функции необходимы теоретические и прикладные исследования массовой коммуникации. Важная роль в этих исследованиях принадлежит философии. Выявляя факторы эффективности массовой коммуникации, философские исследования вносят свой вклад в развитие

процессов преобразования и демократизации общетехнического прогресса.

Специфику СМИ как важного фактора формирования общественного сознания можно раскрыть лишь на основе анализа, во-первых, способа, которым они отражают различные сферы общественного бытия, и, во-вторых, содержания такого отражения. Оба этих подхода к изучению СМИ как важного фактора формирования общественного сознания должны иметь философский подход, опираться на решение основного вопроса философии применительно к обществу.

Эта параллель проводится не для того, чтобы возвести средства массовой информации в абсолют, а из убеждения, что они как важный фактор формирования общественного сознания при всех ошибках, недостатках и заблуждениях позволяют судить о механизме жизни. Следует иметь в виду две стороны гносеологического аспекта: направленность отражения на внешний мир; первичность отображаемого и вторичность отображения.

Но сфера всеобщности отражения и активности различна, что присуще не всем видам материального взаимодействия. Отражение становится активным, когда отражающее и отражаемое образуют такую противоречивую целостную систему, внутри которой можно выделить активный центр и соответствующую среду. И, наоборот, взаимодействие, стороны которого представляют собой лишь сосуществующие, расположенные, связанные друг с другом совершенно случайным образом, обуславливает пассивный вид отражения.

Изучение сложного соотношения информированности общества и действительности на уровне теории является не переменным и постоянным условием для плодотворного функционирования СМИ как важного фактора формирования общественного сознания во всей многогранности социальных связей. Изменение объекта отражения влечет за собой, разумеется, также и изменение содержания, характера отражения в искусстве, что неизбежно обогащает все новыми и новыми элементами, фактами и само отношение действительности и СМИ. Отражение в информационном пространстве отнюдь не является элементарным,

«фотографическим», оно представляет собой творческий акт, в котором автор выражает индивидуальное понимание отражаемого мира, более того – преобразует действительность. Но очевидно и то обстоятельство, что СМИ отражают закономерности и противоречия общественной жизни, включая скрытые устремления людей, интересы которых – порождение общественных отношений. Концепцию этого своеобразного заглядывания в будущее изложил П.К. Анохин [3].

Предполагает ли природа отражения в средствах массовой информации точное воспроизведение в художественном образе всей цельности и многокрасочности чувственно воспринимаемого мира? Художественный образ – сложная структура, она обобщенно отражает мир. Но момент несоответствия существует. Если посредством образов преобразовывается действительность с целью отражения реального положения вещей, которое влияет в свою очередь на формирование художественного образа, то здесь имеет смысл вести речь не о непосредственном влиянии, а опосредованном, переломленном через призм многообразных общественных явлений. Здесь действует диалектический принцип взаимосвязи и взаимообусловленности.

Обобщая сказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Отражение – это всеобщее свойство материи.
2. Отражение предполагает взаимодействие отражающей и отражаемой систем, которое может быть как прямым, так и опосредованным.
3. В процессе взаимодействия отражающая система воспроизводит свойства и структуру отражаемой системы путем изменения своих свойств и структуры.
4. Всеобщность отражения вытекает из универсальности причинно-следственной связи, поскольку отражение есть аспект отношения причины и следствия.
5. Универсальность отражения является необходимым условием познаваемости мира.

Поскольку сознание человека есть самосознание, человек способен не только к

первичному отражению (отражению, условно говоря, первого порядка), но и к вторичному отражению, т.е. к самовыражению (отражению второго порядка). Это приводит к далеко идущим последствиям. Если субъект познания способен отражать самого себя, то объектом отражения могут стать как объекты внешнего мира, так и сама деятельность познающего субъекта. Сознание человека может пойти еще дальше: оно может подвергнуть анализу процесс не только отражения, но и самовыражения. Другими словами, отражение второго порядка может стать объектом для отражения третьего порядка и т.д. Таким образом, возникает своеобразная иерархия отражений, которая не уходит в бесконечность, а обрывается на какой-то определенной ступени, в каждую историческую эпоху она своя. Но даже самоанализ может развиваться до определенной степени.

Относительная самостоятельность СМИ как важного фактора формирования общественного сознания вытекает непосредственно из активности сознания в познавательной деятельности субъекта (журналиста, печатного органа) [4]. Информационное поле, находясь под определяющим, ведущим воздействием общественного бытия, изменяет направление развития и содержания, в то же время оно как важный фактор формирования общественного сознания продолжает совершенствовать формы отражения, посредством которых велось до сих пор отражение. Здесь действует диалектический принцип взаимосвязи и обусловленности. Активность СМИ как важный фактор формирования общественного сознания проявляется в том, что, выполняя специфические функции, она выходит за пределы своей сферы и воздействует на существующее общественное сознание, формирует его, отражаясь в нем, влияя на его историческое развитие, на его содержание.

СМИ как важный фактор формирования общественного сознания существует как составная часть идеологии и общественной психологии, образуя с ними определенное сочетание, единство. Именно эта форма общественного сознания конкретизирует связь информационного пространства с обществен-

ной деятельностью не только социальных групп, но и отдельных индивидов. СМИ, как и любой другой фактор формирования общественного сознания, отличается спецификой возникновения, существования и воздействия на общество и людей.

Процесс формирования общественного сознания – многократно опосредованный процесс: это формирование преломляется через призму практической деятельности людей, их убеждений. Логика формирования общественного сознания есть прежде всего логика отражения общественным сознанием общественного бытия. «Само собой разумеется, что, говоря о полном решении, мы имеем в виду не арифметику общественного развития, а указание того, как надо подходить к открытию этих причин» [5]. Указание того, как надо подходить к открытию этих причин, очень важно применительно к роли СМИ как важного фактора формирования общественного сознания. Эта та сверхзадача, к которой стремится правдивая печать.

Информационное пространство, находясь под определяющим, ведущим воздействием общественного бытия, изменяет направление своего развития и содержания, в то же время оно как фактор формирования общественного сознания продолжает совершенствовать формы отражения, посредством которых велось до сих пор отражение. Здесь диалектический принцип взаимосвязи и взаимообусловленности. Формирование общественного сознания было вызвано к жизни самой логикой развития человеческой цивилизации с тех пор, как появилось государство. Социальное отражение фиксируется изменением состояния не только духовных, но и предметных образований вторичного уровня общественной жизни. Предметные образования (учреждения надстройки), так же как и идеологические отношения, отражают в своей организации первичное в жизни общества опосредованно через общественное сознание, в зависимости от которого они становятся социальной реальностью.

СМИ как важный фактор формирования общественного сознания воспроизводит «контуры мира» посредством информации, объективно отражающей события, осмыс-

ленные с субъективных позиций. Активное познавательное отражение действительности ведется с учетом категории времени и точки зрения субъекта (журналиста и печатного органа, от имени которого он выступает), его внутреннего движения. СМИ проделывают гносеологический путь от описаний фактов реальной действительности в их конкретности до обобщения полученных данных в процессе общественной практики. Какова степень объективности такого рода отражения?

Теоретически познание общественно-бытия реализуется на основе взаимодействия между общественным бытием и общественным сознанием, является результатом их диалектического взаимодействия. Но познавательное отражение всегда ведет к воспроизводству в определенной форме, с определенной мерой полноты и точности, объекта отражения. Практически же в информационном пространстве мы имеем дело с выборочным, частичным отражением той или иной сферы общественного бытия.

История отечественной философской мысли свидетельствует в пользу того, что эффективно действующая социальная система обладает способностью к саморазвитию, стимулирует позитивные перемены, инициирует политическую и гражданскую активность и при этом является решающим фактором политической стабильности общества. Напротив, социальные системы, в которых не сложился средний класс и преобладают или господствуют интересы меньшинства населения, исключительно опасны: они не обеспечивают устойчивость развития, подтачивают стабильность и приводят к масштабным социальным конфликтам.

Есть основания предположить, что три особенности характерны для развития современного информационного поля.

1. Освободившись от апологетики марксизма-ленинизма, догматизма, информационное пространство получило возможность реализовать свой потенциал в соответствии с современными интерпретациями идеи «свободы печати».

2. Информационное пространство, расставшееся с отжившими постулатами,

захлестнули новые веяния. Оно оказалось неспособным позитивно повлиять на определение модели социального прогресса, на формирование политического курса, отвечающего интересам развития страны.

3. В кризисном социуме, когда экономические и социально-политические противоречия, не имея тенденции к разрешению, разлагают гуманистические формы бытия, формируют ситуацию, близкую к катастрофе, СМИ как интеллектуальная сила обязаны принять на себя защитные функции по отношению к человеку и его духовному миру. Не потому ли, что информаторы, берясь за перо или сядя за клавиатуру компьютера, руководствуются принципом поэта: «Нам не дано предугадать, Как слово наше отзовется...» [6].

Перед гибелью отец Александр Мень 11 лет назад провидчески предупреждал нас о грозящих миру последствиях безверия и межрелигиозных распрей. Что может победить этот страх? – Только Любовь, Вера, Надежда. В период «зимы тревоги нашей» все люди, которым дорога их Земля, должны создавать на основе любви группы и ассоциации единомышленников добра. Человечество должно осознать, что никакая суперцивилизация и высокие информационные технологии не могут заменить духовного совершенствования людей. Должно развиваться сотрудничество на основе новой инфоэтической концепции, науки истинно безопасной для людей, утверждающей высокие нравственно-экологические принципы.

### Библиографический список

1. Барт, Р. Избранные работы: Семиотика. Поэтика / Р. Барт. – М., 1994. – 616 с.
2. Майкова, В.П. Российская пресса на стыке 20 и 21 вв. От советской коммунистической к либертарианской? / В.П. Майкова // Россия: идеи и люди: сб. науч. тр. – М., 2003. – Вып. 8.
3. Майкова, В.П. Деятельность СМИ в системе политических институтов как фактор формирования общественного мнения / В.П. Майкова // Духовность. – 2007. – № 7. – С. 13–22.
4. Плеханов Г.В. Избранные философские произведения. В пяти томах. – Т. 3. / Г.В. Плеханов. – М.: Политиздат, 1957. – 160 с.
5. Тютчев, Ф.И. Стихотворения / Ф.И. Тютчев. – М.: Художественная литература, 1985. – 303 с.

## МАССОВАЯ КОММУНИКАЦИЯ И МЕЖЛИЧНОСТНОЕ ОБЩЕНИЕ В ФОРМИРОВАНИИ ОБЩЕСТВЕННОГО СОЗНАНИЯ

В.П. МАЙКОВА, доц. каф. философии МГУЛ, канд. философских наук

*valmaykova@mail.ru*

Важнейшими признаками массовой коммуникации являются ее публичность, универсальность (включает всевозможную информацию), социальная актуальность (выражает потребности и интересы больших социальных групп и слоев), периодичность информации.

Эти и другие признаки существенно отличают массовую коммуникацию (информацию) от межличностного общения. Эти различия схематично представлены в таблице [1].

Уже это перечисление показывает, во-первых, многообразие функций, выполняемых СМИ; во-вторых, что они выполняют и познавательные и управленческие задачи. Причем первые в значительно большей степени связаны с мировоззренческими, идеологическими подходами, чем вторые. Следо-

вательно, в любом случае СМИ могут играть и позитивную и отрицательную роль. Соотношение между выполняемыми ролями зависит не только от качества всех элементов коммуникации (в частности коммуникатора и технических средств), но и целей, которые ставит коммуникатор, удовлетворения потребностей и интересов либо всего общества, большинства населения, или определенных узких социальных групп, правящих и других элит в обществе.

Следует также отметить, что коммуникационные функции в определенной мере могут решать проблемы замены непосредственного межличностного контакта в обществе для тех, кто страдает от дефицита коммуникации, общения. В первую очередь, речь здесь может идти о подростках, у которых возникли осложнения в общении с окру-

Т а б л и ц а

### Основные различия между массовой коммуникацией и межличностным общением

Массовая коммуникация	Межличностное общение
1. Опосредованность общения техническими средствами	1. Непосредственный контакт в общении
2. Общение больших социальных групп	2. Общение в основном отдельных индивидов
3. Ярко выраженная социальная ориентированность общения	3. Как социальная, так и индивидуально-личностная ориентированность общения
4. Организованный, институциональный характер общения	4. Как организованный, так и в большой степени спонтанный характер общения
5. Отсутствие непосредственной обратной связи между коммуникатором и аудиторией в процессе общения	5. Наличие непосредственной обратной связи между общающимися в процессе коммуникативного акта
6. Повышенная требовательность к соблюдению принятых норм общения	6. Более «свободное» отношение к соблюдению принятых норм общения
7. Однонаправленность информации и фиксированность коммуникативных ролей	7. Попеременная смена направленности информации и коммуникативных ролей
8. «Коллективный» характер коммуникатора и его «публичная индивидуальность»	8. «Индивидуальный» характер коммуникатора и его «приватная индивидуальность»
9. Массовая, стихийная, анонимная, разрозненная аудитория	9. Реципиентом выступает отдельный конкретный человек
10. Массовость, публичность, социальная актуальность и периодичность сообщений	10. Единичность, приватность, универсальность, социальная и индивидуальная актуальность, необязательная периодичность сообщений
11. Преобладание «двухступенчатого» характера восприятия сообщений	11. Преобладание непосредственного восприятия сообщения

жающими, о пожилых людях, пенсионерах, страдающих от одиночества, больных, инвалидов, у которых ограничены возможности межличностного общения, а также представителей социально-этнических групп в силу недостаточных связей с другими людьми (титульной нации) и слабого владения языком коренного населения. В последнем случае очень важны СМИ, функционирующие на языке той или иной социально-этнической группы. В области социальной работы важнейшее значение имеет также отмеченная некоторыми исследованиями функция самоутверждения. Она проявляется в том, что реципиенты (читатели, слушатели, зрители, пользователи Интернета) могут находить в СМИ прямую или косвенную поддержку тех или иных ценностей, идей, взглядов, установок, которые исповедуют они сами или реципиентные группы. Это особенно актуально в условиях кризиса в обществе, его нравственной деградации, проповедуемых большинством официальных (или даже бульварных) СМИ, органов, организаций, редакций, сайтов. СМИ выполняют также так называемую утилитарную функцию. Она способствует решению реципиентом каких-либо практических, конкретных вопросов быта, организации досуга, самолечения и т.д. Это осуществляется с помощью специальных передач, каналов, сайтов.

В условиях кризиса, социальной напряженности, положительную роль может сыграть функция эмоциональной разрядки, осуществляемая с помощью передач, материалов развлекательного характера. Однако во всем нужна, как говорил Гегель, мера. Дело в том, что обилие таких передач может уводить в мир иллюзий, отвлекать от существующих реальностей в обществе.

Кстати, такую роль могут (и играют) многочисленные (раньше иностранные, а сейчас и российские) боевики. Вред их в том, что они пагубно сказываются на неокрепшей психике детей и молодежи, порождая иллюзию, что такая преступная жизнь является нормой жизнедеятельности, выступая своеобразным эталоном поведения молодых людей, «технологией» взаимоотношений людей.

На сегодняшний день не существует единого комплексного взгляда на виртуальную реальность. Виртуальная реальность оказалась настолько многогранной, что в ее системе оказались объединенными все усилия и достижения человечества.

СМИ передают и хранят колоссальные объемы информации. А это требуют организации управления, осуществляемой специальными учреждениями: редакциями газет, радио, телевидения, провайдерами – поставщиками услуг Интернета, выступающими в качестве социальных институтов, реализующими в конечном итоге интересы тех или иных социальных слоев, групп, классов, в первую очередь правящих элит. Воздействие на СМИ могут оказывать и другие слои и группы с помощью своих организаций, движений, партий, своих представителей в законодательных и исполнительных органах. Одной из форм такого воздействия является деятельность так называемых наблюдательных советов, действующих во многих зарубежных странах.

Специфической особенностью СМИ является то, что в них иногда отсутствует непосредственная обратная связь между коммуникатором и аудиторией (реципиентами). В этом – главный недостаток массовой коммуникации по сравнению с межличностным общением. Обратная связь очень важна для достижения взаимопонимания, повышения качества и изменения содержания передаваемой информации [3].

Конечно, обратная связь между коммуникатором и аудиторией в определенных пределах имеет место. Она выступает, например, в форме телефонных звонков в редакцию, показа телекадров с вопросами, оценками, репликами реципиентов, писем подписчиков в газеты и журналы, письменных сообщений виртуального собеседника и т.д. Однако это могут быть мнения отдельных реципиентов, не отражающих взгляды, позиции большинства аудитории, тех или иных групп или слоев. При этом надо иметь в виду, что организаторы таких откликов часто действуют выборочно, предоставляя слово тем, кто отражает позицию коммуникатора и стоящих за ними



определенных политических и социальных сил.

При этом чаще всего такая обратная связь носит так называемый отсроченный характер, т.е. после окончания передачи, прочтения сообщения, газеты, журнала.

Составной частью коммуникативных средств СМИ является реклама. Она может быть интерпретирована как различные формы оповещения (главным образом средствами массовой информации) о потребительских свойствах товаров и видах услуг, в том числе социальных, в целях их возможно более широкого сбыта. В переносном смысле под рекламой понимают также создание максимальной популярности кому-либо или чему-либо. Например, кандидатам в депутаты, произведениям искусства и литературы и т.д.

На рекламу можно не обращать внимания, не заглядывая в рекламные страницы изданий, выключая радиотелевизионные аппараты, выражая свое возмущение и раздражение ее настырностью, а иногда и безвкусицей. Так или иначе, реклама и рекламные объявления стали настолько навязчивыми, что делать вид, что их не замечаешь, просто невозможно. Подчас реклама оказывается непорядочной, неграмотной или просто вредной.

Нельзя не отметить законодательное решение в западных странах о продолжительности рекламного времени в аудиовизуальных СМИ, а также условий его использования. Практически во всех странах оно ограничено

Так, рекламные передачи в Германии должны занимать не более 20 % дневного эфирного времени. В Австралии 120 минут на радио, 20 минут на телевидении. Рекламные передачи запрещены по праздничным дням. В Италии на государственном вещании 4 % недельного эфирного времени, в Нидерландах – 5 %, в Финляндии – 11 %. В Швейцарии рекламные вставки могут быть сделаны лишь один раз в программы продолжительностью более 90 минут.

Рассматривая социально-психологические аспекты основных компонентов массовой коммуникации, остановимся на вопросе:

обогащает или обедняет массовая коммуникация наше межличностное общение, нашу духовную жизнь? Необходимость обращения к этому вопросу во многом определяется тем, что здесь существуют на сегодняшний момент весьма противоречивые мнения.

Так, нередко можно услышать утверждения о том, что массовая коммуникация и особенно телевидение, Интернет – это трагедия XXI века, это своего рода «информационно-развлекательная наркомания», которая закабальет человека, насаждая стереотипы восприятия, мышления и поведения огромным массам людей, лишая их фантазии, творческой инициативы, самостоятельной позиции и превращая в бездуховных потребителей. Отмечается, что, поглощая львиную долю досуга, массовая информация все больше сокращает возможности для межличностного общения в семье, с друзьями, делает его все более поверхностным и формальным. Люди все реже общаются друг с другом, все реже говорят между собой, что у человека появляется опасная привычка предпочитать в качестве собеседника неодушевленные предметы: компьютер, радио, телевидение, газеты. Статистические данные свидетельствуют о том, что, несмотря на увеличение свободного времени, у населения в крупных городах появилась тенденция к значительному сокращению времени, которое тратится родителями на различные формы общения с детьми. Отмечается и такое печальное явление, как снижение интереса детей и подростков к чтению, что нередко связывается с предпочтением ими телевидения или Интернета как более «легкого» канала, требующего меньших интеллектуальных усилий по сравнению с чтением. Опасность телевидения для детей состоит в том, что оно размывает представление о реальном мире, мешает чтению и играм, формирующим фантазию, социализирующим, развивающим речь, аргументацию, общение. Чем больше времени тратится на телепросмотры, тем уже объем внимания, меньше его устойчивость. Отрицательно сказывается на развитии человека и нахождение в виртуальной реальности. Экстраполируя интенции, сложившиеся в виртуальном мире,

на объективную реальность, человек способен утратить элементарные жизненные ценности и ориентиры.

Все эти мнения подчеркивают отрицательные последствия для развития личности и общения современной массовой коммуникации и особенно телевидения и Интернета [4].

Однако наряду с подобными взглядами почти столь же часто можно встретить утверждения о том, что массовая коммуникация и особенно телевидение и Интернет – это величайшее благо XXI века, это неотъемлемая часть духовной жизни народа, что современная массовая коммуникация практически безгранично расширила наши горизонты, сделала доступным получение информации из любой точки земного шара, т.е. значительно увеличила возможности человека приблизиться к миру других людей, получить новые знания о них и тем самым обогатить свой внутренний мир, в том числе и за счет общения, вызванного обсуждением того или иного материала массовой коммуникации.

Почему же столь разноречивы мнения об одном и том же явлении, доступном миллионам и даже миллиардам людей?

Представляется, что дело тут в сложности и противоречивости самой массовой коммуникации как конкретном проявлении научно-технической революции, а также в диалектическом характере взаимосвязи между массовой коммуникацией и межличностным общением. Поэтому на вопрос: «Обедняет или обогащает массовая коммуникация наше межличностное общение, духовный мир человека?» – не может быть однозначного ответа. Он зависит от учета целого ряда факторов. Прежде всего, воздействие печати, радио, телевидения на наше общение, на духовный мир в значительной степени за-

висит от содержания материалов массовой коммуникации, что в основном определяется условиями социально-экономической системы. Когда сообщения оперативны и правдивы, когда они глубоки и гуманны по содержанию, когда они выступают как правдивое зеркало жизни, как равноправный партнер по общению, как добрый друг и советчик, как средство формирования активной жизненной позиции, чувства социальной ответственности и творческой инициативы, когда они содействуют приобщению широких масс людей к достижениям современной науки и искусства, тогда массовая коммуникация, безусловно, создает предпосылки для обогащения духовного мира человека и его общения с другими людьми. Если же преобладают материалы низкопробные, неправдивые, полные сцен жестокости и насилия, аппелирующие к чувствам страха и зависти, разжигающие ненависть к другим народам, то в этих условиях массовая коммуникация, конечно, не может содействовать развитию личности, обедняет внутренний мир человека и общения с людьми.

#### Библиографический список

1. Майкова, В.П. Деятельность СМИ в системе политических институтов как фактор формирования общественного мнения / В.П. Майкова // Духовность. – 2007. – № 7. – С. 13–22.
2. Бомолова, Н.Н. Социальная психология печати, радио и телевидения / Н.Н. Бомолова. – М.: МГУ, 1991. – 127 с.
3. Майкова, В.П. Российская пресса на стыке 20 и 21 вв. От советской коммунистической к либертарианской? / В.П. Майкова // Россия: идеи и люди: сб. науч. тр. – Вып. 8. – М.: МГОУ, 2003. – С. 45–54.
4. Майкова, В.П. Природа и разум / В.П. Майкова // Пути выхода из глобального кризиса и модели нового мироустройства: материалы международного научного конгресса «Глобалистика 2009». – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2009.

**Рыбальченко Н.Г., Цареградский П.В. СПЛОШНЫЕ РУБКИ И ЛЕСОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС НА ВЫРУБКАХ.**

Показано воздействие лесозаготовительной техники при сплошных рубках на почву и особенности роста культур ели в измененных почвенных условиях.

Ключевые слова: лесозаготовительная техника, почва.

**Reebalchenko N.G., Tsaregradsky P.V. CLEARCUTS AND FOREST REGENERATION PROCESS IN CUTOVER AREAS.**

The impact of logging equipment on soil in clear-cutting and specific features of spruce plantation growth and regeneration process in soil conditions changed are described.

Key words: harvesting machinery, soil.

**Обыдёнников В.И., Тибуков А.В., Тишина Т.А. ПОСЛЕДСТВИЯ СПЛОШНЫХ РУБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АГРЕГАТНОЙ ТЕХНИКИ В ЕЛЬНИКАХ (по результатам 20-летних стационарных исследований).**

Приведены результаты длительных стационарных исследований последствий сплошных рубок на базе агрегатной техники в ельниках.

Ключевые слова: сплошная рубка, сохранение подроста, тип вырубki, состав древостоя.

**Obydennikov V.I., Tibukov A.V., Tishyna T.A. CONSEQUENCES OF CLEAR-CUTTINGS USING OF AGGREGATE TECHNOLOGY IN FIR-GROVES (by results of 20-year-old stationary researches).**

Results of the long-time stationary research of clear-cutting consequences based on aggregate in fir-groves are given.

Key words: clear-cutting, preservation of growth, the type of logging, forest stand composition.

**Ерусалимский В.И., Власенко А.А. РОСТ И СОСТОЯНИЕ РУКОТВОРНЫХ МАССИВНЫХ ДУБРАВ В ЗАСУШЛИВОЙ СТЕПИ.**

Рассмотрены результаты выращивания массивных насаждений (культур) дуба черешчатого, достигших 55-летнего возраста, в смешении с сопутствующей породой и чистых культур в засушливой степи на южных черноземах, темно-каштановых и каштановых почвах. Установлено, что на южных черноземах и темно-каштановых почвах при определенном уходе возможно выращивание как смешанных, так и чистых насаждений дуба III-IV бонитета. На каштановых солонцеватых почвах выращивание массивных насаждений дуба нецелесообразно.

Ключевые слова: дуб черешчатый, ясень ланцетный, массивные дубравы, группы почв, категории состояния насаждений, бонитеты, чистые насаждения, смешанные насаждения.

**Yerusalimsky B.I., Vlasenko A.A. GROWTH AND CONDITION OF MAN-MADE FOREST OAK PEDUNCULATE STOCK IN DRY STEPPE.**

It is determined that in certain care it is possible to grow both mixed and single-species oak plantations of III-IV forest on south chernozem and dark chestnut soils. It is unreasonable to grow stocks on chestnut alkali soils.

Key words: pedunculate oak, green ash, stock oak plantations, soil class, plantation condition class, forest site, single-species stands, mixed stands.

**Кашпор Н.Н., Мартынюк А.А., Желдак В.И., Сидоренков В.М., Трушина И.Г., Кудряшов П.В., Солонцов О.Н. СХЕМА ЛЕСНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.**

В статье изложены материалы разработки «Лесного районирования», подготовленные в соответствии с требованиями лесного законодательства, со схемой выделения лесорастительных зон и в их границах лесных районов на территории всей страны

Ключевые слова: лесное районирование, условия использования, охрана, воспроизводство лесов.

**Kashpor N.N., Martynuk A.A., Zheldak V.I., Sidorenkov V.M., Trushina I.G., Kudrjashov P.V., Solontsov O.N. FOREST ZONING DESIGN IN THE RUSSIAN FEDERATION.**

The article covers the output of the forest zoning developments under the current forest legislation using forest growing zone assignment design within forest region boundaries across the whole country.

Key words: forest zoning, use conditions, protection, reproduction of woods.

**Чижев Б.Е., Харлов И.Ю., Козинец В.А., Агафонов Е.Ю. ЗОНАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ СОСНЯКОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.**

Проанализированы зонально-типологические закономерности обеспеченности сосняков подростом предварительных генераций, успешность лесовозобновления после выборочных рубок и минерализации почвы в притундровых и таежных лесах, лесостепных и Приобских борах Западной Сибири.

Ключевые слова: притундровые леса, таежные леса, лесостепные боры, Приобские боры, выборочные рубки, лесовозобновление.

**Chizhov B.E., Kharlov I.Y., Kozinets V.A., Agafonov E.Y. ZONAL – TYPOLOGICAL PARTICULARITIES OF NATURAL RENEWAL OF WEST SIBERIA PINE FORESTS.**

The zonal-typological regularities in sufficiency of pine forests by under growing prior generations, successful forest renewal after selective chopping and mineralization of soil in the taiga and transitional zone forests of the tundra, in forest-steppe and Priobie pine forests of West Siberia have been analyzed.

Key words: transitional zone forests of tundra (forests located next to tundra), taiga forests, forest-steppe pine forests, pine forests of Priobie, selective chopping, reforestation.

**Захарова А.А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ УСПЕШНОСТЬ РОСТА ЧИСТЫХ ПО СОСТАВУ КУЛЬТУР ПИХТ СИБИРСКОЙ И ПИХТЫ БАЛЬЗАМИЧЕСКОЙ ПРИ ИХ ИНТРОДУКЦИИ НА СМОЛЕНСКО-МОСКОВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ.**

В статье приведена динамика роста культур пихты сибирской и пихты бальзамической при их интродукции на Смоленско-Московской возвышенности.

Ключевые слова: интродукция, лесные культуры, пихта сибирская, пихта бальзамическая.

**Zakharova A.A. SUCCESSFUL GROWTH OF HOMOGENEOUS SIBERIAN FIR AND BALSAM FIR FOREST CROPS INTRODUCED IN SMOLENSK-MOSCOW HIGHLAND.**

The article deals with the growth of the dynamics of homogeneous Siberian fir and Balsam fir forest crops introduced in Smolensk-Moscow Highland.

Key words: introduction, forest crops, Siberian Fir-tree (*Abies sibirica* L.), Balsam Fir-tree (*Abies balsamea* Ldb.).

**Петухов И.Н. ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СЕЯНЦАМИ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ.**

В статье дана сравнительная характеристика морфологических параметров культур ели, впервые созданных по финской технологии с закрытой корневой системой на территории Костромской области.

Ключевые слова: лесовосстановление, лесные культуры, ель, закрытая корневая система.

**Petukhov I.N. SILVICULTURAL EFFICIENCY OF PLANTING FOREST PLANTATION USING CONTAINERIZED TREE SEEDLING KOSTROMA REGION IN THE FIELD.**

The article provides a comparative description of the morphological parameters of spruce cultures, first created with the help of Finnish technology of containerized tree seedling on the territory of the Kostroma region.

Key words: forest restoration, forest plantation, spruce, containerized tree seedling.

**Бессчетнова Н.Н. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КЛОНОВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО ТЕМПАМ ВОДОПОТЕРИ ХВОИ.**

Подтвержден наследственный характер различий плюсовых деревьев сосны обыкновенной по продолжительности периода потери 50 % воды, содержащейся в хвое. Дисперсия различного уровня зафиксирована на

лесосеменных плантациях и в архивах клонов, созданных в Нижегородской области. Факторы среды оказали заметное влияние на проявление разнообразия.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, водопотеря хвои.

**Besschetnova N.N. COMPARATIVE ASSESSMENT OF CLONES OF SCOTS PINE PLUS-TREES BY THE RATES OF NEEDLE WATER-LOSS.**

Hereditary character in distinctions in the plus-trees of a Scots Pine by duration period of water loss of 50 % contained in needles is confirmed. The dispersion of a various level is proved in the seed plantations and in clone archives created in the Nizhny Novgorod region. The environment factors have considerably influenced the variability.

Key words: a Scots Pine, the plus-trees, clones, water-loss of needles.

**Пристова Т.А., Хабибуллина Ф.М., Виноградова Ю.А., Мельник П.Г. ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ.**

Проведены исследования процессов формирования лесной подстилки в лиственных насаждениях средней тайги Республики Коми. Определены состав, количество и скорость разложения опада, опадо-подстилочный коэффициент и запасы подстилки.

Дана характеристика отношения C/N в текущем опаде, через 1 год после разложения и в подстилке. Установлено, что минерализации азота в первый год разложения опада не происходит, поэтому в верхнем подгоризонте подстилки азот, высвобождающийся в процессе разложения опада, связывается микроорганизмами. В связи с этим высокой частотой встречаемости в подстилке исследуемых биогеоценозов отличаются грибы-аммонификаторы.

Ключевые слова: смешанные лиственные насаждения, лесная подстилка, микромицеты.

**Pristova T.A., Khabibullina F.M., Vinogradova Yu.A., Melnik P.G. THE FOREST LITTER FORMATION OF MIDDLE TAIGA DECIDUOUS STANDS IN KOMI REPUBLIC.**

The processes of forest litter formation in middle taiga deciduous stands of the Komi Republic have been studied. Composition, the amount and rate of litter fall decomposition, waste-litter coefficient, and litter reserves have been identified.

The C/N ratio in current leaf remnants, a year after the decomposition and litter was estimated and analyzed. Nitrogen mineralization does not take place in the first decomposition year because the upper litter nitrogen getting free during the decomposition becomes coupled with microorganisms. In view of the fact, ammonification fungi are often met in the forest litter of the studied ecosystems.

Key words: mixed deciduous forests, forest litter, micromycetes.

**Захарова Е.И. СОДЕРЖАНИЕ ЗАПАСНЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ТКАНЯХ ОДНОЛЕТНИХ ПОБЕГОВ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА БОБОВЫЕ (*FABACEAE Lindl.*), ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В НИЖЕГОРОДСКУЮ ОБЛАСТЬ.**

В работе приводятся данные о сезонной динамике крахмала и жиров в тканях однолетних побегов древесно-кустарниковых представителей семейства бобовые (*FABACEAE Lindl.*), интродуцированных в Нижегородскую область. Выявлена закономерность влияния запасных питательных веществ на приспособленность интродуцентов к новым условиям.

Ключевые слова: интродукция, адаптация, экологические факторы, запасные питательные вещества, крахмал, жиры.

**Zakharova E.I. CONTENTS OF SPARE NUTRIENTS IN THE TISSUES OF ANNUAL TREE SHOOT AND BUSH REPRESENTATIVES OF FAMILY BEAN (*FABACEAE LINDL.*) INTRODUCED IN THE NIZHNIY NOVGOROD REGION.**

The paper presents data on the seasonal dynamics of starch and fats in the tissues of annual tree shoots and bushes, of legumes representatives (*FABACEAE Lindl.*) introduced in the Nizhny Novgorod region. The regularities of the impact of replacement of nutrients on adapting exotic species to new conditions is shown.

Key words: introduction, adaptation, environmental factors, spare nutrients, starch, fats.

**Васильева К.А., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. СОСТОЯНИЕ ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО (*ACER PLATANOIDES* L.) В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ.**

Изучено содержание различных фотосинтетических пигментов ассимиляционного аппарата клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в различных условиях произрастания в течение вегетационного периода.

Ключевые слова: фотосинтез, клен, содержание пигментов, хлорофилл, каротиноиды.

**Vasileva K.A., Zajtsev G.A., Kulagin A.U. THE CONDITION OF THE PIGMENTARY COMPLEX ASSIMILATING DEVICE OF THE MAPLE (*ACER PLATANOIDES* L.) IN THE CONDITIONS OF POLLUTION.**

The contents of different photosynthetic pigments of assimilate apparatus of Norway maple (*Acer platanoides* L.) in various conditions during growing season have been studied.

Key words: photosynthesis, maple, pigment content, chlorophyll, carotenoides.

**Радостева Э.Р., Фаизова Л.И., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. ПРОЦЕСС МИКОРИЗАЦИИ *PINUS SYLVESTRIS* L. В ОТВАЛЬНЫХ ПОЧВОГРУНТАХ КУМЕРТАУСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН).**

В работе представлены результаты исследований по агрохимическому и элементному анализу почвогрунтов и изменение анатомических признаков поглощающих корней сосны в условиях бурогоугольных отвалов.

Ключевые слова: промышленные отвалы, тяжелые металлы, почвогрунт, сосна обыкновенная, эктомикориза, поглощающие корни, грибной чехол, анатомия.

**Radosteva E.R., Faizova L.I., Zajtsev G.A., Kulagin A.U. THE MYKORRHIZA PROCESS IN *PINUS SYLVESTRIS* L. ON SOILS OF KUMERTAUSKY BROWN COAL CUT THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN.**

The results of the research on agrochemical and element analysis of soils and the change of anatomic indices of pine suction roots under conditions of brown coal dumps are presented.

Key words: waste dumps, heavy metals, soil, Scots pine, ectomycorrhiza, suction roots, fungal cover, anatomy.

**Скок А.В., Глазун И.Н., Самошкин Е.Н. ВОЗДЕЙСТВИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИТОТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ И ХРОМОСОМНЫЕ АБЕРРАЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЮЖНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ РФ.**

С увеличением мощности экспозиционной дозы растет митотическая активность клеток, количество клеток с мостами, с одновременным выходом и отставанием хромосом, изменено количество патологических митозов.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, фазы митоза, патологические митозы, хромосомные аберрации, мосты, фрагменты, отставание и выход хромосом.

**Skok A.V., Glasun I.N., Samoshkin E.N. THE INFLUENCE OF CHRONIC IONISING RADIATION ON MITOTIC ACTIVITY AND ABERATION CHROMOSOMES OF ORDINARY PINE IN SOUTHERN NON-BLACK EARTH REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION.**

With augmentation of vigour of an air dose the mitotic activity of cells, quantity of cells with bridges, with a simultaneous exit and backlog of chromosomes grows, and the quantity of pathological mitoses to varies.

Key words: radioactive pollution, mitosis phases, pathological mitoses, chromosomal aberrations, bridges, fragments, backlog and an exit of chromosomes.

**Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Солдатов В.Ю., Шалаев В.С. НАНОТЕХНОЛОГИИ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.**

Проведен анализ литературных источников по проблеме применения нанотехнологий в решении проблем мониторинга окружающей среды. Отмечены определенные достижения и недостатки таких исследований. Охарактеризованы различные наноматериалы, применение которых в системах мониторинга позволяет решать многие задачи.

Ключевые слова: нанотехнологии, мониторинг, окружающая среда.

**Burkov V.D., Krapivin V.F., Soldatov V.Yu., Shalaev V.S. NANOTECHNOLOGIES AND THE PROBLEMS OF ECOLOGICAL MONITORING.**

An analysis of publications related to the problem of nanotechnology applied in solving environmental monitoring tasks is given. Some achievements and difficulties of such investigations are shown. Different nanomaterials to be used in the monitoring systems to solve numerous tasks are characterized.

Key words: nanotechnology, monitoring, environment.

**Майорова Е.И., Анисочкин Г.В., Илий П.К., Хороленкова Л.В. ПРАВОВОЙ РЕЖИМ ЛЕСОУСТРОЙСТВА И ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ: СХОДСТВО, РАЗЛИЧИЯ, ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.**

В статье рассматриваются актуальные проблемы правового режима лесоустройства и государственной инвентаризации лесов РФ.

Ключевые слова: лесной кодекс, государственная инвентаризация лесов РФ, правовой режим, лесоустройство, лесные пожары, аренда лесных участков.

**Majorova E.I., Anisochkin G.V., Ily P.K., Horolenkova L.B. THE LEGAL REGIME OF THE FOREST MANAGEMENT AND THE STATE INVENTORY OF WOODS: SIMILARITIES, DISTINCTIONS, PERFECTION WAYS.**

Current problems of legal forest stewardship and state inventory of Forest in the Russian Federation are analyzed.

Key words: the forest code, state inventory of forest in the Russian Federation, legal norms, forest stewardship, forest fires, forest lot rental.

**Алябьев А.Ф. ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧИСТКИ ВЫРУБОК ОТ ЕГО ПАРАМЕТРОВ.**

Микропрофиль вырубki рассмотрен как гауссовский стационарный процесс. Исходя из этого, определены зависимости положения рабочего органа относительно микропрофиля, средняя и максимальная площадь сечения срезаемой почвы, вероятность пропуска порубочных остатков и вероятность минерализации почвы от ширины опорного устройства и длины отвала.

Ключевые слова: расчистка вырубki, микропрофиль, отвал, опорное устройство, минерализация, вероятность.

**Alyabiev A.F. DEPENDENCE OF QUALITY INDICATORS OF THE EQUIPMENT PERFORMANCE IN CLEAR-CUTTING ON ITS PARAMETERS.**

The cutting-down microprofile is considered as Gauss stationary process. Proceeding from it, the dependence of working organ position concerning a microprofile, the average and maximum area of soil cross cut, feasibility of admitting cutting residues and mineralization of soil depending on the width of the basic device and the length of dump are defined.

Key words: cutting down clearing, microprofile, dump, the basic device, mineralization, feasibility.

**Пискунов М.А., Воронова А.М. ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ СХЕМ РАЗМЕЩЕНИЯ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ ПРИ СОРТИМЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ ЛЕСА.**

В статье приводятся результаты исследований схем размещения волоков на лесосеке, которые получают в реальной практике лесосечных работ при сортиментной технологии. Показано на примерах как изменяется первоначально спланированная схема волоков, если выполняется детальное изучение лесосеки и выделяются проблемные, для проходов трелевочного трактора, участки. Так как скорректированные схемы обладают ветвистой формой, предложена классификация ветвистых схем.

Ключевые слова: схема волоков, технология, заготовка леса.

**Piskunov M.A., Voronova A.M. INVESTIGATION AND CLASSIFICATION OF REAL SCHEMES OF PLACING SKIDDING TRAILS ON THE CUTTING AREA IN SHORTWOOD LOGGING.**

The results of skidding trail placement schemes in short wood logging are investigated. Two kinds of schemes: planned and corrected are presented. The planned scheme is the scheme designed without investigating the cutting area

in detail. The corrected scheme is the one located on difficult sites for a forwarder to pass and key biotype sites on the cutting area. The difference between the planned scheme and corrected one are exemplified. The corrected schemes are branchy ones, that is why their classification is suggested.

Key words: the scheme of ways, technology, wood preparation.

**Сорокин М.А., Комяков А.Н. ТРАНСПОРТНЫЕ КАЧЕСТВА МОБИЛЬНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НАПОЛНЯЕМОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ БЕЗГРАНИЧНОГО ПОТОКА И МЕЛКОВОДЬЯ.**

В статье изложены результаты экспериментальных исследований гидродинамических характеристик мобильных гидротехнических сооружений различных в транспортном положении. Получены уравнения регрессии для расчета коэффициента сопротивления эластичных цилиндрических емкостей при продольном и поперечном перемещении в потоке, в условиях безграничного потока и на мелководье.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения наполняемого типа, плотины, эластичные цилиндрические емкости, сопротивление движению, влияние мелководья.

**Sorokin M.A., Komjakov A.N. HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF MOBILE HYDRAULIC STRUCTURES OF THE FILLED TYPES IN TERMS OF LIMITLESS FLOW AND SHALLOW WATER.**

The article presents the results of experimental studies of the hydrodynamic characteristics of mobile hydraulic structures in different transport position. Regression equations to calculate the drag coefficient of elastic cylindrical tanks for the longitudinal and transverse movement of the flow of limitless stream and shallow are presented.

Key words: Hydraulic structures of the filled types, dams, elastic cylindrical containers, the resistance movement, the influence of shallow water.

**Афоничев Д.Н. ОБОСНОВАНИЕ ПРОТЯЖЕННОСТИ ЛЕСОВОЗНОГО УСА.**

Получены аналитические зависимости для расчета оптимальной протяженности лесовозного уса и оптимальной длины его грунтового участка. Анализ аналитических зависимостей показывает, что экономически оправдано прокладывать ус в лесосеку на некоторую часть ее глубины, величина которой зависит от размеров лесосеки и от соотношения удельных стоимостей строительства, содержания и ликвидации уса, трелевочных волоков, вывозки и трелевки древесины, а также от ликвидного запаса древесины.

Ключевые слова: лесосека, лесовозный ус, грунтовой участок уса, протяженность, трелевочный волок.

**Afonichev D.N. THE SUBSTANTIATION OF STUB SPUR ROAD EXTEND.**

Analytical dependences to calculate the optimal extent of stub spur road and optimal length of its earth are obtained. The analysis of analytical dependences shows that laying stub spur road in the cutting area at some depth is economically justified. The dimension of a cutting area depth depends on the cutting area size and specific costs ratio of building, maintenance and liquidation of stub spur road, skidding portage wood, removal and skidding and liquid forest density.

Key words: cutting area, stub spur road, ground stub spur road, extent, skidding portage.

**Афоничев Д.Н. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВОГРУНТОВ КОНСТРУКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ.**

Представлена имитационная модель воздействия конструктивных элементов сборно-разборных дорожных покрытий на лесные почво-грунты. Реализация модели на ЭВМ позволяет установить в системе автоматизированного проектирования для элементов сборно-разборного дорожного покрытия определенной конструкции с известными размерами (толщина, длина, ширина) максимальное значение давления на основание и выбрать из множества вариантов конструкций покрытий временных дорог конструкцию, которая обеспечит наименьшее давление на лесные почво-грунты.

Ключевые слова: имитационная модель, лесные почво-грунты, сборно-разборное дорожное покрытие, давление.



**Afonichev D.N. LOADING COMPUTER SIMULATION OF FOREST GROUNDS WITH THE CONSTRUCTIVE ELEMENTS OF PREFABRICATED ROAD SURFACING.**

A new simulation model of prefabricated road surfacing constructive element impact on the forest grounds is presented. The computer model implementation enables to detect maximum pressure values on the ground as well as to choose the construction with the least possible pressure on the ground, these simulations being done in the system of automatic projection for the prefabricated elements with the given parameters of thickness, width and length.

Key words: imitating pattern, forest ground, prefabricated road surfacing, pressure.

**Иванова М.Э. ИССЛЕДОВАНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ.**

В статье дается краткий анализ существующего состояния сети лесных дорог с учетом дорог общего пользования. Приводятся исследования таких основополагающих параметров структуры сети, как густота и потребность в строительстве лесных дорог.

Ключевые слова: лесные дороги, густота дороги, ежегодная потребность в строительстве лесных дорог, проектирование лесных дорог.

**Ivanova M.E. FOREST TRANSPORTATION NETWORK MANAGEMENT. PLANNING AND RESEARCH.**

In the article a minimum evaluation of the present forest road conditions taking into account highway haul age roads is presented. The research of main network structure dimensions such as density and the demand in forest road construction are described.

Key words: forest roads, density of forest transportation network, annual forest road building demand, designing forest roads.

**Иванов Г.А., Котов А.А. КОЭФФИЦИЕНТ ЖЕСТКОСТИ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЕРЕВА ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ.**

Дано описание экспериментов по определению зависимости угла отклонения оси ствола дерева от величины изгибающего момента. Приведены аналитические зависимости для вычисления коэффициента жесткости корневой системы по опытным данным; представлены уравнения линеаризации опытных зависимостей. Результаты расчета зависимости коэффициента жесткости корневой системы от угла наклона оси ствола для семи берез и одной сосны представлены в графической форме.

Ключевые слова: статический изгиб, коэффициент жесткости, дерево, береза, корневая система, угол наклона.

**Ivanov G.A. Kotov A.A. STIFFNESS COEFFICIENT OF A TREE ROOT SYSTEM AT A STATIC BEND.**

The description of experiments connected with the definition of dependence of a deviation corner of a tree trunk an axis of the size of the bending moment is given. Analytical dependences to calculate of stiffness coefficient of the root system on the experimental data are resulted; the equations of linearization in experimental dependences are presented. The results of calculating the dependence of stiffness coefficient of the root system on a slope angle of trunk axis for seven birches and one pine are graphically presented.

Key words: static bend, stiffness coefficient, tree, birch, root system, slope angle.

**Тулузаков Д.В., Лапшин Ю.Г., Подрубалов В.К., Подрубалов М.В. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ ЭТАЛОННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ТРЕКОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН.**

Представлены результатов расчетов параметров выходных воздействий по перемещениям от профилей эталонных фонов ГОСТ 12.2.002-91 и СТ ИСО 5008-2002 в диапазоне частот до 11,2 Гц. Подробно исследованы спектральные характеристики фонов и создана база данных по воздействиям от них.

Ключевые слова: мотоблок, вибрация, возбуждение, воздействия, профиль, искусственный и эталонный фон, агрофон, спектральный анализ.

**Tuluzakov D.V., Lapshin Yu.G., Podrubalov V.K., Podrubalov M.V. CHARACTERISTICS OF INFLUENCES FROM REFERENCE ARTIFICIAL TRACKS FOR TESTS OF MOBILE CARS.**

Results of calculating parameters of target influences on movement from profiles of reference profiles of State standart specification 12.2.002-91 and ISO 5008-2002 in a range of frequencies to 11,2 Hz. Are presented spectral characteristics of profiles are investigated in detail and the database on their influences is created.

Key words: the motor-block, vibration, excitation, influences, a profile, an artificial and reference background, an agrobbackground, the spectral analysis.

**Шамарин Ю.А., Панферов В.И., Селиванов К.В., Корнеев В.М. ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН.**

В статье рассматриваются вопросы диагностирования топливной аппаратуры дизелей лесных машин, проблемы, которые могут появиться при эксплуатации, а также возможные пути их решения и предотвращения. Анализируется опыт, накопленный зарубежными странами. Приведены современные способы диагностики дизелей лесозаготовительных машин.

Ключевые слова: диагностика, дизель, лесозаготовительные машины.

**Shamarin J.A., Panferov V.I., Selivanov K.V., Korneev V.M. PROBLEMS OF DIAGNOSING FUEL DEVICES IN DIESEL ENGINES FOREST LOGGING MACHINES.**

The article examines the issues of fuel devices diagnostics in diesel engines of forest logging machines, that is problems which might occur during their exploitation as well as different ways of solving and avoiding these problems. Foreign expertise in this field is analyzed. Modern methods of diesel engines diagnostics in forest logging machines are listed.

Key words: diagnostics, diesel, forest logging machines.

**Подрубалов М.В. ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ЦЕЛИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА МОТОБЛОКА.**

Рассматриваются результаты исследований спектральных характеристик по ускорению от профилей эталонных фонов ГОСТ 12.2.002-91 и СТ ИСО 5008-2002 с целью выбора наиболее представительного. Сформулирована функция цели для оптимизации системы виброзащиты транспортного агрегата мотоблока с прицепом.

Ключевые слова: мотоблок, вибрация, возбуждение, воздействия, виброускорение, функции цели, профиль, искусственный и эталонный фон, спектральный анализ.

**Podrubalov M.V. FORMATION OF A PURPOSE FUNCTION AT OPTIMIZING VIBRATION PROTECTIVE SYSTEM IN THE TRANSPORT UNIT OF THE MOTOR-BLOCK.**

Results of spectral characteristics research of acceleration from profiles reference profiles of State standart specification 12.2.002-91 and ISO 5008-2002 to choose the most representative one are considered. The purpose function of to optimise of vibrating protection of the transport unit in the motor-block with the trailer is formulated.

Key words: a motor-block, vibration, excitation, influences, vibroacceleration, purpose function, a profile, an artificial and reference background, the spectral analysis.

**Зеликов В.А. МЕХАНИЗМ ДЛЯ ВИБРОЗАГЛУБЛЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КУЛЬТИВАТОРА КЛБ-1,7: МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.**

Разработана математическая модель механизма для виброзаглубления культиватора КЛБ-1,7, учитывающая процессы, происходящие в механической и гидравлической подсистемах культиватора, а также взаимодействие дисковой батареи с почвой. Модель подтверждает эффективность предложенного механизма для виброзаглубления и позволяет определить его оптимальные параметры.

Ключевые слова: моделирование, культиватор, лесная почва, дисковая батарея, виброзаглубление.

**Zelikov V.A. VIBRATIONAL LANDING DEVICE OF WORKING UNITS OF CULTIVATOR KLB-1,7: METHODS AND RESULTS OF SIMULATION.**

A mathematical model of the vibrational landing device of cultivator KLB-1,7, taking into account the processes occurring in the mechanical and hydraulic subsystems of the cultivator, as well as the interaction with the

soil disk batteries. The model confirms the effectiveness of the mechanism proposed for vibrational landing device and enables to determine its optimal parameters.

Key words: modeling, cultivator, wood soil, disk battery, vibrational landing.

#### **Косарин А.А., Расев А.И. РЕЖИМЫ ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ.**

Режим импульсной сушки пиломатериалов, которая проводится повторяющимися циклами «импульс – пауза» устанавливает три основных параметра: температуру сушильного агента и продолжительность процесса на стадии «импульс» и продолжительность стадии «пауза».

Разработана методика определения этих параметров. По этой методике разработаны режимы сушки пиломатериалов как отечественных, так и некоторых зарубежных пород. В статье приведен пример режима сушки пиломатериалов из древесины березы.

Ключевые слова: пиломатериалы, импульсная сушка, режимы, параметры режима.

#### **Kosarin A.A., Rasev A.I. MODES OF PULSE DRYING OF SAWN WOOD.**

The mode of sawn wood pulse drying made by repeating cycles «an impulse – a pause» establishes three key parameters: the temperature of drying agent and the duration of the process at the stage «impulse» and the duration of the stage «pause».

The technique of these parameters` definition is developed. Modes of sawn wood drying, both domestic and some foreign species are developed by using this technique. In the article the example of the mode of birch sawn wood drying given.

Key words: sawn wood, pulse drying, modes, mode parameters.

#### **Рыбин Б.М., Завражнова И.А. К ВОПРОСУ НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЛЕСКА ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДРЕВЕСНЫХ ПОДЛОЖКАХ.**

Обоснован метод контроля блеска защитно-декоративных покрытий на древесных подложках. Существенным фактором, оказывающим влияние на характер отражения света контролируемой поверхностью покрытия, является высота наблюдаемых неровностей. Даны предварительные нормативы блеска защитно-декоративных покрытий на древесине и древесных подложках.

Ключевые слова: защитно-декоративные покрытия, методы оценки блеска, нормативы блеска покрытий на древесных подложках.

#### **Rybin B. M., Zavrazhnova I.A. AS TO A QUESTION OF STANDARD SHINE INDICATORS OF PROTECTIVELY DECORATIVE COVERINGS ON WOOD SUBSTRATES.**

The quality monitoring of shine of protectively-decorative covering on wood substrates is proved. The essential factor is influencing the character of light reflection of a controlled covering surface, the height of observed roughnesses. Preliminary specification of shine of protectively-decorative coverings on wood and wood substrates is given.

Key words: protectively-decorative coverings, methods of an estimation of shine, specifications of shine of coverings on wood substrates.

#### **Шарапов Е.С., Разумов Е.Ю., Королев А.С., Попов Д.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ.**

Разработана методика экспериментальных исследований процесса резания термически модифицированной древесины березы. Представлены результаты экспериментальных исследований процесса поперечного и продольного резания термически модифицированной древесины березы. Сформулированы выводы, определены направления последующих исследований в рассматриваемом направлении.

Ключевые слова: термически модифицированная древесина, маятниковый копер, удельная работа резания, шероховатость, экспериментальные исследования.

#### **Sharapov E.S., Razumov E.Y., Korolev A.S., Popov D.A. EXPERIMENTAL RESEARCH OF THERMALLY MODIFIED BIRCH WOOD CUTTING PROCESS.**

Experimental research technique of thermally modified birch wood cutting process is developed. Experimental research results of thermally modified birch wood cutting process are presented. Cross and longitudinal cutting process

results of thermally modified birch wood are also given. Conclusions and directions of the subsequent research in a considered direction are formulated and determined.

Key words: thermally modified wood, pendular shock testing machine, specific work of cutting, roughness, experimental research.

**Попов В.М., Иванов А.В., Посметьев В.В., МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СКЛЕИВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КЛЕЙ ПОСТОЯННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ.**

Предложена математическая модель процесса скалывания древесины на полимерном клее, подвергнутом воздействию постоянным магнитным полем. Показано, что, используя предложенную методику, можно в условиях деревоперерабатывающих производств получать изделия из клееной древесины повышенной прочности.

Ключевые слова: магнитное поле, древесина, клеевые соединения, напряженность, предел прочности, клеевая прослойка.

**Popov V.M., Ivanov A.B., Posmetev V.V. MODELLING THE PROCESS OF WOOD PASTING BY INFLUENCING THE CONSTANT MAGNETIC FIELD ON GLUE.**

A mathematical model of break wood process on polymeric glues, subject to constant magnetic field influence is suggested. It is shown that, using the offered technique, it is possible to obtain products from glued wood of increased durability in woodworking production.

Key words: a magnetic field, wood, glutinous connections, intensity, strength, a glutinous layer.

**Куницкая О.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ ПОЛИМЕРАМИ.**

В статье предложены новые математические модели расчета параметров процесса пропитки древесины различными способами.

Ключевые слова: гидроудар, пропитка древесины, заполнение капилляра, модель пористого пространства древесины.

**Kunitskaja O.A. MODELING DIFFERENT WAYS TO IMPREGNATE THE WOOD POLYMERS.**

The article suggests new a mathematical model for calculating the parameters of the impregnation process in various ways.

Key words: hydroimpact, impregnation of wood, filling of a capillary, model of porous space of wood.

**Кононов Г.Н., Дроздова В.С., Фаньковская А.А. ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МБС НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМОГО ВОЛОКНИСТОГО ПОЛУФАБРИКАТА.**

В современной мировой целлюлозно-бумажной промышленности вторичное волокно из макулатуры, благодаря целому ряду преимуществ перед первичными полуфабрикатами из древесины, стало конкурентноспособным как по качеству, так и по масштабам потребления. В настоящее время переработка макулатуры бумажной специальной связана со значительными трудностями. В данной статье проведены исследования по предварительной оценке способности макулатуры бумажной специальной к гидромеханическому роспуску. Влияние размол и предварительной химической обработки макулатуры бумажной специальной на физико-химические и бумагообразующие свойства получаемого волокнистого полуфабриката.

Ключевые слова: первичные полуфабрикаты, волокнистый полуфабрикат, вторичное волокно, предварительная химическая обработка, размол, масштаб применения, предварительная оценка способности, гидромеханический роспуск.

**Kononov G.N., Drozdova V.S., Fankovskaya A.A. THE INFLUENCE OF MECHANICAL AND CHEMICAL TREATMENT OF SPECIAL WASTE PAPER ON THE CHARACTERISTICS OF WOOD PULP OBTAINED.**

In the modern world pulp and paper industry secondary fiber obtained from waste paper has become competitive both in quality and application scale due to the whole range of advantages over original semi-finished products from wood. Nowadays special wastepaper recycling involves a lot of difficulties. Some research in preliminary ability assessment of special waste paper to hydromechanical repulping are carried out in this article. The influence of refining and preliminary special waste paper chemical treatment on physicochemical and paper making qualities of the received wood pulp.

Key words: original semi-finished products, wood pulp, secondary fiber, preliminary chemical treatment, refining, application scale, preliminary ability assessment, hydromechanical repulping.

#### **Щепкин В.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЕЕНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ СЕКТОРОВ.**

Исследована размерно-качественная характеристика сырых и сухих сосновых секторов. Показана возможность изготовления радиальных клееных пиломатериалов путем склеивания этих секторов. Установлено, что прочность при статическом изгибе клееных секторных пиломатериалов на 25–35 % выше, чем у прямоугольных клееных и цельных пиломатериалов.

Ключевые слова: пиломатериалы, радиальные сектора, клееные, объемный выход, тонкомерное сырье, центральный угол, пороки, сучки, сушка, коробление, склеивание, прочность.

#### **Schepkin V.B. LAMINATED LUMBER SECTOR.**

Size and quality characteristic of wet and dry pine sectors has been examined. The possibility of manufacturing glued radial carving wood by the sector gluing is shown. It has been determined that strength in static bending of glued sector carving wood is 25–35 % higher than in rectangular glued and solid board ones.

Key words: lumber, radial sector, glued, volume output, small-diameter materials, a central angle, vices, knots, drying, warping, adhesion, durability.

#### **Торопов А.С., Шарапов Е.С., Кузнецов Е.Ю. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ В КРУГЛОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ.**

Статья посвящена проблеме повышения точности пиления круглопильных станков. Представлены направляющие для повышения точности пиления круглопильных станков. Определены параметры электромагнитной направляющей и пилы путем моделирования их взаимодействия в программе ANSYS 10.0. Разработаны математические модели и регрессионные зависимости взаимодействия полотна пилы и электромагнита.

Ключевые слова: электромагнитная направляющая, усилие притяжения полотна пилы, параметры электромагнитов, моделирование ANSYS 10.0, математическая модель.

#### **Toropov A.S., Sharapov E.S., Kuznetsov E.Y. SUBSTANTIATION OF PARAMETERS ELECTROMAGNETIC GUIDE IN A CIRCULAR SAWING MACHINE.**

The paper deals with a problem of increasing accuracy of a circular sawing machine. Guides for increasing accuracy of a circular sawing machine are provided. Parameters of electromagnetic guide and saw resulting from modeling of their interaction by means of ANSYS10.0 program are defined. A mathematic model and regression interaction equation are elaborated.

Key words: electromagnetic guide, parameters of electromagnets, attractive force of sawing blade, mathematic model, modeling by means of ANSYS 10.0.

#### **Санаев В.Г., Полещук О.М., Комаров Е.Г. О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОВЕДЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ, ПРОШЕДШЕЙ ГИДРОТЕРМИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ.**

В статье на основе нечеткого анализа предлагаются два подхода для прогноза поведения древесины после ее гидротермической обработки. Как известно, этот прогноз затруднен из-за сложного строения древесины, что является причиной возникновения неопределенности ее поведения после гидротермической обработки. Исходя из этого естественным подходом к моделированию поведения древесины является подход на основе нечеткого анализа, опирающегося на фундамент теории нечетких множеств и нечеткой логики. В работе описаны две модели, которые могут быть с успехом использованы для прогноза разбухания древесины и увеличения ее веса при гидротермической обработке. Первой моделью является нечеткий логический контроллер (классификатор), в основе которого лежит аппарат нечеткой логики. Существенным достоинством нечеткого контроллера является возможность описания взаимосвязей характеристик сложных систем на основе логических правил в рамках естественного языка. Второй моделью является нечеткая регрессионная модель, которая в случае подходящих характеристик ее качества позволяет определить зависимость между входными и выходными характеристиками в явном аналитическом виде. Разработанные модели предлагается использовать на различных этапах изготовления изделий из древесины.

Ключевые слова: древесина, гидротермическая обработка, нечеткий контроллер, нечеткая регрессионная модель, прогноз поведения.

**Sanaev V.G., Poleshchuk O.M., Komarov E.G. APPLICATIONS OF FUZZY ANALYSIS FOR PREDICTING WOOD BEHAVIOR AFTER THE HYDROTHERMAL TREATMENT.**

Two approaches for predicting the behaviour of wood after hydrothermal treatment based on fuzzy analysis have been suggested in this paper. As it is well known, this prediction is complicated due to complex structure of wood, which causes the uncertainty of its behaviour after the hydrothermal treatment. Accordingly, the natural approach to modeling the behaviour of wood is fuzzy approach based on the fuzzy set theory and fuzzy logic. This paper describes two models that can be successfully applied to predict wood swelling and increase its weight in the hydrothermal treatment. The first model is a fuzzy logic controller (classifier), which is based on the fuzzy logic. An important advantage of the fuzzy controller is the ability to describe the interaction of complex systems' characteristics based on logical rules in a natural language. The other model is a fuzzy regression model which when matching the quality characteristics enables to determine the relationship between input and output characteristics in the analytical form. The developed models are to be applied at various stages of manufacturing of wood products.

Key words: wood, hydrothermal treatment, fuzzy controller, fuzzy regression model, prediction of behaviour.

**Бурков В.Д., Перминов С.В., Капранов Ю.С. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ.**

Рассмотрено влияние факторов космического пространства (ФКП) на работоспособность волоконно-оптических элементов систем передачи информации на борту космических аппаратов (КА). Выполнен сравнительный анализ работоспособности элементов бортовых волоконно-оптических систем передачи информации, как для традиционных волоконных световодов, так и для микроструктурированных оптических световодов. Рассмотрена возможность применения на борту КА волоконно-оптических трактов на основе микроструктурированных оптических волокон, устойчивых к ионизирующим излучениям космического пространства.

Ключевые слова: факторы космического пространства, световоды, оптические волокна.

**Burkov V.D., Perminov S.V., Kapranov J.S. FIBER-OPTIC TRANSMISSION SYSTEM.**

The impact of space factors (SF) on the performance of fiber-optic communication system components aboard the spacecraft (SC) are considered. A comparative analysis of the performance elements of airborne fiber optic communication systems, both for traditional optical fibers and microstructured optical fibers is made. The possibility of using on-board spacecraft optical fiber tracts based on microstructured optical fibers that are resistant to ionizing radiation of space are analyzed.

Key words: factors of space, optical fibers, optical fibers.

**Бурков В.Д., Черемисин М.В. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕБАЗИРУЕМОГО КОМПЛЕКСА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ «СЕЛЕНА ИТ» ПРИ ПРИЕМЕ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДЗЗ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.**

Описывается модернизация перебазируемого комплекса телеметрических измерений «Селена ИТ» производства «НПО Измерительной техники» под возможности приема и обработки данных ДЗЗ. Рассматриваются варианты использования ПКТИ «Селена ИТ» при решении задач мониторинга природных процессов и оперативного управления в рамках системы с Web-ГИМС технологиями.

Ключевые слова: Web-ГИМС технологии, ПКТИ «Селена ИТ», прием и обработка данных ДЗЗ, оперативное управление.

**Burkov V.D., Cheremisin M.V. PROSPECTS OF USING MOBILE TELEMETRY & TRACKING STATION «SELENA IT» AT RECEIVING AND PROCESSING ERS DATA FOR MONITORING NATURAL PROCESSES.**

The upgrade of mobile telemetry & tracking station «Selena IT», the production of «NPO measuring equipment» under the possibility of receiving and processing ERS data are described. The variants of MTTs «Selena IT» in solving problems of monitoring natural processes and operational management using the system of Web-GIMS technology are considered.

Key words: Web-GIMS technology, MTTs «Selena IT», receiving and processing ERS data, operational management.

**Кондрашин М.А., Скорняков В.А. МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ УГРОЗУ СТОЛКНОВЕНИЯ С ОРБИТАЛЬНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ.**

Описываются методы предварительной фильтрации объектов «космического мусора», представляющих собой потенциальную угрозу столкновения для контролируемых космических аппаратов.

Ключевые слова: «космический мусор», опасное сближение, коллизии, маневр, выявление, прямой метод, фильтрация объектов.

**Scornyakov V.A., Kondrashin M.A. METHODS OF PRELIMINARY FILTERING WHEN REVEALING COSMIC OBJECT, CONSTITUTING A MENACE COLLISIONS With ORBITAL FLYING MACHINE.**

Methods of preliminary filtering object «cosmic rubbish», presenting potential threat of the collision for controlled cosmic devices are described.

Key words: «cosmic rubbish», dangerous rapprochement, collisions, manoeuvre, discovery, direct method, filtering object.

**Рожков М.И. К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДВОИЧНЫХ ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГИСТРА СДВИГА.**

В работе получено описание класса нелинейных функций от трех переменных  $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1, x_2, x_3)$  и соответствующих аффинных функций  $L(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 + \sum_{i=2}^n b_i x_i + b_0$ , при которых система булевых функций  $(y_1, y_2, \dots, y_{n-1})$ ,  $y_i = f((\delta_L)^{i-1}(x))$  является ортогональной ( $\delta_L$  – преобразование регистра сдвига длины  $n$  с функцией обратной связи  $L$ ).

Ключевые слова: ортогональные системы, линейный регистр сдвига.

**Rozhkov M.I. ORTHOGONAL SYSTEMS OF BOOLEAN FUNCTIONS IN CONNECTION WITH A LINEAR FEEDBACK SHIFT REGISTER.**

We present some new orthogonal systems of  $n-1$  Boolean functions in  $n$  variables. The systems are based on a linear feedback shift register of  $n$  bit in length and 3-bit to 1-bit nonlinear filter function.

Key words: orthogonal systems, a linear feedback shift register.

**Лось А.Б. О ПРЕДЕЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ МАКСИМУМА ПРОЦЕССА СКОЛЬЗЯЩЕГО СУММИРОВАНИЯ (ЧАСТИЧНЫХ СУММ ЭРДЕША-РЕНЬИ).**

В работе исследуется предельное распределение статистики  $\max_{0 \leq k \leq N-n} \xi(k, n)$ , где  $\xi(k, n) = X_{k+1} + X_{k+2} + \dots + X_{k+n}$ ,  $X_1, X_2, \dots, X_N, \dots$  – независимые, одинаково распределенные случайные величины,  $EX_i = 0$ ,  $DX_i = 1$ . Найдено предельное значение функции распределения указанной статистики в условиях:  $N, n \rightarrow \infty$  и  $N/n \rightarrow m + \theta$ , где  $m$  – целое,  $0 \leq \theta < 1$ .

Ключевые слова: скользящее суммирование, метрика Скорохода, измеримое отображение.

**Los A.B. LIMITING DISTRIBUTION OF THE MAXIMUM PROCESS MOVING SUMMATION (THE ERDOS –RENYI PARTIAL SUMS).**

We have analysed asymptotic of distribution function of statistic  $\max_{0 \leq k \leq N-n} \xi(k, n)$ ,  $\xi(k, n) = X_{k+1} + X_{k+2} + \dots + X_{k+n}$ ,  $X_1, X_2, \dots, X_N, \dots$  – random variables,  $EX_i = 0$ ,  $DX_i = 1$ . The limit law is proved in conditions:  $N, n \rightarrow \infty$ ,  $N/n \rightarrow m + \theta$ ,  $m$  – integer,  $0 \leq \theta < 1$ .

Key words: moving summation, Skorohod metric, measurable representation.

**Симановский Ф.И. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ БИЗНЕС-МОДЕЛИ.**

В рамках данной статьи рассматриваются вопросы, связанные с появлением и развитием такого явления современного менеджмента, как «бизнес-модель». Вводятся понятия традиционной и инновационной бизнес-модели, рассматривается жизненный цикл бизнес-моделей, приводятся примеры модели доходов «приманки и крючка», а также описывается каждый этап жизненного цикла бизнес-модели на конкретном примере.

Ключевые слова: бизнес-модель, модель, ценность, прибыль, концепция, инструмент, компания, исследование, инновация, жизненный цикл.

#### **Simanovskiy F.I. BUSINESS MODEL LIFE CYCLE.**

Within this paper the questions connected with occurrence and development of such a phenomenon of modern management as «a business model» are considered. The concepts of traditional and innovative business models and a business model life cycle have been presented. Examples of the income model «bait and hook», as well as a description of each stage of the business model life cycle with a concrete example are considered in the paper.

Key words: business model, model, value, profit, concept, tool, company, research, innovation, life cycle.

#### **Майкова В.П. ФИЛОСОФИЯ, СМИ И БУДУЩЕЕ КУЛЬТУРЫ ЧЕЛОВЕКА: ПРОБЛЕМА ВЗАИМНЫХ ОТНОШЕНИЙ.**

В статье рассмотрен вопрос соотношения философии, СМИ и личности. Обозначена важность той роли, которая принадлежит философии в понимании этого взаимодействия. Выявляя факторы эффективности массовой коммуникации, философские исследования вносят свой вклад в развитие процессов преобразования и демократизации общетехнического прогресса. Также представлены особенности, характерные для развития современного информационного поля на основе новой инфоэтической концепции, науки истинно безопасной для людей, утверждающей высокие нравственно-экологические принципы.

Ключевые слова: общественное сознание, массовые коммуникации, личность, СМИ.

#### **Maykova V.P. PHILOSOPHY, MASS-MEDIA AND THE FUTURE OF CULTURE OF A PERSON: THE PROBLEM OF MUTUAL RELATIONS.**

The question of a parity of philosophy, mass-media and a persons is considered in the paper. Importance of the role of philosophy in understanding this interaction is designated. Revealing factors of efficiency of mass communication, philosophical research contribute to developing transformation processes and democratization of the general technical progress. Also features, typical of the development of a modern information field on the basis of a new info ethical concept, a science truly safe for people and confirming high moral-ecological principles are presented.

Key words: social consciousness, mass communications, the person, mass-media.

#### **Майкова В.П. МАССОВАЯ КОММУНИКАЦИЯ И МЕЖЛИЧНОСТНОЕ ОБЩЕНИЕ В ФОРМИРОВАНИИ ОБЩЕСТВЕННОГО СОЗНАНИЯ.**

В статье рассматривается вопрос влияния массовой коммуникации и межличностного общения на формирование общественного сознания. С одной стороны, показано, что сегодня мы не можем рассматривать межличностное общение без того пласта клишированных форм, которые порождает медийная культура. С другой стороны, представлены различия, существенно отличающие массовую коммуникацию и межличностное общение.

Ключевые слова: общественное сознание, массовые коммуникации, межличностное общение, медийная культура.

#### **Maykova V.P. MASS COMMUNICATION AND INTERPERSONAL DIALOGUE IN FORMATION OF SOCIAL CONSCIOUSNESS.**

The question of influencing mass communication and interpersonal dialogue on formation of public consciousness is considered. On the one hand, it is shown that today we can't consider an interpersonal dialogue without the layer standard forms generated by media culture. On the other hand, the distinctions essentially distinguishing mass communication and interpersonal dialogue are presented.

Key words: social consciousness, mass communications, interpersonal dialogue, media culture.