

Вестник Московского  
государственного  
университета леса

# Лесной вестник

ISSN 1727-3749

2008 № 6 (63)

- *Экспериментальное изучение влияния кислотных осадков на изменение показателей лесорастительных свойств лесных почв зоны хвойно-широколиственных лесов*
- *Флористико-ценотический анализ бриофлоры типичных ассоциаций лесостепных дубрав Воронежской области*
- *Совершенствование статистического контроля механических характеристик древесно-стружечных плит*
- *Биотопливо из возобновляемого сырья: перспективы производства и потребления*
- *О прогнозировании прочности и деформации древесно-цементных материалов*
- *Исследования динамических характеристик гидропередач транспортно-технологических машин*
- *Оптимизация раскроев на сортименты и пиломатериалы в условиях лесосеки*
- *Структурно-параметрический синтез многофункциональных космических систем на основе микроспутников дистанционного зондирования земли*



# Содержание

## Лесное хозяйство

Бессчетнова Н.Н.	<i>К вопросу об оценке общей комбинационной способности плюсовых деревьев сосны обыкновенной</i>	4
Дегтярева С.И.	<i>Флористико-ценотический анализ брйофлоры типичных ассоциаций лесостепных дубрав Воронежской области</i>	13
Ялынская Е.Е., Чернобровкина Н.П.	<i>Устойчивость сеянцев сосны обыкновенной к снежному шютте как интегральный показатель функциональной диагностики обеспеченности бором</i>	16
Фирсов Г.А., Фадеева И.В., Волчанская А.В.	<i>Влияние метео-фенологической аномалии зимы 2006/07 года на древесные растения в Санкт-Петербурге</i>	22
Дороничева Е.В., Мартынюк А.А.	<i>Экспериментальное изучение влияния кислотных осадков на изменение некоторых показателей лесорастительных свойств лесных почв зоны хвойно-широколиственных лесов</i>	28
Степаненко И.И., Чумаченко С.И.	<i>Применение математических моделей для прогнозирования влияния минеральных удобрений на формирование и строение древесины сосны</i>	32
Хабибуллина Ф.М., Творожникова Т.А., Лиханова И.А., Лаптева Е.М.	<i>Почвенная микробиота производных насаждений ольхи серой</i>	37
Манвеллидзе З.К., Долидзе Л.Т., Варшанидзе Н.И.	<i>О закономерностях трансформации основных свойств почв дубовых лесов Внутригорной Аджарии в условиях антропогенных воздействий</i>	40
Янников И.М., Козловская Н.В., Медведева А.В.	<i>Биомониторинг объектов по хранению и уничтожению химического оружия на примере Удмуртской республики</i>	45

## Деревообработка

Бунаков П.Ю., Стариков А.В., Бакулин И.А., Старикова А.А., Харин В.Н.	<i>Комплексная САПР – основа построения информационной инфраструктуры современного мебельного предприятия</i>	49
Рукомойников К.П., Виноградов П.Н.	<i>Способ продольной распиловки сортиментов и станок для его осуществления</i>	55
Торопов А.С., Шарапов Е.С.	<i>Новые технологии раскроя древесины, пораженной сердцевинной гнилью</i>	59
Шереметьева Т.В., Титунин А.А.	<i>Обоснование использования осины в производстве деревянных клееных конструкций</i>	63
Зайцева К.В., Титунин А.А.	<i>Разработка методики определения эксплуатационных параметров клееного бруса</i>	67
Лапшин Ю.Г., Лежень В.Н., Родионов А.И., Тулузаков Д.В.	<i>Совершенствование статистического контроля механических характеристик древесно-стружечных плит</i>	71
Ивановский А.В.	<i>Результаты исследований упруго-пластических свойств древесины мягких лиственных пород при динамических нагрузках</i>	74
Попов В.М., Иванов А.В., Шендриков М.А.	<i>Влияние магнитного поля на прочность клееной древесины</i>	80

## Древесиноведение

Свиридова Т.А., Самошкин Е.Н.	<i>Изменчивость длины и ширины волокон либриформа древесины березы повислой и березы карельской</i>	81
----------------------------------	---	----

## Химические технологии

Тарасов С.М.	<i>Влияние модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров на свойства целлюлозных композиционных материалов из вторичного волокнистого сырья</i>	84
Мартынова О.С., Кононов Г.Н., Говязин И.О.	<i>Исследование свойств бумаги для струйной печати</i>	88
Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Горбунова Н.А., Бабурина М.И., Горохов Д.Г., Запруднов В.И.	<i>Биотопливо из возобновляемого сырья: перспективы производства и потребления</i>	91
	<i>О прогнозировании прочности и деформации древесно-цементных материалов</i>	96

## Лесонженерное дело

Лозовецкий В.В., Шадрин А.А., Абасов К.А., Комяков А.Н.	<i>Исследования динамических характеристик гидropередач транспортно-технологических машин</i>	100
Бурмистрова О.Н., Шоль Н.Р., Травин Н.Н.	<i>Методика экспериментальных исследований валочно-пакетирующей машины</i>	106

Пошарников Ф.В., Абрамов В.В.	<i>Выполнение трелевки в условиях постоянного и непрерывного лесопользования</i>	108
Дегтярева Л.А., Рыжкова Т.В.	<i>Системы технического обслуживания и ремонта машин и оборудования на лесозаготовительных предприятиях</i>	111
Нахаев З.Н., Сушков А.С.	<i>Критерии оценки и анализ транспортно-технологической системы лесопромышленных предприятий</i>	115
Щеголева Л.В., Пискунов М.А., Воропаев А.Н.	<i>К вопросу о размещении трелевочных волоков на лесосеке</i>	121
Якимович С.Б., Ефимов Ю.В.	<i>Оптимизация раскroев на сортименты и пиломатериалы в условиях лесосеки</i>	125
Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В.	<i>Влияние влажности на развитие процесса разрушения коры при роторной окорке</i>	129
<b>Охрана окружающей среды</b>		
Гелес И.С., Коржова М.А.	<i>Отходы и сточные воды – неизбежное бремя или необходимость и возможность решения проблем?</i>	134
<b>Математическое моделирование</b>		
Царьгородцев Ю.П., Полужтов Н.П., Харченко В.Н., Камышов И.А.	<i>Исследование магнетронного разряда с полым катодом для получения металлических пленок</i>	139
Пушкарский С.В.	<i>Структурно-параметрический синтез многофункциональных космических систем на основе микроспутников дистанционного зондирования земли</i>	143
Бурков В.Д., Потапов В.Т., Потапов Т.В., Удалов М.Е.	<i>Волоконно-оптический датчик расстояний</i>	149
Бурков В.Д., Аксенов В.А., Замятин А.А., Иванов Г.А., Маковецкий А.А.	<i>Исследование процесса изготовления капиллярных сборок для микроструктурированных оптических волокон</i>	151
Найханова Л.В.	<i>Модель генератора конечных преобразователей, основанная на применении генетического и автоматного программирования</i>	157
Царева Т.Н.	<i>Графическая модель качества текстового наполнения образовательных сайтов</i>	166
Чернышов А.В.	<i>Язык описания заданий обработки телеметрической информации</i>	168
Чернышов А.В.	<i>Система управления проведением испытаний рабочего места контроля бортовой телеметрической аппаратуры</i>	170
Зубов А.Ю.	<i>Решение одной матричной игры</i>	173
Полещук О.М., Комаров Е.Г.	<i>Определение рейтинговых оценок объектов на основе нечеткой исходной информации</i>	180
Новиков А.С., Яшин А.А., Яшин С.А.	<i>Исследование электромагнитных биорезонансов во фрактальных растительных средах</i>	183
<b>Экономика</b>		
Кожурин С.И., Угрюмов С.А., Кузнецова Н.С., Шапкина И.М.	<i>Проектирование отраслевых промышленных предприятий и инвестиционный процесс</i>	187
Кислухина И.А.	<i>Методы государственного регулирования лесного сектора экономики</i>	190
Бугаков В.М.	<i>Алгоритмы управления при росте переменных, постоянных затрат для обеспечения прибыльной деятельности предприятия деревообработки</i>	195
Бугаков В.М.	<i>Прогноз спроса на мебель, основы теории функционирования экономики и управления предприятиями мебельного производства</i>	198
Афонина С.А., Буданова М.В.	<i>Анализ мотивации труда персонала промышленного предприятия</i>	202
Хашир Б.О., Пшидаток М.Р., Гарбуз А.С.	<i>Рекреационное использование лесов Краснодарского края на основе инновационных и инвестиционных проектов</i>	206
Хашир Б.О., Хуажев О.З., Гарбуз А.С.	<i>Экономические тенденции регионального развития лесного сектора промышленности Краснодарского края</i>	208
Минакова Т.В.	<i>Модель социальной экономики на базе муниципального образования г. Осташкова Тверской области</i>	211
<b>Образование</b>		
Шалаев В.С.	<i>Рейтинг как инструмент управления вузом</i>	215

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ОБЩЕЙ КОМБИНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

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

*cap\_two@mail.ru*

Эффективное и стабильное лесное семеноводство, ядром которого выступают лесосеменные плантации (ЛСП), имеет стратегическое значение для развития лесного хозяйства страны [4, 6, 9]. Совершенствование ассортимента плюсовых деревьев, оценка их наследственных качеств и повышение селекционного потенциала является неотъемлемой частью процесса формирования постоянной лесосеменной базы на генетико-селекционной основе. Сложность организации и высокая трудоемкость контролируемых скрещиваний на объектах постоянной лесосеменной базы выдвигают в число основных критериев оценки селекционного качества и генетической ценности плюсовых деревьев, выделенных по фенотипу, их общую комбинационную способность. Известные алгоритмы вычисления оценок общей комбинационной способности [3] не определяют конкретный порядок расчета этих величин при реализации поликросс-теста. Отсутствуют и однозначно трактуемые представления о правилах использования в таких расчетах контроля.

Нами изучалось генетическое качество плюсовых деревьев сосны обыкновенной, выделенных в естественных насаждениях лесхозов Нижегородской области. Целью исследований являлось формирование эффективного рабочего алгоритма вычисления значений общей комбинационной способности (ОКС) и получение с его помощью оценок ОКС. Возможность применения методов генетического анализа популяций при работах с ЛСП вегетативного происхождения определена принадлежностью исследуемых клонов к единой популяции. В рассматриваемом случае все плюсовые деревья были отобраны в естественных сосняках Семеновского специализированного семеноводческого лесхоза и граничащих с ним хозяйств. Генотип каждого из них представляет собой часть генофонда общей популяции, из которой они были выделены. Сложность процессов взаимодействия

генотипа особей и экологического фона в популяциях древесных видов, специфика их биологии обуславливает необходимость рассматривать упрощенные и формализованные модели популяций. В такой ситуации важно определить, насколько адекватно характеристики модели отражают свойства популяции. На ЛСП при установленных схемах смешения клонов и размещения посадочных мест складываются условия для свободного и в идеале полного обмена генетической информацией. Пространственная структура ЛСП соответствует представлению о популяции как о системе со случайным распространением генов. В известной мере ЛСП можно рассматривать как модель популяции.

При отработке методических вопросов применения оценок ОКС и селекционного дифференциала объектами исследования выступили однолетние сеянцы с закрытой корневой системой, выращенные из семян отдельной заготовки при свободном опылении клонов плюсовых деревьев, входящих в состав одной лесосеменной плантации. Соблюдался принцип единственного логического различия: все образцы одновременно выращивались на выровненном экологическом фоне в одной летней пленочной теплице (что минимизирует влияние внешних факторов) в одинаковых контейнерах с одинаковым субстратом. Работа с разными наборами клонов повторялась в течение четырех лет (2003–2006 гг.). Анализировались высота надземной части, диаметр у шейки корня и их соответствие стандарту. Опыт организован рендомизировано в трехкратной повторности блоками, содержащими по одному полному набору полусибсовых семей и контроля. Каждый вариант в составе повторности занимал одну ячеистую кассету, изначально содержащую 49 сеянцев, что обусловлено ее конструкцией. Все плюсовые деревья были представлены одинаковым числом сеянцев (по 147 шт.).

Поликросс-тест традиционно рассматривается как метод отбора на ОКС [3, 8], в результате которого удается выделить генотипы, лучшие в анализируемой группе особей – плюсовых деревьев. Применение поликросс-теста наиболее целесообразно в случаях самостерильности рассматриваемых объектов, а также с возникновением трудностей в реализации рекуррентного отбора на ОКС.

Поскольку с биометрической точки зрения общая комбинационная способность (ОКС) измеряется аддитивной вариансой, а специфическая комбинационная способность (СКС) – неаддитивной вариансой, обусловленной эффектами межallelельного взаимодействия, то надежным методом оценки комбинационной способности может выступать вариансный анализ [3]. Для оценки ОКС адекватен дисперсионный анализ комплексов полусибсовых семей плюсовых деревьев, полученных в результате свободного опыления на клоновых ЛСП. При этом для каждой отдельной репродуктивно изолированной ЛСП формируется свой самостоятельный дисперсионный комплекс. В соответствии с вышеуказанным ОКС рассматривается как отношение аддитивной вариансы к фенотипической и представляет собой оценку доли аддитивных компонентов в общей фенотипической изменчивости признака.

Базой сравнения полусибсовых потомств плюсовых деревьев служит так называемый контроль, представленный одинаковыми с полусибсовыми семьями по возрасту и технологии выращивания сеянцами, получаемыми из нормальных семян. В нашей работе контролем служили сеянцы, выращенные из семян, заготовленных в нормальных насаждениях Семеновского специализированного семеноводческого лесхоза.

Однако контроль, сформированный из представителей семенного потомства нормальных насаждений, не имеет генетической общности с полусибсовым потомством плюсовых деревьев, участвующем в сравнительных испытаниях при оценке ОКС на основе поликросс-теста. Генотипы его особей возникли вследствие совершенно независимого процесса образования зигот, не имеют генетической общности с испытываемыми

плюсовыми деревьями или их клонами и не относятся к диаллельному комплексу полусибсовых семей. Их генетический комплекс не может быть признан общим с генетическим комплексом любой ЛСП. Проблема состоит в том, что семена, используемые для выращивания «контрольных» сеянцев, заготовлены в нормальных насаждениях того же Семеновского специализированного семеноводческого лесхоза, но, что вполне понятно, не на ЛСП, с которой были получены семена полусибсовых семей плюсовых деревьев. Фактически на участке испытательных культур сопоставляются две несовместные схемы скрещиваний. Первая – схема поликросс-теста, при реализации которой на ЛСП не входит «контроль». Вторая – схема свободного опыления нормальных деревьев в естественном насаждении, которая по вполне понятным причинам не может являться одним из вариантов скрещиваний на рассматриваемой ЛСП, не может быть включена в единый комплекс сравнения при оценках ОКС. С точки зрения чистоты методологического подхода к подобному анализу рассматривать такой «контроль» как один из вариантов изучаемого комплекса полусибсовых семей неправомерно и нецелесообразно. Учитывая это, мы для получения «критической» оценки селективируемого признака выполняли последовательное сравнение каждой отдельной полусибсовой семьи с контролем в ходе проведения анализа дисперсионных комплексов, состоящих в каждом конкретном случае только из этих двух групп. В результате была образована система оценок (*F*-критерии Фишера), определяющих существенность различий между контролем и каждой отдельной полусибсовой семьей (табл. 1). Параллельно определяли достоверность разности средних (*t*-критерии Стьюдента).

Формирование контроля по действующим нормативам обеспечивает адекватность средних значений его признаков соответствующим средним популяционным величинам. Именно с ними сопоставляют средние значения признаков у отобранных плюсовых деревьев в ходе сравнительного испытания семенных (генеративных) потомств или клонов (вегетативных потомств).

**Достоверность различий средних значений высоты сеянцев полусибирских семей плюсовых деревьев сосны обыкновенной с величиной контроля ( $t_{05}=1,98$ )**

№ п /п	Клон	Критерий Фишера		Доля влияния фактора				Досто- верность разности, $t$	Среднее, см
				по Плохинскому		по Снедекору			
		$F_{оп}$	$F_{05}$	$h^2$	$\pm S_{h2}$	$h^2$	$\pm S_{h2}$		
2004 г.: достоверность разности обобщенного среднего и контроля $t = 2,89$ ( $t_{05}=1,96$ )									
1.	К-582	0,860	3,877	–	–	–	–	0,92	10,02
2.	К-583	130,01	3,875	0,3202	0,0025	0,4815	0,0019	–11,51	7,26
3.	К-584	173,94	3,875	0,3840	0,0022	0,5518	0,0016	13,20	13,02
4.	К-585	32,270	3,875	0,1043	0,0032	0,1832	0,0029	–5,69	8,33
5.	К-586	6,494	3,876	0,0232	0,0036	0,0383	0,0035	–2,55	9,10
6.	К-587	21,296	3,875	0,0704	0,0033	0,1254	0,0031	–4,62	8,65
7.	К-588	2,048	3,876	–	–	–	–	–1,42	9,35
8.	К-589	119,14	3,875	0,2985	0,0025	0,4559	0,0019	–10,93	7,23
9.	К-590	2,061	3,876	–	–	–	–	1,42	10,22
10.	К-591	11,483	3,878	0,0431	0,0038	0,0762	0,0036	–3,33	8,82
2005 г.: достоверность разности обобщенного среднего и контроля $t = 1,39$ ( $t_{05}=1,96$ )									
1.	К-602	7,975	3,881	0,0324	0,0041	0,0549	0,0040	2,82	13,63
2.	К-603	1,103	3,879	–	–	–	–	–1,05	12,81
3.	К-604	0,974	3,884	–	–	–	–	–0,98	12,79
4.	К-605	0,105	3,883	–	–	–	–	0,33	13,09
5.	К-606	1,579	3,880	–	–	–	–	1,26	13,28
6.	К-607	21,504	3,906	0,1292	0,0060	0,3307	0,0046	–5,18	11,39
7.	К-608	58,018	3,879	0,1884	0,0032	0,3118	0,0028	–7,58	11,57
8.	К-609	0,009	3,898	–	–	–	–	–0,09	12,99
9.	К-610	1,217	3,897	–	–	–	–	1,11	13,32
10.	К-611	1,764	3,879	–	–	–	–	–1,32	12,76
11.	К-612	6,533	3,899	0,0388	0,0059	0,0813	0,0057	–2,21	12,19
2006 г.: достоверность разности обобщенного среднего и контроля $t = 1,07$ ( $t_{05}=1,96$ )									
1.	К-600	134,48	3,880	0,3544	0,0026	0,1655	0,0034	–11,82	9,65
2.	К-616	16,589	3,880	0,0634	0,0038	0,1158	0,0036	–4,13	11,20
3.	К-613	5,656	3,880	0,0227	0,0040	0,0379	0,0039	2,36	12,57
4.	К-599	0,067	3,880	–	–	–	–	0,26	12,10
5.	К-623	32,455	3,881	0,1209	0,0037	0,2186	0,0033	–5,98	10,87
6.	К-620	34,304	3,880	0,1228	0,0036	0,2186	0,0032	–6,14	10,89
7.	К-595	3,656	3,880	–	–	–	–	1,92	12,46
8.	К-596	4,759	3,880	0,0192	0,0040	0,0310	0,0040	2,22	12,51
9.	К-619	53,812	3,880	0,1801	0,0033	0,3073	0,0028	–7,30	10,45
10.	К-622	11,951	3,880	0,0465	0,0039	0,0843	0,0037	–3,52	11,33
11.	К-621	24,609	3,880	0,0913	0,0037	0,1655	0,0034	5,17	13,04
12.	К-594	33,614	3,880	0,1206	0,0036	0,2151	0,0032	–6,18	10,93
13.	К-601	7,068	3,880	0,0280	0,0040	0,0485	0,0039	2,67	12,61
14.	К-597	2,854	3,880	–	–	–	–	–1,58	11,61
15.	К-592	12,500	3,880	0,0485	0,0039	0,0881	0,0037	3,46	12,85
16.	К-618	24,513	3,880	0,0910	0,0037	0,1650	0,0034	4,89	13,14
17.	К-593	0,0001	3,880	–	–	–	–	–0,01	12,05
18.	К-598	14,378	3,880	0,0554	0,0039	0,1010	0,0037	–4,12	11,34
19.	К-615	1,732	3,880	–	–	–	–	1,35	12,32
20.	К-614	71,408	3,880	0,2257	0,0032	0,3717	0,0026	8,35	13,92

Отклонение от контроля, представляющего исходную популяцию, значений сравниваемых с ним полусибсовых семей представляет собой селекционный дифференциал [1, 2], достигаемый по анализируемому признаку при отборе плюсового дерева. Критерием его достоверности выступают полученные оценки существенности различий. На практике трудно обеспечить равенство дисперсий различных совокупностей, в силу чего уместно применять менее зависимую от размера дисперсии оценку – интенсивность отбора [3]. В нашем случае она выражена отношением селекционного дифференциала к значению среднего квадратического отклонения признака в контроле, который выступает популяционным эквивалентом (табл. 1). Помимо этого были получены оценки доли влияния организованных факторов – различий между полусибсовыми семьями и контролем.

Селекционный дифференциал, изначально заложенный как нормативный критерий их отбора по фенотипу ( $S_{ph}$ ), составил по высоте 10 %, по диаметру ствола – 30 %. Полученные значения селекционного дифференциала при сравнительном анализе полусибсовых семей этих плюсовых деревьев и контроля ( $S_g$ ) в большинстве оказались значительно ниже указанных нормативных величин (табл. 1). Их отношение ( $K_s = S_g/S_{ph}$ ) может рассматриваться как оценка эффективности отбора по фенотипу (табл. 1). Эффективность отбора соответствует 1 или 100 % в случае, когда результаты отбора по фенотипу соответствуют итогам отбора по генотипу. Удалось зафиксировать только 2 случая превышения значения селекционного дифференциала, установленного при сравнительных испытаниях семенных потомств плюсовых деревьев и контроля, над его заданной при отборе по фенотипу величиной:  $K_s = 1,552$  у клона К-614 в 2006 г. и  $K_s = 3,329$  у клона К-584 на фоне общего низкого уровня значений средних в контроле в 2004 г.

На ЛСП полусибсовое потомство отдельного плюсового дерева представляет собой совокупность возможных комбинаций его скрещивания со всеми остальными клонами, при исключении случаев самоопыления. Сумма средних значений признака всех

полученных таким образом (в поликросс-тесте) полусибсовых семей соответствует сумме средних значений признака каждой из всех прямых комбинаций скрещивания по односторонней прямой диаллельной схеме или равна полусумме всех значений полной реципрокной диаллельной схемы. Количество вариантов прямых скрещиваний какого-либо одного плюсового дерева со всеми остальными (исключая случай самоопыления) должно быть равно  $p - 1$ , где  $p$  – число получаемых в поликросс-тесте полусибсовых семей, соответствующее числу испытываемых плюсовых деревьев.

В нашем примере с поликросс-тестом расчет сумм средних значений признака по каждой комбинации одностороннего прямого диаллельного скрещивания [3] будет адекватен произведению среднего значения признака отдельной полусибсовой семьи на число степеней свободы ( $p - 1$ ) для дисперсии, вызванной различиями в происхождении родителей: число плюсовых деревьев, чьи потомства изучают в испытательных культурах, минус единица. Это следует из представления о семенном потомстве одного плюсового дерева как о смеси семенных потомств от всех комбинаций его скрещивания со всеми другими плюсовыми деревьями за минусом варианта самоопыления данного плюсового дерева. В этом случае среднее значение признака полусибсовой семьи соответствует обобщенному среднему всех комбинаций скрещивания данного плюсового дерева со всеми другими плюсовыми деревьями. Сумма же всех средних значений признака каждой из комбинаций скрещивания данного плюсового дерева со всеми другими плюсовыми деревьями (за исключением варианта его самоопыления) равна произведению этого обобщенного среднего на количество комбинаций за минусом варианта самоопыления ( $p - 1$ ).

В реализации поликросс-теста при свободном опылении на ЛСП не представляется возможным вычисление средних значений анализируемого признака по каждой отдельной комбинации скрещивания каждого из участвующих в испытании плюсовых деревьев, что является определенным этапом анализа по диаллельной схеме [3, 7].

Результаты измерений учитываемых параметров в испытательных культурах дают возможность определить лишь значение обобщенной средней величины показателя (высоты, диаметра и т.д.) для всех возможных гибридов конкретного плюсового дерева. Данная статистика соответствует среднему значению признака для всех комбинаций скрещивания отдельного родителя при контролируемом опылении по диаллельной схеме. Ее можно представить как частное от деления суммы всех значений признака полусибсовой семьи (независимо от пути формирования: поликросс-тест или диаллельная схема) на численность этой семьи. Тогда сумма (1) средних значений признака всех комбинаций скрещиваний одного плюсового дерева в полной реципрокной диаллельной схеме ( $\bar{x}_j$ ) будет равна произведению обобщенного среднего его полусибсовой семьи ( $\bar{x}_o$ ) на число возможных комбинаций скрещивания данного плюсового дерева ( $p - 1$ )

$$\sum_{j=1}^p \bar{x}_j = \bar{x}_o \times (p-1). \quad (1)$$

Это соответствует логике организации скрещиваний при свободном опылении на ЛСП, в котором исключаются варианты самоопыления. Последнее в свою очередь обусловлено применяемыми схемами смешения клонов. Напротив, все варианты перекрестного опыления обеспечиваются наиболее полным и равномерным образом. В итоге мы получаем схему опыления, адекватную одной из схем по Б. Гриффингу: все варианты перекрестного опыления при исключении случаев самоопыления.

В качестве примера тестирования были выбраны результаты учета высоты однолетних сеянцев полусибсовых семей, выращенных в одинаковых условиях среды в Семеновском специализированном семеноводческом лесхозе Нижегородской области. В принятой на ЛСП схеме поликросс-теста каждая отдельная полусибсовая семья может быть представлена как совокупность всех комбинаций скрещиваний одного клона со всеми остальными клонами других плюсовых деревьев. Этот постулат послужил платформой для принятия методического решения, при реализации которого необходимая для рас-

чета по одному из алгоритмов Б. Гриффинга сумма средних значений признака каждой из комбинаций полной диаллельной схемы, находилась как произведение обобщенного среднего значения признака по отдельной полусибсовой семье на число степеней свободы от числа полусибсовых семей ( $p - 1$ ). Предлагаемый нами алгоритм вычислений ориентирован на использование электронных таблиц *Excel*. При этом суммы квадратов отклонений, соответствующие им числа степеней свободы и средние квадраты отклонений (табл. 2) вычисляются традиционными для двухфакторных неравномерных комплексов способами [12].

Вычисление компонентов проводят по следующим формулам:

сумма квадратов отклонений, обусловленная ОКС

$$SS_g = \frac{1}{p-2} \times \sum_{i=1}^p x_i^2 - \frac{4}{p \times (p-2)} \times x_{..}^2, \quad (2)$$

средний квадрат отклонений ОКС

$$MS_g = SS_g / (p - 1). \quad (3)$$

Достоверность эффектов общей комбинационной способности определяют с помощью  $F$ -критерия Фишера

$$F_{OKC} = MS_g / MS_e'. \quad (4)$$

Число степеней свободы равно:  $k_g = p - 1$  (для значения  $MS_g$ );  $k_e = m$  (для значения  $MS_e$ ). Общую комбинационную способность любой ( $i$ -той) родительской формы определяют по традиционной для таких ситуаций формуле

$$g_i = (1 / (p(p - 2))) \cdot (px_i - 2x_{..}). \quad (5)$$

Величина  $x_i$  принимается как сумма средних значений признака семенного потомства всех комбинаций скрещивания каждого отдельного ( $i$ -го) плюсового дерева со всеми остальными, участвующими в испытании, за исключением вариантов самоопыления (для диаллельных схем 3 и 4 по Б. Гриффингу). Для случая с поликросс-тестом величина  $x_i$  равна произведению среднего значения для всей полусибсовой семьи отдельного плюсового дерева на число возможных комбинаций со всеми остальными без варианта самоопыления ( $x_i = \bar{x}_i \cdot (p - 1)$ ), тогда эффект общей комбинационной способности вычисляется

$$g_i = (1 / (p(p - 2))) \cdot [p(p - 2) \bar{x}_i - 2x_{..}]. \quad (6)$$

Схема дисперсионного анализа для определения ОКС при поликросс-тесте

Источники варьирования	Степени свободы	Сумма квадратов, $SS$	Средний квадрат, $MS$	Теоретически ожидаемое для среднего квадрата по модели 1
Разница между семьями полусибсов	$k_g = p - 1$	$SS_g$	$MS_g$	$\sigma_{g_i}^2 + (p-2) \times \frac{1}{p-1} \times \sum_{i=1}^p g_i^2$
Остаток (ошибка)	$k_e = p \cdot r \cdot (n-1) = m$	$SS_e$	$MS_e$	$\sigma_e^2$

Величина  $x_{..}$  рассматривается как общая (для всего анализируемого комплекса плюсовых деревьев – их полусибсовых семей) полусумма сумм всех средних значений признака семенного потомства каждого отдельного плюсового дерева в каждой из комбинаций его скрещиваний со всеми остальными

$$x_{..} = \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^p \sum_{i=1}^{p-1} \bar{x}_i \quad (7)$$

Средняя величина значения признака семенного потомства какой-либо родительской особи в испытаниях полусибсовых семей адекватна сумме всех средних значений по каждой возможной комбинации скрещиваний, деленной на возможное число комбинаций. Это позволяет рассматривать полусумму средних всех полусибсовых групп испытываемых плюсовых деревьев как полусумму произведений среднего значения признака в полусибсовой семье на число степеней свободы ОКС – на число возможных комбинаций одного плюсового дерева со всеми остальными, участвующими в испытании, за исключением варианта самоопыления

$$x_{..} = \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^p (p-1) \times \bar{x}_i \quad (8)$$

Варианса ОКС определенного плюсового дерева равна

$$\sigma_{g_i}^2 = g_i^2 - ((p-1) / (p(p-2))) M_e' \quad (9)$$

В расчетах варианты ОКС использована величина

$$M_e' = M_e / r \times n_i \quad (10)$$

В ней компонент  $r \times n$  равен численности градации действующего фактора (различия между плюсовыми деревьями); для неравномерных комплексов – их усредненной численности. При этом необходимо условие равенства числа повторностей каждой полусибсовой семьи ( $r$ ) и численности каждой повторности ( $n_i$ ) для всех градаций. Число повторностей ( $r$ ) константно для всех

градаций. Обеспечить равенство численностей повторностей в составе градации ( $n_i$ ) и численностей собственно градаций ( $r \times n_i$ ) на практике не удастся в связи с различной сохранныостью растений в каждой из них. Тогда величина  $n = r \times n_i$  определяется исходя из существующих подходов к расчетам усредненных численностей для неравномерных дисперсионных комплексов.

Степень селекционной ценности полусибсовых семей плюсовых деревьев выявлялась по результатам однофакторного дисперсионного анализа, выполненного по схеме парного сопоставления каждого учетного объекта с контролем (табл. 3).

В 2005 г. только одна полусибсовая семья (семенное потомство плюсового дерева № 602) достоверно превышает средние значения высоты контрольного образца. При ранней диагностике плюсовых деревьев по быстрой скорости роста семенного потомства этому объекту может быть отдано предпочтение по сравнению с другими, вошедшими в рассматриваемый нами комплекс сравнения. Три полусибсовые семьи (потомства плюсовых деревьев № 607, № 608, № 612) имеют показатели высоты достоверно меньшие, чем у контрольного образца.

Вместе с тем, их показатели соответствуют действующему стандарту. Остальные объекты (7 из 11) мало отличались от контроля:  $F$ -критерии Фишера в однофакторном парном дисперсионном анализе с контролем не превышали критическое значение на 5 % уровне значимости. Сведения за 2006 г. сохранили основные тенденции, отмеченные ранее. В то же время заметно, что один образец (семенное потомство плюсового дерева № 600) не обеспечил достижение стандартных размеров за один вегетационный период.

Оценки общей комбинационной способности и эффективности отбора

№ п/п	Клон	ОКС		Эффективность отбора			
		$g_i$	$\sigma_{gi}^2$	$S_g$ , см	$i$	$S_g$ , %	$K_S$
2004 г.: обобщенное среднее 9,198±0,074 см; контроль 9,768±0,182 см							
1.	К-582	0,9218	0,8468	0,25	0,12	2,58	0,258
2.	К-583	-2,1876	4,7828	-2,51	-1,16	-25,71	-2,571
3.	К-584	4,2963	18,456	3,25	1,50	33,29	3,329
4.	К-585	-0,9744	0,9465	-1,43	-0,66	-14,67	-1,487
5.	К-586	-0,1080	0,0087	-0,66	-0,30	-6,79	-0,679
6.	К-587	-0,6205	0,3820	-1,12	-0,51	-11,45	-1,145
7.	К-588	0,1734	0,0271	-0,41	-0,19	-4,23	-0,423
8.	К-589	-2,2224	4,9360	-2,54	-1,17	-26,03	-2,603
9.	К-590	1,1514	1,3226	0,46	0,21	4,67	0,467
10.	К-591	-0,4300	0,1819	-0,95	-0,44	-9,72	-0,972
2005 г.: обобщенное среднее 12,796±0,055 см; контроль 13,016±0,148 см							
1.	К-602	1,0250	1,0480	0,62	0,38	4,73	0,473
2.	К-603	0,1062	0,0088	-0,21	-0,13	-1,62	-0,162
3.	К-604	0,0890	0,0054	-0,23	-0,14	-1,74	-0,174
4.	К-605	0,4172	0,1715	0,07	0,04	0,53	0,053
5.	К-606	0,6335	0,3987	0,26	0,16	2,02	0,202
6.	К-607	-1,4686	2,1542	-1,63	-0,99	-12,51	-1,251
7.	К-608	-1,2715	1,6142	-1,45	-0,89	-11,15	-1,115
8.	К-609	0,3104	0,0938	-0,03	-0,02	-0,21	-0,021
9.	К-610	0,6759	0,4543	0,30	0,18	2,32	0,232
10.	К-611	0,0574	0,0008	-0,26	-0,16	-1,96	-0,196
11.	К-612	-0,5743	0,3273	-0,82	-0,50	-6,33	-0,633
2006 г.: обобщенное среднее 11,894±0,043 см; контроль 12,048±0,137 см							
1.	К-600	-2,3708	5,6197	-2,40	-1,45	-19,94	-1,994
2.	К-616	-0,7337	0,5371	-0,85	-0,51	-7,07	-0,707
3.	К-613	0,7153	0,5105	0,52	0,31	4,33	0,433
4.	К-599	0,2258	0,0499	0,06	0,03	0,48	0,048
5.	К-623	-1,0774	1,1597	-1,18	-0,71	-9,77	-0,977
6.	К-620	-1,0535	1,1087	-1,15	-0,70	-9,58	-0,958
7.	К-595	0,6014	0,3606	0,41	0,25	3,43	0,343
8.	К-596	0,6482	0,4190	0,46	0,28	3,80	0,380
9.	К-619	-1,5201	2,3094	-1,60	-0,96	-13,25	-1,325
10.	К-622	-0,5912	0,3484	-0,72	-0,43	-5,95	-0,595
11.	К-621	1,2086	1,4595	0,99	0,60	8,20	0,820
12.	К-594	-1,0102	1,0194	-1,11	-0,67	-9,24	-0,924
13.	К-601	0,7621	0,5796	0,57	0,34	4,69	0,469
14.	К-597	-0,3009	0,0895	-0,44	-0,27	-3,67	-0,367
15.	К-592	1,0069	1,0128	0,80	0,48	6,62	0,662
16.	К-618	1,3204	1,7425	1,09	0,66	9,08	0,908
17.	К-593	0,1636	0,0256	0,00	-0,00	-0,01	-0,001
18.	К-598	-0,5838	0,3397	-0,71	-0,43	-5,89	-0,589
19.	К-615	0,4509	0,2022	0,27	0,16	2,25	0,225
20.	К-614	2,1385	4,5721	1,87	1,13	15,52	1,552

Примечание:  $g_i$  – эффекты ОКС;  $\sigma_{gi}^2$  – варианса ОКС;  $S_g$  – селекционный дифференциал опытный;  $i$  – интенсивность отбора;  $K_S = S_g/S_{ph}$ ;  $S_{ph} = 10\%$

Достоверное превышение средних значений высоты по отношению к контролю продемонстрировали полусибсовыи семьи плюсовых деревьев № 613, 596, 624, 601, 592, 618, 614 (7 объектов из 20). Остальные либо не имели достоверных различий с контролем (недостоверно больше – № 599, 595, 615; недостоверно меньше – № 597, 593), либо достоверно уступали ему по анализируемому показателю (№ 600, 616, 623, 620, 619, 623, 594, 598).

Величины интенсивности отбора (*i*) позволили получить сопоставимые (по разным годам) оценки эффективности проведенного отбора плюсовых деревьев (предварительные оценки способности к высоким темпам стартового развития). Разные плюсовые деревья продемонстрировали неодинаковые результаты. Наиболее высокими (за 2004–2006 гг.) они оказались у плюсовых деревьев № 584 (1,50); 614 (1,13); 618 (0,66); 621 (0,60).

Сопоставление обобщенного для всех полусибсов среднего значения признака с контролем не позволило зафиксировать преимуществ семенных потомств плюсовых деревьев над сеянцами, выращенными из семян, заготовленных в нормальных насаждениях того же лесхоза. Селекционный дифференциал отрицателен и в большинстве случаев недостоверен.

В 2003 г. обобщенное среднее (11,404±0,105 см) достоверно меньше (1,13 см или 8,99 %) контрольного варианта (12,527±0,401 см) на 5 % уровне значимости и недостоверно меньше на 1 % уровне:  $F_{он} = 6,625$  при  $F_{05} = 3,852$  и  $F_{01} = 6,660$ . В 2004 г. обобщенное среднее (9,198±0,074 см) достоверно меньше (0,57 см или 5,83 %) контроля (9,768±0,182 см) на 5 % уровне значимости:  $F_{он} = 5,898$  при  $F_{05} = 3,848$ , и недостоверно меньше него на 1 % уровне:  $F_{он} = 5,898$  при  $F_{01} = 6,640$ . В 2005 г. обобщенное среднее (12,796±0,055 см) недостоверно меньше (0,22 см или 1,69 %) контроля (13,016±0,148 см) на 5 % и 1 % уровнях значимости:  $F_{он} = 1,776$  при  $F_{05} = 3,850$  и  $F_{01} = 6,640$ . В 2006 г. обобщенное среднее (11,893±0,043 см) недостоверно меньше (0,16 см или 1,29 %) контроля (12,048±0,137 см) на 5 %

и 1 % уровнях значимости:  $F_{он} = 0,911$  при  $F_{05} = 3,846$  и  $F_{01} = 6,640$ .

Отмеченная тенденция весьма устойчива и сохраняется в течение всего периода наблюдений за однолетними сеянцами. Это позволяет говорить о закономерности в соотношении параметров семенного потомства плюсовых деревьев и контроля, если они имеют одинаковое или близкое в географическом или территориальном отношении происхождение. В такой ситуации отсутствуют основания для утверждений о достигнутом в целом положительном селекционном дифференциале. За весь период наблюдений он не превышал на достоверном или существенном уровне нулевую отметку. В этом случае мы говорим о разности между средним значением в группе отобранных особей – плюсовых деревьев, оцениваемой по параметрам селективируемого признака у их семенного потомства, и средним значением того же признака в нормальных насаждениях при адекватной в методическом отношении оценке.

Оценка стабильности контрольного показателя может быть установлена исходя из величины колебаний его значений:

2003 г.: 12,53 ± 0,40 см;  
2004 г.: 9,77 ± 0,18 см;  
2005 г.: 13,02 ± 0,15 см;  
2006 г.: 12,05 ± 0,14 см.

Причиной можно признать разницу в погодных условиях. Расхождения в оценках контроля существенны, что подтвердил дисперсионный анализ комплекса значений контроля за 2003 – 2006 гг.:  $F_{он} = 67,914$  при  $F_{05} = 2,624$ . При парном сравнении значений каждого года с каждым из остальных недостоверными оказались различия только за 2003 г. и 2006 г. Все остальные случаи парного сравнения по годам оказались достоверными.

Масштаб колебаний анализируемого признака контроля в зависимости от условий года формирования и заготовки семян, года выращивания сеянцев существеннее, чем в большинстве случаев соответствующего сопоставления контроля с испытываемой полусибсовой семьей плюсового дерева. Это подтверждает высокую степень зависимости высоты ствола от факторов внешней среды. Следовательно, выборки, представляющие

контроль в разные годы, не могут быть отнесены к одной совокупности и должны рассматриваться как статистически достоверно независимые одна от другой обособленные группы объектов, т.е. варьирование показателя по годам существенно превосходит уровень различий между объектами контроля в каждый конкретный год. Это указывает на необходимость сравнивать в дисперсионных комплексах только те объекты, которые не имели различий по срокам выращивания посадочного материала. Становится очевидным, что объединение значений показателя, полученных в разные годы, нецелесообразно, поскольку объединяются и усредняются заведомо неоднотипные величины, притом что различия между учетами в разные годы у разных объектов (наборы клонов плюсовых деревьев и контроль) изменяются несинхронно, усреднение неизбежно вызовет потерю различий между одними и возможное их увеличение между другими объектами опыта. Это может вызвать искажение реальной картины соотношения между сравниваемыми клонами и контролем, как и между самими клонами плюсовых деревьев.

В заключение можно отметить целесообразность дифференцированного применения оценок плюсовых деревьев, таких как селекционный дифференциал и общая комбинационная способность. Эти показатели следует рассматривать как разные оценки эффективности отбора при анализе испытательных культур: селекционный дифференциал как количественную оценку превышения значений отобранных плюсовых деревьев над значениями контроля, а общую комбинационную способность как оценку их способности передавать имеющиеся селекционные преимущества семенному потомству.

### Библиографический список

1. Айала, Ф.Дж. Введение в популяционную и эволюционную генетику / Ф.Дж. Айала. – М.: Мир, 1984. – 232 с.
2. Айала, Ф.Дж. Современная генетика. – В 3-х т. Т. 2. Пер с англ. / Ф.Дж. Айала, Дж.А. Кайгер. – М.: Мир, 1988. – 368 с.
3. Гужов, Ю.Л. Селекция и семеноводство культурных растений / Ю.Л. Гужов, А. Фукс, П. Валичек. – М.: Агропромиздат, 1991. – 463 с.
4. Ефимов, Ю.П. Проблемы повышения эффективности лесосеменных плантаций / Ю.П. Ефимов // Генетика и селекция в лесоводстве: сб. науч. трудов ЦНИИЛГиС. – М., 1991. – С. 198–213.
5. Ефимов, Ю.П. Итоги многолетнего испытания материнских деревьев сосны обыкновенной по семенному потомству / Ю.П. Ефимов // Генетическая оценка исходного материала в лесной селекции. – Воронеж: НИИЛГиС, 2000. – С. 33 – 44.
6. Ефимов, Ю.П. О новой категории семенных плантаций древесных пород в лесном семеноводстве России / Ю.П. Ефимов // Селекция, генетические ресурсы и сохранение генофонда лесных древесных растений (Вавиловские чтения) / матер. междунар. науч. конф: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Вып. 59. – Гомель, 2003. – С. 200–204.
7. Ефимов, Ю.П. Методика выделения и изучения сортов лесных древесных растений / Ю.П. Ефимов, Н.С. Русин // Вековой опыт формирования лесных экосистем в агроландшафтах засушливого пояса России: матер. междунар. научно-практ. конф., посвящ. 100-летию Нижневолжской станции по селекции древесных пород – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2003. – С. 26–35.
8. Кедров-Зихман, О.О. Поликросс-тест в селекции растений / О.О. Кедров-Зихман. – Минск: Наука и техника, 1974. – 128 с.
9. Коновалов, Н.А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства / Н.А. Коновалов, Е.А. Пугач. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 176 с.
10. Котов, М.М. Генетика и селекция / М.М. Котов. – В 2-х ч. Ч. 1. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 280 с.
11. Кундзиньш, А.В. Лесная селекция / А.В. Кундзиньш, Г.А. Игаунис, Я.Я. Гайлис и др. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 200 с.
12. Лакин, Г.Ф. Биометрия. Учеб. Пособие для биологич. спец. Вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
13. Любавская, А.Я. Лесная селекция и генетика. – М.: Лесн. Пром-сть, 1982. – 220 с.
14. Мольченко, Л.Л. К вопросу ранней диагностики генотипа плюсовых деревьев. / Л.Л. Мольченко // Четвертый съезд всесоюзного общества генетиков и селекционеров имени Н.И. Вавилова. Кишинев I – 5 февраля 1982 г.: тез. докл. – Кишинев: Штиинца, 1982. – Ч. – 3. – С. 61.
15. Основные положения методики закладки испытательных культур плюсовых деревьев основных лесобразующих пород. – Воронеж: Гослесхоз СССР, 1982. – 18 с.
16. ОСТ 56-74-96. Плантации Лесосеменные основных лесобразующих пород. Основные требования. – М.: Типография № 9 Комитета РФ по печати, 1996. – 25 с.
17. ОСТ 56-98-93. Сеянцы и саженцы основных древесных и кустарниковых пород. Технические условия. – М.: Всероссийский научно-исследовательский информационный центр по лесным ресурсам, 1994. – 40 с.

## ФЛОРИСТИКО-ЦЕНОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БРИОФЛОРЫ ТИПИЧНЫХ АССОЦИАЦИЙ ЛЕСОСТЕПНЫХ ДУБРОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

С.И. ДЕГТЯРЕВА, *ст. преподаватель каф. ботаники и физиологии растений ВГЛТА,  
канд. биол. наук*

*vglta@vglta.vrn.ru*

Анализируя обширную литературу по широколиственным лесам территории СНГ, можно отметить, что целенаправленных исследований мохового компонента не проводилось.

Полных, обобщающих сведений о мхах нет ни в отдельных статьях, ни в монографиях, посвященных характеристике различных формаций и типов широколиственных лесов. Фрагментарные сведения о мхах содержатся в геоботанических работах, в которых изучались сформированные сообщества (ассоциации или синтаксоны более высоких рангов) с хорошо развитым травостоем. Исследователи отмечали, что мхи в напочвенном покрове развиты слабо, видовой состав беден, проективное покрытие не более 1–5 %. В отдельных публикациях можно встретить небольшие перечни мхов, поселяющихся на характерных для дубравных ценозов субстратах: почва, стволы деревьев, гнилая древесина.

Пристальное внимание было обращено на мохообразные лесостепных дубрав по следующим причинам:

- 1) высокая степень деградации дубрав и слабая представленность в заповедном фонде;
- 2) отсутствие комплексного флористико-ценотического анализа бриофлоры;
- 3) возможность количественного изучения эпифитных синузид именно в дубравах.

Объектами исследований выбраны мхи нагорных дубрав Воронежской области: Шипов лес (ШЛ) площадью 34 тыс. га, на правом берегу р. Осереды (Павловский и Бутурлиновский районы); Теллермановский лес (ТЛ), 40 тыс. га, на правом берегу рек Хопра и Вороны (Грибановский, Борисоглебский, Новохоперский районы); Воронежская нагорная дубрава (ВНД), 15 тыс. га, на право-

бережье реки Воронеж в окрестностях г. Воронежа [1].

Выбраны схожие дубравные ассоциации: плакорная снытевая, пологово-склоновая осоково-снытевая и осоковая, а также солонцовая разнотравно-злаковая (ШЛ и ТЛ), тальвеговая крупнотравная (ШЛ) и пойменная ландышево-ежевичная (ТЛ).

Определение информативных параметров бриофитов, адекватно отражающих состояние экосистем, было поставлено в качестве одной из приоритетных задач [2, 3].

Использовались следующие оценочные параметры:

- 1) видовое богатство в каждой ассоциации;
- 2) видовая плотность на учетной площади (среднее на 1 га);
- 3) относительное проективное покрытие (ОПП), которое определялось как среднее в каждой ассоциации на учетную площадку в 1 га, где выбиралось по 50 деревьев. Измерения проводились по четырем экспозициям – север–юг–восток–запад: а) на уровне 120 см – стволовая часть – и б) 50 см – прикомлевая часть; элементарная учетная площадка – 1 дц<sup>2</sup>;
- 4) количество видов по типам субстратов [4];
- 5) количественные отношения между эколого-субстратными группами;
- 6) семейственное и родовое богатство;
- 7) число индикаторных видов и полночленность неморального базифильного комплекса [5];
- 8) подсчитывали обилие видов на 1 дц<sup>2</sup> по шкале Браун-Бланке;
- 9) рассчитывали коэффициент Бергера-Паркера, который в определенной степени также иллюстрирует уровень биоразнообразия [6].

Полученные нами значения ОПП значительно ниже данных исследований, посвященных классификациям эпифитных синузий, где ОПП измерялось на изначально выбранных площадках 1–8 дм<sup>2</sup> [7].

Видовое богатство мхов составляет: ТЛ – 71, ШЛ – 82, ВНД – 85 видов. Поскольку однотипные ассоциации (снытевая, снытево-осоковая и осоковая) в дубравах практически не отличаются по основным показателям, анализ бриофлоры аналогичных ассоциаций будет общим. По видовому богатству выделяются ассоциации с оптимальным экологическим режимом: снытевая – 26, осоковая – 19, снытево-осоковая – 31. Видовая плотность выше в снытево-осоковой – 20 и снытевой – 18, несколько ниже в осоковой – 12 видов. Большее число семейств – 17 и родов – 24 в снытево-осоковой ассоциации, незначительно меньше в снытевой ассоциации (семейств – 14 и родов – 21), одно из наименьших в осоковой (10 и 13). Количество напочвенных видов одинаковое в снытевой и осоковой – 6, в снытево-осоковой – 9. Эта ассоциация по сравнению с предыдущими характеризуется более развитым напочвенным травяным покровом. Количество видов, выявленных в основании стволов, наибольшее в снытевой – 21 и снытево-осоковой – 24, существенно ниже в осоковой – 16.

Высокий процент неморального базифильного комплекса отмечен в снытево-осоковой – 64,8 % и снытевой – 61,1 %, в осоковой – 42,1 %. Поскольку в число видов неморального базифильного комплекса входят практически индикаторные виды первой группы, то их число в снытево-осоковой ассоциации – 17, снытевой – 14 и в осоковой всего – 7 видов. Индекс Бергера-Паркера в ассоциациях примерно одинаков: выше в снытевой – 2,1, в снытево-осоковой (1,9) и осоковой (1,8).

Наибольшие различия между выбранными ассоциациями демонстрируют данные по проективному покрытию. Все данные на высоте 120 см недостоверны, с учетом ничтожно малого, а зачастую и нулевого покрытия, на высоте 50 см – достоверны. Поскольку ОПП в трех избранных дубравах мало

отличается, приводятся средние значения с учетом 4-х экспозиций в прикомлевой части дерева: в снытевой – 23,6 %; снытево-осоковой – 18,0 %; осоковой – 8,93 %; в стволовой части дерева 1,2 %; 0,54 %; 0,18 % соответственно.

Достаточно специфичные ассоциации свойственны не каждому из массивов: солонцовая разнотравно-злаковая (ШЛ и ТЛ), тальвеговая крупнотравная (ШЛ) и пойменная ландышево-ежевичная (ТЛ) мало отличаются по видовому разнообразию 12–14 видов; по видовой плотности – от 6 видов в пойменной до 10 в солонцовой разнотравно-злаковой и по количеству видов на 1 ствол – 1–2. Количество семейств мало меняется – 6 (тальвеговая и пойменная) и 8 (солонцовая), родов – 10 во всех ассоциациях и являются самыми низкими в сравнении с другими ассоциациями. Число индикаторных видов составляет в среднем 2–3.

При сравнении специфичных ассоциаций более показательное распределение видов по эколого-субстратным группам: количество напочвенных видов в разнотравно-злаковой ассоциации – 4, в тальвеговой крупнотравной и пойменной ландышево-ежевичной – 1, на основании стволов выявлено 9–10 видов в солонцовой ассоциации, 8 видов в тальвеговой и всего 2 вида в пойменной.

Количество облигатных эпифитов во всех трех ассоциациях невелико – 4–6. Полнотенность неморального базифильного комплекса варьирует от 11,1 % (в ассоциациях ТЛ) до 16,7 % (ШЛ). Очень наглядна разница в ОПП. Так, в солонцовой разнотравно-злаковой ассоциации в прикомлевой части различия небольшие – 8,4 % и 9,4 %, а на 120 см в ТЛ моховой покров полностью отсутствовал, в ШЛ давал лишь 0,2 %. В тальвеговой ассоциации в основании ствола – 8,4 %, на 120 см – 0,8 %. В пойменной ассоциации ТЛ самые высокие значения – 3,2 % на 120 см и 9,0 % в прикомлевой части.

Отношение стволовые эпифиты/виды оснований стволов только в пойменной ландышево-ежевичной самое высокое – 3,0, так как мхи из постоянного затопления поселяются в основном в стволовой части дуба, в

других же ассоциациях всего 0,6. Только в солонцовой разнотравно-злаковой дубраве гнилая древесина как субстрат отсутствовала, в других ассоциациях: отношение виды гнилой древесины/стволовые эпифиты в снытево-осоковой, осоковой, снытевой составляет 0,2 и является самым низким, в тальвеговой – 0,7 и наибольшее в пойменной ландышево-ежевичной, где очень много валежных деревьев – 1,2.

Для статистической обработки многочисленных данных по ОПП использовался многофакторный дисперсионный анализ, который дает возможность оценить следующие данные: степень достоверности влияния на ОПП каждого из учтенных факторов в отдельности и в их сочетаниях. При включении в дисперсионный анализ большого числа (более двух) изучаемых факторов использовался анализ Краскал-Уоллиса. Дисперсионный анализ показал достоверные отличия ОПП между сторонами света (север, юг, восток, запад), высотой (120 см и 50 см), между типичными ассоциациями, выявил взаимное влияние факторов.

Таким образом, мы установили четкое изменение показателей биоразнообразия в ряду ассоциаций по градиенту увлажнения: снытевая – осоково-снытевая – осоковая. Снытевая и снытево-осоковая ассоциации, занимающие большие площади на плакорах и пологих приводораздельных склонах, имеют хорошо развитый подлесок и травянистую растительность и характеризуются более высокими показателями видового богатства (почти исключительно за счет видов древесных субстратов), высоким процентом неморального базифильного комплекса и числом индикаторных видов. Осоковая ассоциация приурочена к менее благоприятным условиям – покатым склонам с суглинистой почвой- и заметно отличается более низкими показателями флористического богатства. Тальвеговая крупнотравная ассоциация на богатых аллювиально-черноземовидных почвах по днищам балок с древостоем II класса бонитета тем не менее имеет низкие показатели флористического разнообразия и степень

развития моховых группировок. Видимо, это связано с вырубкой элитных деревьев, с их усыханием. Структура солонцовой разнотравно-злаковой ассоциации, состояние эдификатора (насаждения дуба с искривленными, сучковатыми стволами, которые рано начинают суховершинить), характер почв (осолоделые солонцы) – все это вместе взятое оказало влияние и на параметры биоразнообразия мохового компонента.

Полученные данные по проективному покрытию свидетельствуют о том, что степень развития эпифитных мохообразных в большей степени, чем показатели видового разнообразия, зависит от комплекса лесорастительных условий сообщества.

### Библиографический список

1. Дегтярева, С.И. К изучению мохового компонента лесостепных дубрав / С.И. Дегтярева // Проблемы бриологии на рубеже веков: мат. междунар. совещ., посвящ. 90-летию со дня рождения Р.Н. Шлякова и И.И.Абрамова. – СПб., 2002. – С. 23–25.
2. Дегтярева, С.И. Информативные параметры биоразнообразия и их применение для оценки влияния природных и антропогенных факторов на состояние экосистем / С.И. Дегтярева // Современные проблемы интродукции и сохранения биоразнообразия растений: мат. междунар. науч. конф. – Воронеж, 2007. – С. 116–118.
3. Дегтярева, С.И. Биоразнообразие мохового компонента среднерусских дубрав (на примере Воронежской области) / С.И. Дегтярева, Н.Н. Попова // Степи Северной Евразии: мат. IV международного симпозиума. – Оренбург, 2006. – С. 579–582.
4. Дегтярева, С.И. Закономерности экотопического распределения мхов в дубравах Среднерусской лесостепи / С.И. Дегтярева, Е.П. Туркина // Естествознание и гуманизм : сб. науч. работ в честь 170-летия со дня рождения Г.Н. Потанина. – Томск, 2004. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 59–60.
5. Игнатов, М.С. Материалы к познанию бриофлоры Московской области / М.С. Игнатов, Е.А. Игнатова // Флористические исследования в Московской области. – М.: Наука, 1990. – С. 121–180.
6. Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М.: Мир, 1992. – С. 181.
7. Баишева, Э.З. Бриосинтаксономия: эпифитные и эпиксильные сообщества / Э.З. Баишева, А.И. Солломец // Бюллетень МОИП. Отдел биол. наук, 1994. – Т. 99. – Вып. 6. – С. 74–86.

## УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ К СНЕЖНОМУ ШЮТТЕ КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ БОРОМ

Е.Е. ЯЛЫНСКАЯ, науч. сотр. лаб. лесовосстановления Института леса Карельского НЦ РАН, канд. биол. наук

Н.П. ЧЕРНОБРОВКИНА, доц, науч. сотр. лаб. лесовосстановления Института леса Карельского НЦ РАН, д-р биол. наук,

[yalinskaya@krc.karelia.ru](mailto:yalinskaya@krc.karelia.ru)

Качество сеянцев в лесопитомнике формируется в соответствии с генотипом, условиями роста и мероприятиями по выращиванию [1]. Подкормка сеянцев является одним из главных способов воздействия на их качество, поскольку только при постоянном обеспечении необходимыми элементами питания в оптимальных соотношениях на протяжении всего вегетационного периода возможно максимальное использование биологического потенциала растения. Внесение удобрений обычно повышает размеры сеянцев, их сухую массу и содержание элементов минерального питания (ЭМП). Посредством удобрений можно регулировать устойчивость к грибным болезням на разных этапах развития растений. В литературе приводятся данные о положительном влиянии внесения минеральных удобрений на рост, приживаемость и сохранность лесных культур, а также на повышение их устойчивости к некоторым грибным болезням и вредителям [2, 8]. Вместе с тем имеются и противоположные мнения, особенно когда речь идет о влиянии различных доз и сочетания удобрений [9, 10].

Наиболее распространенным грибным заболеванием сеянцев сосны в Карелии является снежное шютте, или фацидиоз (возбудитель *Phacidium infestans* Karst.), вызывающее поражение и преждевременное опадение хвои, приводящее к угнетению и гибели сеянцев. Заражение растений происходит осенью, источником заражения являются больные растения и опавшая хвоя. Болезнь, вызываемая грибом, развивается в зимний период на хвое, находящейся под снегом. Весной хвоя пораженных растений покрыта белесой пленкой грибного мицелия, который потом исчезает. К осени пораженная хвоя становится пепельно-белесой, крошится и опадает [3, 4].

Снежное шютте является опасной болезнью молодых насаждений и сеянцев в лесных питомниках. Выращивание сосны тесно связано с распространением этой болезни хвойных, от которой при игнорировании или несвоевременном проведении профилактических мероприятий нередко погибает до 90 % сеянцев [5].

Разные виды растений предъявляют неодинаковые требования к содержанию доступных форм элементов питания в почве. Необходимо изучение реакции каждой болезни на внесение удобрений, так как не существует общей закономерности, касающейся влияния внесения удобрений на протекание и распространение грибных инвазий [6, 10]. Поражению древесных растений и сельскохозяйственных культур грибными болезнями способствует дефицит микроэлементов [7]. Например, при недостатке бора у льна отмирает точка роста вследствие поражения его бактериозом, клубни картофеля заболевают паршой, а у сахарной свеклы возникает гниль сердечка, или сухая гниль. Развитие этих болезней нельзя предотвратить с помощью фунгицидов, т.к. они возникают вследствие нарушения обменных процессов, в частности углеводного и белкового. В отношении бора известно также, что он положительно влияет на поступление в растение фосфора и калия. Являясь антагонистом меди, бор смягчает ее токсическое воздействие и снижает поступление марганца в растения. Хотя минеральное питание является достаточно легко регулируемым фактором, содержание ЭМП в растении само по себе не может свидетельствовать об обеспеченности ими растения. Кроме того, недостаток или избыток одного из элементов может нарушать поступление в растение другого элемента.

Для того чтобы дать рекомендации по внесению удобрений (и тем более микроудобрений), необходимо знать оптимальные уровни содержания ЭМП в растениях. Такие данные имеются далеко не для всех сельскохозяйственных культур, не говоря уже о лесных древесных растениях. В связи с тем, что механизмы поглощения и использования бора растениями до настоящего времени слабо изучены, методы точной диагностики обеспеченности бором хвойных растений еще не выявлены. Поиск способов диагностики обеспеченности бором древесных растений затрудняется в связи с тем, что неизвестен фермент, в состав которого входит бор, а также тем, что оптимальное для роста содержание бора в органах хвойных и некоторых других видов растений очень близко к токсичному. При этом по абсолютному содержанию бора в органах семян невозможно диагностировать обеспеченность микроэлементом хвойного растения, поскольку при одинаковом содержании бора в органах хвойных растений на разных фонах минерального питания оптимальные для роста и развития семян уровни его содержания в органах различны.

Перечисленные причины ограничивают возможности применения методов химической диагностики и объясняют необходимость разработки новых подходов в диагностике минерального питания растений. Именно методы функциональной диагностики минерального питания позволяют оценить не только содержание того или иного элемента питания в фитомассе, но и потребность растения в нем. Потребность растений в ЭМП можно определить, контролируя интенсивность физиолого-биохимических процессов, одним из которых является устойчивость к патогенным грибам. Оценка риска повреждения хвойных патогенными грибами по активности индуцированной защиты оказалась весьма эффективной, при этом в качестве биохимических маркеров использовались в основном вещества вторичного метаболизма. Способность к синтезу разнообразных продуктов вторичного метаболизма является одной из характерных особенностей высших растений, к числу таких продуктов относятся фенольные соединения. Некоторые соедине-

ния фенольного ряда, а именно стильбены, проявляют фунгицидную активность. Установлено, что количественный и компонентный состав вторичных метаболитов (в том числе фенолов) является оптимальным индикатором ранней диагностики физиологического состояния при экстремальных воздействиях, в том числе при поражении патогенными грибами, в частности снежным шютте.

Целью работы являлась оценка возможности использования критерия устойчивости семян сосны обыкновенной к снежному шютте как интегрального показателя функциональной диагностики обеспеченности растений бором. В задачи исследования входило проведение эксперимента по заражению растений снежным шютте на фоне различного обеспечения бором и другими ЭМП, который позволил установить физиологически оптимальные уровни бора в растениях, обеспечивающие интенсивный рост и устойчивость к фитопатогену.

Исследования проводили в условиях Петрозаводского лесхоза (подзона Средней тайги Карелии), на вырубке в сосняке брусничном. Супесчаные почвы экспериментального участка характеризовались оптимальной для роста семян хвойных растений кислотностью – рН водн. 5,2 – 5,4. Для интенсивного роста семян сосны эти почвы бедны ЭМП. Содержание азота составило 0,13, фосфора – 0,16, калия – 0,09, кальция – 0,31, бора – 0,0009, меди – 0,006, марганца – 0,018, цинка – 0,004, кобальта –  $2 \cdot 10^{-4}$  и молибдена –  $1 \cdot 10^{-5}$  от а.с.в. почвы.

Объектом исследования были двухлетние семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Сеянцы высаживали в цилиндрические, вкопанные в почву на глубину 30 см сосуды без дна, то есть с частично открытой корневой системой (объем сосуда  $\approx 7800 \text{ см}^3$ , на поверхности почвы –  $260 \text{ см}^2$ ), из расчета 9 сосудов для каждого из вариантов опыта.

В первую половину вегетационного периода в почву трижды вносили бор в виде борной кислоты в четырех дозах – 0,1; 0,3; 1,0; 3,0 г/м<sup>2</sup> на фоне низкого (без подкормок) и оптимального для роста семян сосны уровня обеспечения элементами питания. Подкормка NPK проводилась азофоской (16 %N 16 %P 16 %K) из расчета по азоту 60 кг д.в./га, дважды за вегетацию.

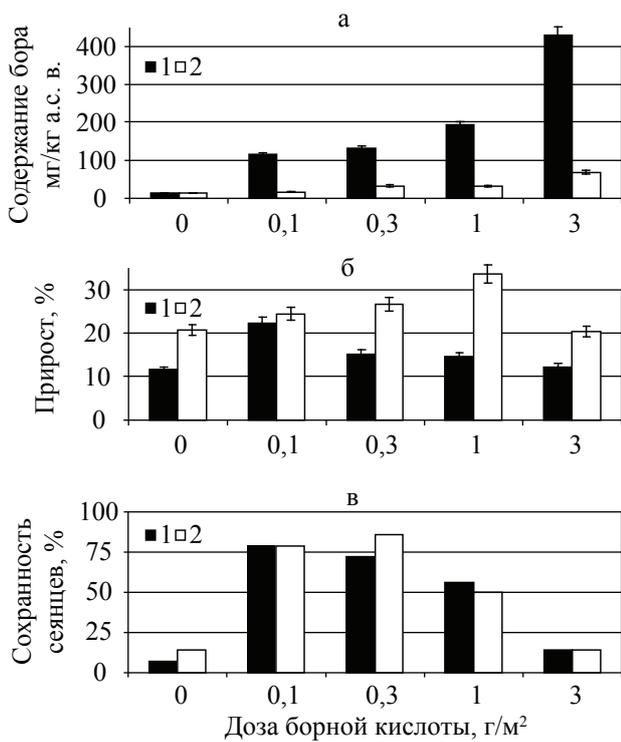


Рис. 1. Влияние внесения в почву борной кислоты в различных дозах на содержание бора в хвое (а), прирост (б) и сохранность (в) двухлетних сеянцев сосны обыкновенной на низком (1) и оптимальном (2) фонах минерального питания

В течение вегетационного периода поддерживали оптимальный уровень кислотности почвы внесением доломитовой муки (200–300 г/м<sup>2</sup>), проводили рыхление и полив почвы до относительной влажности 70 %.

Контролем для вариантов опыта с низким уровнем минерального питания и для других вариантов опыта с оптимальным обеспечением ЭМП служили соответствующие по уровню питания сосуды, в почву которых не вносили бор.

Параллельно на том же экспериментальном участке был заложен опыт с аналогичным внесением доз борной кислоты в почву с искусственным заражением сеянцев снежным шютте на двух фонах минерального питания (ФМП). В конце октября было проведено заражение растений снежным шютте путем внесения пораженной хвои на поверхность почвы по методике В.К. Мороза [3]. Весной проводили обследование посадок по состоянию биогрупп сосны, для оценки распространенности фацидиоза применяли известные методики [3].

В середине вегетационного периода (III декада июля), а также весной следующего года (I декада апреля) проводили отбор растительного материала для определения содержания в нем фенолов в органах пораженных, не пораженных и контрольных растений (не подвергнутых заражению). Содержание фенолов определяли экстракционно-фотометрическим методом с калибровкой по кверцетину. Содержание бора в хвое определяли спектрофотометрическим методом с применением реактива азометина.

Внесение в почву борной кислоты повышало содержание бора в хвое в соответствии с величинами доз (рис. 1а). С учетом внесенных в почву доз бора при выращивании сеянцев в условиях оптимального ФМП уровень бора в хвое был ниже по сравнению с сеянцами, выращенными в условиях низкого ФМП. Внесение в почву азота, фосфора и калия способствовало снижению поступления бора в хвою. В обеспечении бором древесных растений большое значение имеют почвенные условия – повышенное содержание в почве ионов  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  и повышение pH почвы при известковании способствуют закреплению бора почвенными частицами.

Результаты биометрических исследований прироста сеянцев за вегетационный сезон в высоту показали, что дозы борной кислоты в 0,1 г/м<sup>2</sup> на низком ФМП и 1 г/м<sup>2</sup> на оптимальном ФМП стимулировали рост растений (рис. 1б). Средние приросты составили 22,3 % (или 192,6 % по отношению к контролю) и 33,6 % (или 162,4 % по отношению к контролю) в условиях низкого и оптимального ФМП соответственно. Таким образом, в условиях оптимального ФМП более высокие дозы борной кислоты максимально стимулировали рост растений.

Данные по учету сохранности и отпада сеянцев после заражения фацидиозом показали, что трехкратная подкормка бором на низком и оптимальном ФМП оказала заметное влияние на распределение сохранившихся сеянцев по категориям состояния (таблица). Наиболее действенной оказалась доза борной кислоты в 0,1 г/м<sup>2</sup> на низком ФМП – сохранность сеянцев составила 93 %. При этом наблюдался и максимальный прирост сеянцев в высоту.

**Распределение сеянцев сосны обыкновенной по категориям состояния в вариантах опыта с заражением снежным шютте (% от количества растений, высаженных в варианте)**

Фон обеспеченности ЭМП	Категория состояния (по степени пораженности)	Доза борной кислоты г/м <sup>2</sup>				
		0	0,1	0,3	1	3
Низкий	Без признаков ослабления	–	7	7	–	–
	Слабая (поражены < 25 % хвои)	–	50	29	14	–
	Средняя (поражены 26 – 50 % хвои)	–	22	36	21	7
	Сильная (поражены > 50 % хвои)	7	14	14	21	7
	Погибшие	93	7	14	44	86
Оптимальный	Без признаков ослабления	–	–	7	–	–
	Слабая (поражены < 25 % хвои)	–	57	57	14	–
	Средняя (поражены 26 – 50 % хвои)	–	22	22	14	–
	Сильная (поражены > 50 % хвои)	14	14	7	22	14
	Погибшие	86	7	7	50	86

Доза борной кислоты в 1 г/м<sup>2</sup>, максимально стимулировавшая рост растений на оптимальном ФМП, способствовала снижению пораженности сеянцев снежным шютте лишь до 50 %. В то время как более низкие дозы борной кислоты на оптимальном ФМП – 0,1 и 0,3 г/м<sup>2м</sup> – максимально повысили сохранность сеянцев до 93 % (рис. 1в). Данные показали, что не всегда одинаковое содержание микроэлемента в органах растения является оптимальным и для роста растения, и для устойчивости от патогена. В частности, на низком ФМП содержание бора в хвое – 114,5 мг/кг а.с.в., является оптимальным и для роста и для его устойчивости. В то время как на оптимальном ФМП уровень содержания бора в хвое для оптимального роста оказался выше (42,1 мг/кг а.с.в.), чем для максимальной устойчивости сеянцев к снежному шютте (32,8 мг/кг а.с.в.).

Эффект от подкормки макроэлементами, как и микроэлементами, в частности бором, зависит от величины их дефицита в почвенном субстрате при данных условиях роста. В лесных почвах Карелии отмечается дефицит бора, и внесение подкормок данным микроэлементом оказывает стимулирующее действие на рост сеянцев сосны. При этом следует отметить, что для бора характерен узкий диапазон, при котором он положительно влияет на рост и развитие хвойного растения. Содержание бора в хвое взрослых деревьев составляет 20–60 мг/кг, но не должно превышать 100 мг/кг. Для сеянцев сосны ха-

рактерно более высокое содержание ЭМП в органах, в частности бора. Чем выше уровень обеспеченности сеянцев ЭМП, тем в меньших количествах бор поступает в надземные органы, особенно в хвою, тем в меньшей степени обеспеченность бором растений отражается на изменении соотношения количества элемента, закрепленного в органах сеянца, тем более высокий уровень содержания бора в почве стимулирует рост растений.

На территории Карелии ранее изучалось влияние азотно-фосфорно-калийных удобрений на сохранность культур сосны и распространение грибных болезней в природных условиях [6]. Согласно этим исследованиям одноразовая подкормка минеральными удобрениями не оказала заметного влияния как на сохранность культур, так и на отпад и поражаемость грибными болезнями. При обогащении почвы ЭМП в течение нескольких лет подряд наблюдали ускорение процесса дифференциации растений по высоте с отмиранием отстающих в росте. Неоднократное внесение азотных удобрений (из расчета 120 кг д.в./га) повлекло за собой увеличение вредоносности фацидиоза (отпад составил 30–35 % , в контроле – 10 %). Объясняется данное явление накоплением в почве значительного количества аммонийного азота, избыток которого ведет к увеличению периода вегетации, вызывает чрезмерный рост растений и формирование у них тканей с тонкими оболочками. Такие растения оказываются малоустойчивыми к воздействию многих

лесопатологических факторов [7, 9]. Другие исследователи также отмечают, что снежное шютте чаще поражает хорошо развитые сеянцы сосны на богатых почвах.

К середине вегетационного периода содержание фенольных соединений в хвое сеянцев в условиях двух ФМП увеличивалось при внесении подкормок бором (рис. 2а). На низком ФМП уровень фенолов повышался в соответствии с увеличением дозы борной кислоты. На оптимальном ФМП увеличение было значительным при внесении борной кислоты в дозах 1 и 3 г/м<sup>2</sup>. Весной, после схода снега, характер распределения фенолов в хвое в связи с обеспечением сеянцев бором сохранялся (рис. 2б). Однако в абсолютных значениях концентрация фенолов увеличивалась, что характерно для сезонной динамики фенольных соединений в хвое сосны, поскольку в период прекращения роста и перехода древесных растений в состояние покоя изменяется направленность обменных процессов в сторону накопления пластических веществ, выполняющих в организме запасную и защитную функции.

У сеянцев, зараженных снежным шютте, в контроле (без внесения борной кислоты в почву) и в вариантах с высокими дозами бора наблюдали повышение концентрации фенольных соединений в хвое пораженных растений по сравнению с сеянцами, не подвергавшимися заражению (рис. 2 б, в). При дозе борной кислоты в 0,1 г/м<sup>2</sup> на низком и оптимальном ФМП и при дозе 0,3 г/м<sup>2</sup> на оптимальном ФМП содержание фенолов оставалось примерно на одном уровне по сравнению с контролем или незначительно превышало его. Как отмечалось выше, в данных вариантах опыта наблюдали минимальный отпад сеянцев (таблица, рис. 1 в). Можно предположить, что поступающий в хвою бор способствует повышению устойчивости растений к фацидиозу за счет обменных процессов, связанных с преобразованием фенолов.

Существует мнение, что растения способны осуществлять катаболизм фенольных соединений (вплоть до образования СО<sub>2</sub>) и использовать запасенную в них энергию. В то же время фенолы могут накапливаться в значительных количествах в растительных тканях, тем не менее, растение поражается патогеном.

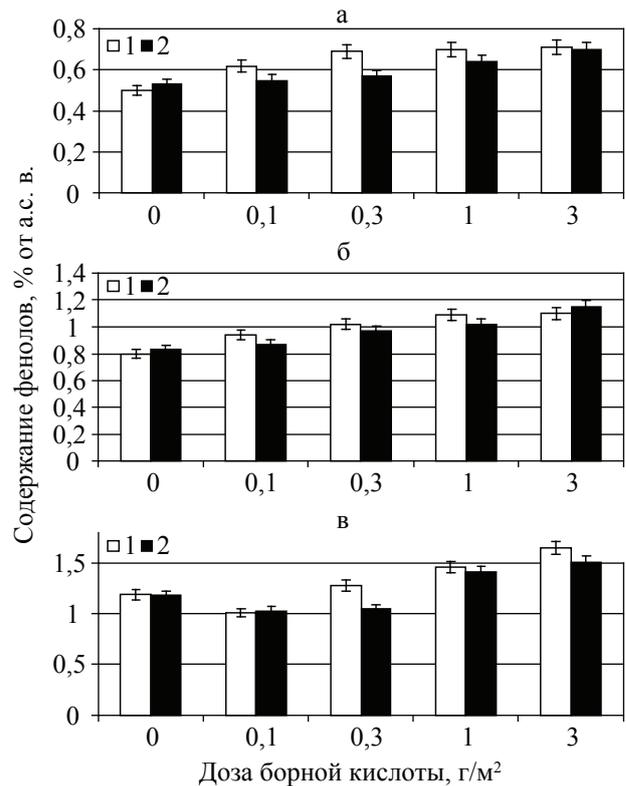


Рис. 2. Влияние внесения в почву борной кислоты в различных дозах на содержание фенолов в хвое двухлетних сеянцев сосны обыкновенной на низком (1) и оптимальном (2) фонах обеспеченности элементами минерального питания: а – до заражения (июль); б – в после заражения фацидиозом; б – контроль, в – опыт

Предполагается, что устойчивость к заболеванию растений связана с наличием или потенциальной способностью растений синтезировать специфические, токсичные для данного патогена фенольные соединения. Так, в древесине рода сосна (*Pinus*) защитные функции принадлежат высоко фунгицидноактивному стильбену – пиносильвину. Фунгицидными или фунгистатическими свойствами могут обладать не сами фенольные соединения, а продукты их окисления и, в частности, хинонные формы.

Особое место в защитных реакциях растений занимает синтез полимерных фенольных соединений. Содержание полимерных фенольных соединений и проантоцианидов в зоне реакции на инфекцию у хвойных видов специфично. Проантоцианиды накапливаются в инфицированных тканях пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) и сосны ладанной (*Pinus taeda* L.), а у ели европейской (*Picea abies* Karst.) их содержание снижа-

ется. Многие исследователи предполагают, что бор также играет важную роль в формировании компонентов клеточных стенок и стабилизации их структуры и усилению их лигнификации. Предполагается, что бор-полисахаридные комплексы участвуют в сшивании поперечных структур клеточных стенок, при этом происходит их стабилизация, и как следствие – может повышаться устойчивость к проникновению патогенных грибов.

Таким образом, результаты исследования показали, что внесение борной кислоты на двух ФМП с естественно низким содержанием бора в почве стимулировало рост сеянцев максимально при дозе 0,1 г/м<sup>2</sup> на низком (192,6 % по отношению к контролю) и дозе 1 г/м<sup>2</sup> на оптимальном (162,4 % по отношению к контролю) ФМП. При внесении в почву борной кислоты происходило накопление фенольных соединений в хвое в условиях низкого ФМП – с увеличением доз борной кислоты, а в условиях оптимального ФМП лишь при дозах 1 и 3 г/м<sup>2</sup>. При искусственном заражении сеянцев снежным шютте в контрольном варианте (без внесения в почву борной кислоты) содержание фенолов в хвое повышалось на двух ФМП.

При искусственном заражении фацидиозом сеянцев сосны на двух ФМП отмечали гибель растений в контроле (без внесения борной кислоты) и в вариантах с высокой дозой (3 г/м<sup>2</sup>). Внесение в почву борной кислоты в дозах 0,1 и 0,3 г/м<sup>2</sup> на двух ФМП повысило сохранность сеянцев. При этом в условиях низкого ФМП сохранность растений была выше, чем на оптимальном ФМП. Искусственное заражение фацидиозом приводило к повышению содержания фенольных соединений в хвое всех вариантов эксперимента, за исключением вариантов с дозами 0,1 и 0,3 г/м<sup>2</sup> на двух ФМП, в данных вариантах отмечена и максимальная устойчивость сеянцев к воздействию патогена. Предполагается, что при внесении указанных доз борной кислоты под сеянцы происходит изменение метаболизма фенольных соединений в растениях, которое в свою очередь и повышает устойчивость сеянцев к заражению. В данных почвенных условиях дозы борной кислоты в 0,1 и 0,3 г/м<sup>2</sup> являются оптимальными по критерию устойчивости к воздей-

ствию патогена. Проведенные исследования показали, что по устойчивости сеянцев сосны к воздействию патогена, в связи с различным обеспечением бором, можно диагностировать оптимальный уровень обеспеченности бором хвойных растений. Следовательно, при оценке обеспеченности бором сосны обыкновенной следует учитывать не только общепринятые критерии – содержание микроэлемента в тканях и интенсивность роста – но и другие функциональные показатели, в частности устойчивость к фацидиозу.

### Библиографический список

1. Рикала, Р. Производство посадочного материала в Финляндии / Р. Рикала // Лесовосстановление на Европейском Севере. Бюллетень Научно-исследовательского института леса Финляндии. – 2000. – Т. 772. – С.133–146.
2. Крутов, В.И. Интегрированный метод защиты от грибных болезней – основа успешного выращивания сосны в лесных питомниках Карелии // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере. – Петрозаводск: КФАН СССР, 1977. – С. 19–23.
3. Мороз, В.К. Фацидиоз – опасная болезнь сосны / В.К. Мороз. – Петрозаводск: Карельское книжное изд-во, 1962. – 58 с.
4. Воронцов, А.И. Патология леса / А.И. Воронцов. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 270 с.
5. Крутов, В.И. Искусственное лесовосстановление и проблемы лесозащиты в Российской Карелии / В.И. Крутов, А.И. Соколов // Лесовосстановление на Европейском Севере. Бюлл. НИИ леса Финляндии. – 2000. – Т. 772. – С. 177–182.
6. Крутов, В.И. Влияние удобрений на сохранность культур сосны и распространение грибных болезней и энтомофагов / В.И. Крутов, И.П. Волкова, С.Н. Кивиниemi и др. // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере. – Петрозаводск: КФАН СССР, 1977. – С. 93–113.
7. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 464 с.
8. Kurkela, T. Fungal disturbances associated with nutritional growth disturbances of Scots pine / T. Kurkela // Commum. Inst. Forest. Fenn. – 1983. – №116. – P. 77–83.
9. Kurkela, T. Metsdnlannoitus ja sienitaudit / T. Kurkela // Metsdntaloudellinen aikakauslehti. – 1965. – №9. – P. 345–349.
10. Pritchett, W.L., Fertilizes responses in young pine plantations / W.L. Pritchett, W.H. Smith // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. – 1972. – V.36. – №4. – P. 660–663.

## ВЛИЯНИЕ МЕТЕО-ФЕНОЛОГИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ ЗИМЫ 2006/07 ГОДА НА ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Г.А. ФИРСОВ, *ст. науч. сотр. Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН, канд. биол. наук,*  
И.В. ФАДЕЕВА, *асп. СПбГЛТА,*

А.В. ВОЛЧАНСКАЯ, *ведущий агроном Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН*

*binadmin@OK3277.spb.edu*

Холодные и теплые зимы по-разному влияют на растения интродуцированной, а порой и местной дендрофлоры Санкт-Петербурга. Ежегодно наблюдаемая изменчивость сезонной ритмики развития растений – следствие их ответных реакций на изменение погодных условий [1]. О влиянии потепления климата на древесные растения начал писать еще в 1970-е годы проф. Н.Е. Булыгин. Климатическая и фенологическая тенденция последней четверти XX века обеспечила успешность перезимовки многих термофильных и считавшихся непригодными для культуры в регионе интродуцированных видов [6]. Продолжающееся потепление климата подтверждает анализ результатов собственных фенологических наблюдений авторов статьи и метеоданных Санкт-Петербургского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями. Возрастающему влиянию этих изменений на древесные растения и посвящена данная статья.

Анализ сведений метеостанции Санкт-Петербург показал, что в настоящее время устойчивый переход среднесуточной темпе-

ратуры воздуха через 0° С сместился со средней даты 26 марта ±2,5 сут. (1947–1977) на 15 марта ±2,5 сут. (1977–2007). Таким образом, фенологическая весна в последнее тридцатилетие стала наступать на 11 дней раньше. В отдельные годы устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0° С и начало сокодвижения *Acer platanoides* L. (индикаторов первого феноэтапа субсезона «снеготаяние») отмечались в рекордно ранние за весь период наблюдений (с 1840 г.) сроки – 26 января 1989 г. и 29 января 1990 г. Продолжительность вегетационного сезона увеличилась за счет более раннего наступления весенне-летних явлений природы. Возросла теплообеспеченность теплой части года.

Если принять за норму среднее значение суммы температур холодной части года последнего 30-летия с отклонением, равным тройному значению стандартной ошибки среднего (± 46×3), то к категории теплых можно отнести 10 зим. Их перечень и теплообеспеченность холодной части года (т.е. периода года с устойчивой среднесуточной температурой ниже нуля) показаны на рис. 1.

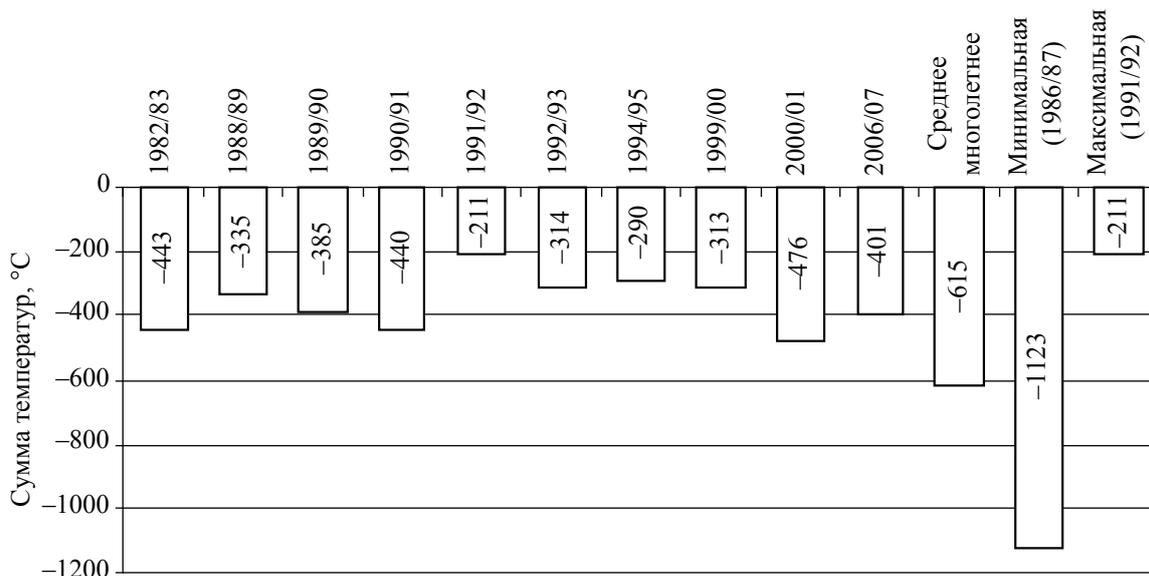


Рис. 1. Теплообеспеченность холодного периода в anomalно теплые годы последнего 30-летия (1977–2007 гг.)

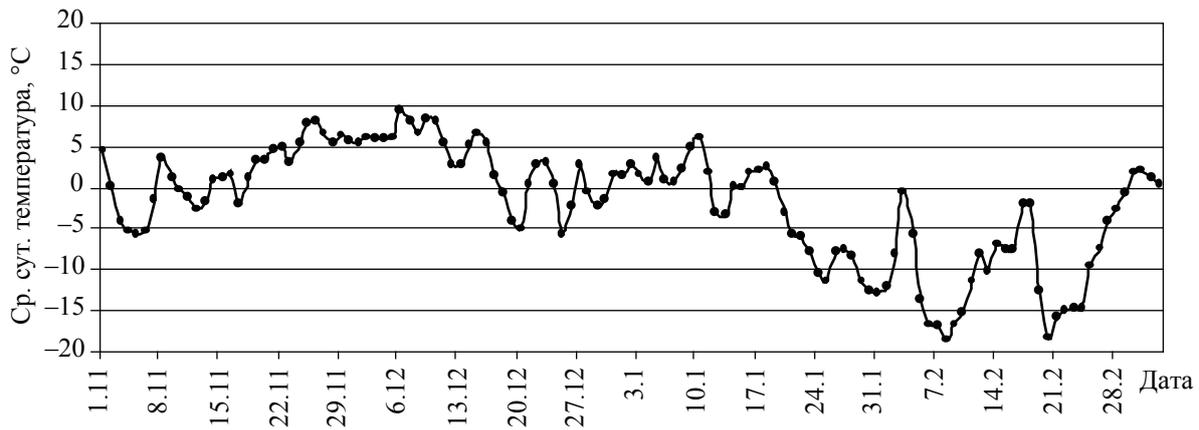


Рис. 2. Ход среднесуточной температуры в ноябре – марте 2006–2007 гг.

Специальное исследование по изучению реакции древесных растений в Санкт-Петербурге на метеоаномалии двух таких зим: 1988/89 и 1989/90 гг. [4]. В 1989 г. был зарегистрирован самый теплый январь за последние 35 лет того времени ( $-0,7^{\circ}$ ), что почти совпадает с рекордом за весь период наблюдений ( $-0,5^{\circ}$  в 1925 г.). За счет раннего окончания эти зимы также были короткими, (но длиннее, чем в 2007 г.), хотя первая наступила рано, а вторая в нормальные сроки.

После теплых зим, какими были зимы 1988/89 и 1989/90 гг., у 70–80 % видов коллекции БИН обмерзания отсутствовали, у 10–15 % были отмечены повреждения почек и концов побегов, и лишь у отдельных видов имело место обмерзание побегов старше одного года. Такие теплые зимы наиболее опасны для хвойных, раноцветущих сережкоцветных и всех древесных с коротким периодом глубокого покоя, в том числе вполне зимостойких при обычных метеоусловиях.

Как видно из гистограммы (рис. 1), теплообеспеченность холодного периода 2006/07 гг. не превышала теплообеспеченности других аномально теплых лет. Уникальность зимы 2006/07 гг. состояла в том, что очень теплая погода в декабре и первой половине января вызвала несвоевременный рост, бутонизацию и цветение растений ряда видов, после чего наступили довольно значительные, хотя и не очень продолжительные морозы (среднемесячная температура февраля 2007 г. была заметно ниже нормы и составила  $10,6^{\circ}$ ) (рис. 2).

Рекордно высокой была среднемесячная температура декабря 2006 г. ( $+3,0^{\circ}$ ). За

весь период наблюдений с 1743 г., в XVIII и XIX веках среднемесячная температура воздуха в декабре была только отрицательная. В XX веке положительной она была только в трех случаях: в 1929 г. ( $+0,2^{\circ}$ ), 1932 г. ( $+1,0^{\circ}$ ) и 1974 г. ( $+0,1^{\circ}$ ). Температура первой декады декабря 2006 г. составила  $+7,1^{\circ}$ , что на  $2,9^{\circ}$  выше прежнего рекорда ( $+4,2^{\circ}$  в 2000 г.). По среднемесячной температуре январь 2007 г. ( $-2,4^{\circ}$ ) можно отнести к категории теплых. В 2006/07 гг. впервые за весь период наблюдений необычайно поздно наступила фенологическая зима – лишь 20 января 2007 г. Сумма среднесуточных температур за эту зиму составила  $-400^{\circ}$  (среднепогодное значение с 1977 по 2007 гг.:  $-615 \pm 46^{\circ}$  С, минимальное:  $-1033^{\circ}$  в 1978/79 гг., максимальное:  $-211^{\circ}$  в 1991/92 гг.).

В январе зафиксирована минимальная температура воздуха  $-16,3^{\circ}$  (31 января). А 8 февраля отмечен абсолютный минимум за эту зиму:  $-22,8^{\circ}$ , то есть тех же значений, что и в теплые зимы 1988/89 и 1989/90 гг. Снежный покров к концу января достигал всего лишь 6 см. К концу февраля – уже 16 см, а 1–2 марта – 17–18 см, но уже к 9 марта весь снег сошел.

При средней продолжительности холодной части года  $121 \pm 3$  сут. (1947–2007) зима 2006/07 г. продолжалась с 20 января по 2 марта, всего 41 день. Она была рекордно короткой не только за последнее 30-летие, но и за весь период наблюдений. Зато осень длилась почти 5 месяцев. Метеорологические аномалии зимы 2006/07 г. вызвали мощные фенологические аномалии (табл. 1).

С 2002 г., после смерти проф. Н.Е. Булыгина, календарь природы феностанции Санкт-Петербургской ГЛТА им. С.М. Кирова

ведется доц. А.А. Егоровым и И.В. Фадеевой. Аналогичный календарь природы парка и ботанического сада БИН с 1980 г. ведутся В.Н. Комаровой и Г.А. Фирсовым.

Заметная осенняя аномалия стала проявляться в 2006 г. с начала подсезона «золотая осень»: отставание по срокам пожелтения листьев растений-дендрофеноиндикаторов на 7 дней (на предыдущем, втором этапе начала осени оно достигало 3 дня). Из-за аномально теплой погоды отставание в наступлении последующих феноэтапов года все более усиливалось. До конца календарного года фенологическая зима так и не наступила. Замер-

зание прудов как индикатор подсезона года «предзимье» произошло только 24 декабря, более чем на полтора месяца позднее обычного (табл. 1).

Весна 2007 г. наступила на 13 дней раньше обычного. Сокодвижение березы повислой *Betula pendula* Roth (второй феноэтап подсезона «снеготаяние») сильно задержалось из-за промерзания почвы и наступило 23 марта, одновременно с зацветанием ольхи черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) и орешника (*Corylus avellana* L.), символизирующих следующий феноэтап – начало оживления весны.

Т а б л и ц а 1

**Календарь природы феностанции Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии им. С.М. Кирова за 2005, 2006, 2007 гг.**

Фенологические сезоны, подсезоны и феноэтапы года	Дата наступления феноэтапа (для среднесезонного значения указана стандартная ошибка)		
	2006 г.	2007 г.	1978–2007 гг.
I. Сезон года «Фенологическая весна»			
1. Подсезон года «Снеготаяние»			
1.1. Первый феноэтап подсезона «Снеготаяние»	18.03	02.03	15.03±2,8
1.2. Второй феноэтап подсезона «Снеготаяние»	15.04	23.03	28.03±2,2
2. Подсезон года «Оживление весны»			
2.1. Первый феноэтап подсезона «Оживление весны»	25.04	23.03	08.04±2,0
2.2. Второй феноэтап подсезона «Оживление весны»	01.05	09.04	24.04±1,6
3. Подсезон года «Разгар весны»			
3.1. Первый феноэтап подсезона «Разгар весны»	04.05	29.04	03.05±1,4
3.2. Второй феноэтап подсезона «Разгар весны»	13.05	15.05	14.05±1,4
3.3. Третий феноэтап подсезона «Разгар весны»	01.06	25.05	27.05±1,4
II. Сезон года «Фенологическое лето»			
1. Подсезон года «Перволетье»			
1.1. Первый феноэтап подсезона «Перволетье»	10.06	01.06	07.06±1,1
1.2. Второй феноэтап подсезона «Перволетье»	23.06	22.06	19.06±1,3
2. Подсезон года «Полное лето»			
2.1. Первый феноэтап подсезона «Полное лето»	30.06	27.06	01.07±1,3
2.2. Второй феноэтап подсезона «Полное лето»	05.07	03.07	10.07±1,5
2.3. Третий феноэтап подсезона «Полное лето»	17.07	15.07	18.07±1,5
3. Подсезон года «Спад лета»			
3.1. Первый феноэтап подсезона «Спад лета»	28.07	28.07	02.08±1,6
3.2. Второй феноэтап подсезона «Спад лета»	11.08	10.08	13.08±1,3
III. Сезон года «Фенологическая осень»			
1. Подсезон года «Первоосень»			
1.1. Первый феноэтап подсезона «Первоосень»	01.09	05.09	31.08±1,0
1.2. Второй феноэтап подсезона «Первоосень»	13.09	10.09	13.09±1,0
2. Подсезон года «Золотая осень»			
2.1. Первый феноэтап подсезона «Золотая осень»	26.09	25.09	23.09±1,0
2.2. Второй феноэтап подсезона «Золотая осень»	11.10	01.10	04.10±1,0
3. Подсезон года «Глубокая осень»			
3.1. Первый феноэтап подсезона «Глубокая осень»	26.10	26.10	17.10±1,0
3.2. Второй феноэтап подсезона «Глубокая осень»	30.10	04.11	24.10±1,0
IV. Сезон года «Фенологическая зима»	20.01.2007 г	05.11	19.11±3,4

Второй феноэтап подсезона «оживление весны», индикатором которого является зацветание ивы козьей (*Salix caprea* L.) наступил на 15 дней раньше по сравнению со среднемноголетним значением. К первому этапу подсезона «разгар весны» отставание сократилось до 4 суток. И лишь следующий, второй этап подсезона «разгар весны», наступил в обычные среднемноголетние сроки.

В конце декабря 2006 г. – начале января 2007 г. в садах и парках Санкт-Петербурга наблюдался целый ряд уникальных, аномальных и очень редких природных явлений: цвели кустарники волчегодник смертельный (*Daphne mezereum* L.), жимолости ранняя (*Lonicera praeflorens*) и синяя (*Lonicera caerulea* L.), отмечены рост побегов и появление молодых листьев абелии корейской (*Abelia coreana*) (см. табл. 1), жимолости каприфоль (*Lonicera caprifolium* L.) и принсепии китайской (*Prinsepia sinensis*), окрасились бутоны рододендрона остроконечного (*Rhododendron mucronulatum* Turcz.), сильно набухли и готовы были распусться почки княжика сибирского (*Atragene sibirica* L.), бузины Микеля (*Sambucus miquelii* (Nakai) Kom.), рябинника рябинолистного (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br.), набухли сережки многих видов ивы (*Salix schwerinii* E. Wolf, *S. gracilistyla* Miq. и др.). Гамамелис виргинский (*Hamamelis virginiana* L.) цвел большую часть зимних месяцев, в те дни, когда температура воздуха была положительной, придавая необычный для сезона весенний вид паркам Ботанического института РАН и СПбЛТА. Ко второй декаде января в начальной стадии набухания были вегетативные почки многих других видов (*Euonymus maximowiczianus* Prokh., *Fagus orientalis* Lipsky и др.). Повреждения растений были в основном небольшие. У многих видов они отсутствовали, у других не превышали концов годичного прироста. Зато заметно обмерзли и долго восстанавливались некоторые виды, которые раньше не обмерзали и считались устойчивыми, что можно объяснить очень ранним началом ростовых процессов и наступлением после этого зимних холодов. Заметно сказались последствия зимы 2006/07 г. на цветении и плодоношении многих древесных растений.

Например, впервые за ряд лет в 2007 г. не было плодоношения у *Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz.

После зимы 2006/07 г. отсутствовали обмерзания таких редких экзотов, как *Chionanthus virginicus* L., *Liriodendron tulipifera* L., *Magnolia hypoleuca* Siebold et Zucc., *M. officinalis* Rehd. et E.H. Wilson. По наблюдениям за модельными растениями в парке БИН, без обмерзаний или с очень слабыми повреждениями концов однолетнего прироста перенесли эту зиму такие виды, которые ранее считались недостаточно зимостойкими: *Acer cissifolium* (Siebold et Zucc.) C. Koch, *A. henryi* Pax, *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) Skvorts., *Catalpa speciosa* Warder ex Engelm. Успешно перезимовал даже персик обыкновенный (*Persica vulgaris* Mill.), считавшийся в Санкт-Петербурге сразу вымерзающим [3].

В то же время некоторые виды сильно обмерзли. У отдельных особей волчегодника смертельного (*Daphne mezereum* L.) вымерзло значительное число цветочных почек и скелетные ветви, несмотря на то, что это вид местной флоры. Видимо, в генетической памяти у волчегодника на данной территории было не так много подобных «провокационных» зим, когда оказывалось возможным столь длительное цветение в зимние месяцы. До корневой шейки в парке БИН обмерзла *Securinega suffruticosa* (Pall.) Rehd., которая в другие годы плодоносит и образует всхожие семена. Среди значительно обмерзших древесных растений выделяются представители флоры российского Дальнего Востока, которые ранее считались вполне и сравнительно зимостойкими: *Rhododendron sichotense* Pojark., *Syringa amurensis* Rupr., *Populus koreana* Rehd. (сильное обмерзание однолетних побегов с потерей декоративности в первую половину вегетационного сезона), *Prinsepia sinensis* (обмерзло более 90 % кроны со всей побеговой системой, прирост неежегодный, перестала цвести и плодоносить), *Lonicera praeflorens* – другой дальневосточный вид с коротким периодом покоя и очень ранним цветением. Она цвела зимой, во второй декаде января, и как результат, была

сильно повреждена последующими морозами. Сильно обмерз дальневосточный кустарник *Abelia coreana* – во второй декаде января 2007 г. у него наблюдалось не только разverzание почек, но и облиствение со значительным приростом побегов, что бывает обычно в апреле–мае. В парке-дендрарии БИН у двух взрослых деревьев *Betula schmidtii* Regel с юга Приморского края после этой зимы засохло много ветвей в кроне, прирост стал неежегодным. Зимой 2006/07 гг. здесь вымерзли китайские виды кизильников: *Cotoneaster divaricatus* Rehd. et Wils. и *C. foveolatus* Rehd. et Wils. (по одному экземпляру из двух, имеющих в коллекции), до корневой шейки обмерз еще один представитель флоры Китая – *C. dielsianus* Pritz. Пострадали древовидные полукустарниковые зверобои, также восточноазиатского происхождения, обладающие коротким покоем и вегетировавшие в январе: *Hypericum hyrcinum* L. и *H. patulum* Thunb. обмерзли до корневой шейки, а *H. forrestii* (Chitt.) N. Robson вымерз целиком.

На фоне теплого биоклиматического цикла многие ранее считавшиеся вымерзающими виды сейчас успешно культивируются в Санкт-Петербурге (*Acer triflorum* Kom., *Ampelopsis aconitifolia* Bunge, *Gymnocladus dioica* (L.) C. Koch). Считавшийся ранее сильно обмерзающим *Juglans regia* L. в последнее время стал цвести, плодоносить и выращивается из местных семян. Вступил в плодоношение и ряд редких видов, которые в прошлом находились в вегетативном состоянии или только цвели, но не давали плодов (*Abies gracilis* Kom., *A. nordmanniana* (Stev.) Spach, *A. semenovii* B. Fedtsch., *Cornus mas* L., *Holodiscus discolor* (Pursh) Maxim., *Platyclusus orientalis* (L.) Franco, *Quercus alba* L., и др.). Стал чаще плодоносить клен серебристый (*Acer saccharinum* L.), который за многолетний период интродукции почти все годы только цвел и отличался крайне редким эпизодическим плодоношением из-за очень раннего цветения.

В то же время в результате участвовавших значительных колебаний температуры воздуха от положительных значений к отрицательным и обратно и при длительном отсутствии снегового покрова снизилась зимос-

тойкость у видов, ранее считавшихся вполне устойчивыми (*Microbiota decussata* Kom.). Особенно это опасно в конце зимы, когда многие виды древесных растений находятся в вынужденном покое. В одну из таких зим (2001/02 гг.) из-за преждевременного начала вегетации (к 15 февраля 2002 г.) обмерзло от 25 до 75 % кроны у ряда деревьев *Tilia cordata* Mill. и *T. platyphyllos* Scop., обычно морозостойких и зимостойких растений с длительным периодом глубокого покоя (из них первая относится к видам местной флоры). До сих пор в Санкт-Петербурге *T. platyphyllos* незначительно повреждалась лишь иногда ранневесенними заморозками. Увеличилось обмерзание у видов с коротким периодом глубокого покоя и не имеющих глубокого покоя. У таких растений в зимы с оттепелями преждевременно начинаются ростовые процессы, и они могут сильно обмерзать (*Abelia coreana* Nakai, *Lonicera praeflorens* Batal., *Prinsepia sinensis* (Oliv.) Bean). В 2008 г. в парке Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (БИН) впервые отмечено значительное обмерзание однолетних побегов *Larix x czekanowskii* Szaf., которая в природе растет в очень суровых климатических условиях Восточной Сибири и в Санкт-Петербурге считалась вполне зимостойкой.

У ряда видов, в обычные и холодные зимы вполне и сравнительно зимостойких, в мягкие зимы начала XXI века имеет место выпревание и вымокание, а также подгнивание у корневой шейки. Так, после зимы 2006/07 г. на 24 участке парка БИН из-за выпревания погибло дерево *Populus tremula* L. var. *daurica* (Dode) C.K. Schneid.

Отмечено подпревание и повреждение камбия и коры у корневой шейки таких древесных, как *Armeniaca mandshurica* и *Acanthopanax sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) Seem. Вероятно, по этой причине на питомнике БИН после зимы 2006/07 гг. погибли *Artemisia arenaria* DC. и *Astragalus albicaulis* DC., а после 2007/08 г. – *Salix lanata* L. Последнюю Э.Л. Вольф [3] относил к зимостойким видам арктической флоры. В то же время в эти годы первой декады XXI века впервые отмечено цветение *Carya ovata* (Mill.) C. Koch и плодоношение *Acer cissifolium*.

**Повреждаемость морозами и репродуктивное состояние некоторых видов интродуцированной дендрофлоры Санкт-Петербурга**

Название растений	Обмерзание растений (баллы) и их репродуктивное состояние		
	Холодные и аномально холодные зимы	Нормальные зимы	Зима 2006/07г.
<i>Abelia coreana</i> Nakai	2, Fr	2, Fr	4, Fr
<i>Abies gracilis</i> Kom.	1, Veg	1, Veg	1, Fr
<i>Acer cissifolium</i> (Siebold et Zucc.) C. Koch	4–7, Veg	2, Veg (Fr – с 2004 г.)	1, Fr
<i>Acer saccharum</i> Marsh.	1–2, Veg	1, Veg	1, Veg
<i>Carpinus japonica</i> Blume	4–7, Veg	4, Veg	2, Fr
<i>Catalpa speciosa</i> Warder ex Engelm.	4–5, Veg	2–4, Veg	2, Veg
<i>Chionanthus virginicus</i> L.	4–7, Veg	2, Fl	1, Fl
<i>Duschekia maximowiczii</i> (Call.) Pouzar	1–2, Fr	1, Fr	1, Fr
<i>Liriodenron tulipifera</i> L.	4–7, Veg	2–4, Veg	2, Veg
<i>Lonicera praeflorens</i> Batal.	2–4, Fr	2, Fr	4, Fr
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et Cheng	4–7, Veg	2–4, Veg	2, Veg
<i>Picea asperata</i> Mast.	1, Fr	1, Fr	1, Fr
<i>Populus koreana</i> Rehd.	1–2, Veg	1–2, Veg	3, Veg

В 2007 г. впервые заплодоносили *Carpinus japonica* Blume и *Acer palmatum* Thunb. Последний вид, например, считался субтропическим и непригодным для культуры в открытом грунте Санкт-Петербурга и Э.Л. Вольфом [3] был отнесен к V группе зимостойкости. В начале лета 2007 г. после долгого перерыва в большом количестве созрели плоды *Acer saccharinum* и его формы с рассеченными листьями (cv. *Wieri*).

Некоторые примеры уровней адаптивности древесных интродуцентов в 2007 г. по сравнению с предшествующими зимами приводятся в табл. 2

В таблице баллы обмерзания показаны по шкале П.И. Лапина [5], от 1 балла (отсутствие повреждений) до 7 баллов (растение вымерзло с корнем). Обозначения репродуктивного состояния приняты следующие: Fr – растение плодоносит, Fl – только цветет, Veg – находится в репродуктивном состоянии.

Среди видов интродуцированной дендрофлоры Санкт-Петербурга есть виды, которые не обмерзают ни в теплые, ни в холодные зимы (*Picea asperata*). Ряд видов хорошо переносят нормальные и мягкие зимы, но могут вымерзать в аномально холодные (*Acer cissifolium*, *Metasequoia glyptostroboides*). Некоторые виды могут существовать только в промежутке между аномально холодными зимами, которые во второй половине

XX века повторялись в среднем через 10–15 лет (1955/56, 1978/79, 1986/87 гг.). Есть достаточно зимостойкие виды, которые зимой 2006/07 гг. обмерзли сильнее, чем это наблюдалось ранее (*Populus koreana*), хотя это и не привело к их гибели. Для большинства видов в теплые зимы все же снижается вероятность обмерзания и наступают более благоприятные условия для цветения и плодоношения.

В силу присущих климату циклических колебаний и обусловленной ими цикличности сезонной ритмики растений постоянно меняется биоклиматическая ситуация, определяя в разные биоклиматические циклы проявление различных уровней адаптации интродуцентов. Поэтому при подведении итогов интродукции и оценке перспектив разведения интродуцентов необходимо учитывать цикличность климата, сезонного ритма интродуцентов и их ритмо-адаптивных связей.

Подтверждается сделанное нами ранее предположение о том, что нынешние климатические аномалии при современной тенденции к потеплению климата в будущем могут стать нормой [4]. Чтобы предсказать последствия прогрессирующего потепления климата на древесные растения, необходимо изучать особенности их репродуктивного состояния, обмерзания и сезонного развития после таких теплых зим начала XXI века, какой была зима 2006/07 г. Некоторые виды, ранее рекомен-

дованные для озеленения Санкт-Петербурга, как *Prinsepia sinensis* [2], на фоне изменившейся метеорологической ситуации следует признать для этого непригодными. Зато такое изменение позволяет выращивать здесь в открытом грунте гораздо большее число редких древесных экзотов, в том числе представителей разных новых родов и семейств (*Lindera benzoin* (L.) Blume, *Calycanthus floridus* L., *Cephalanthus occidentalis* L., *Torreya nucifera* (L.) Siebold et Zucc.), что было невозможно раньше. Это также дает возможность не только значительно увеличить коллекционные фонды ботанических садов города, но и расширить ассортимент рекомендуемых новых видов и форм, перспективных для озеленения и ландшафтного дизайна (*Abies fraseri* (Pursh) Poir., *Juglans cordiformis* Maxim., *Lonicera dioica* L. и др.). Целый ряд видов (*Acer henryi*, *Actinidia polygama* (Siebold et Zucc.) Planch., *Rhododendron maximum* L. и др.) заслуживают более широких испытаний в культуре.

### Библиографический список

1. Бердникова, С.В. Оценка воздействия факторов погоды на ритм сезонного развития древесных растений методами множественного регрессионного анализа / С.В. Бердникова, Н.Е. Булыгин // Лесной журнал. – 1979. – № 5. – С. 15–18.
2. Булыгин, Н.Е. Виды и формы древесных интродуцентов для озеленения Санкт-Петербурга / Н.Е. Булыгин // Растительные ресурсы. – 2000. – Т. 36. – Вып. 3. – С. 115–121.
3. Вольф, Э.Л. Наблюдения над морозоустойчивостью деревянистых растений / Э.Л. Вольф // Тр. бюро по прикладной ботанике. – 1917. – Т. 10. – № 1. – 146 с.
4. Комарова, В.Н. Реакция древесных растений Санкт-Петербурга на метеоаномалии 1989 и 1990 гг. / В.Н. Комарова, Г.А. Фирсов // Бюллетень Глав. Ботан. Сада. – 1995. Вып. 172. – С. 8–10.
5. Лапин, П.И. Определение перспективности растений для интродукции по данным фенологии / П.И. Лапин, С.В. Сиднева // Бюллетень Глав. Ботан. Сада. – 1968. – Вып. 69. – С. 14–21.
6. Фирсов, Г.А. Николай Евгеньевич Булыгин как дендролог и фенолог / Г.А. Фирсов, В.Т. Ярмишко // Ботанический журнал. – 2005. – Т. 90. – № 4. – С. 604–621.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КИСЛОТНЫХ ОСАДКОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЗОНЫ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ

Е.В. ДОРОНИЧЕВА, научный сотрудник отдела экологии ФГУ ВНИИЛМ,  
А.А. МАРТЫНЮК, зам. директора по науке ФГУ ВНИИЛМ, канд. биол. наук

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

Диоксид серы и оксиды азота, поступая в атмосферу с эмиссиями предприятий и трансформируясь в ней, преобразуются в кислоты и становятся источником дополнительного поступления ионов водорода, изменяющих величину рН естественных осадков. В геохимически чистых зонах основной вклад в кислотность осадков вносит диоксид углерода (до 80 %), а суммарный вклад серной и азотной кислот составляет около 10 %; в индустриально развитых районах 60 % кислотности обуславливается серной кислотой, 30 % – азотной, 5 % – соляной и только 2 % – диоксидом углерода [1]. В результате прямого влияния на надземные части деревьев и опосредованного действия через изменение лесорастительных свойств почв выпадение

таких осадков стало причиной повреждения лесов на обширных пространствах Европы и Северной Америки. Воздействие кислотных осадков проявляется при контакте с элементами подстилающей поверхности – растениями, почвами, поверхностными водами и т.п., при этом не имеет значения, где образовался свободный ион водорода – в атмосфере или в момент контакта с объектом [1].

Большинство исследователей сходятся во мнении, что интенсивное влияние кислотных осадков на почву приводит к ускорению выветривания из-за усиления миграции из профиля калия, магния, кальция; увеличению концентрации растворимого алюминия в почвенном профиле, токсичная роль которого для растений очевидна.

С целью уточнения закономерностей влияния кислотных осадков на лесные почвы была проведена серия экспериментов по обработке монолитов наиболее распространенных разновидностей лесных почв зоны хвойно-широколиственных лесов искусственными осадками разной степени кислотности.

Колонки, содержащие монолиты почв ненарушенного сложения (в составе лесной подстилки и верхнего горизонта почвы), помещенные в пластмассовые сосуды диаметром 10–15 см, высотой 20 см, обрабатывали два раза в неделю растворами серной кислоты с рН 4,5, 3,5, 2,5, 1,5 и дистиллированной водой. Разовая порция раствора равнялась 50 мл, что примерно соответствовало среднему недельному количеству выпадающих осадков в регионе. Повторность каждого варианта двух- трехкратная. Изучение почвенных монолитов проводилось после завершения их обработки кислотными растворами.

Величину рН растворов определяли потенциометрическим методом, обменную кислотность – по Соколову, гидролитическую кислотность – по Каппену, сумму поглощенных оснований – по Каппену– Гильковницу, степень насыщенности поглощенными основаниями – расчетным методом, гумус – по Тюрину, нитраты и обменный аммоний – по Макарову и Геращенко, подвижный фосфор – по Кирсанову в модификации ЦИНАО [2].

Результаты обработки монолитов дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почв кислотными растворами в объеме годовой – полугодовой нормы осадков с разной величиной рН свидетельствуют о существенном изменении их агрохимических свойств (рис. 1, 2). Наиболее заметно изменилась (увеличилась) кислотность почв. В легкосуглинистой почве  $pH_{KCl}$  всех вариантов снизилась на 0,3...0,6 ед., включая контроль; в супесчаной почве снижение было менее значительным (0,08...0,27 ед. рН).

Отмечается тенденция к увеличению обменной кислотности изученных почв после обработок кислотными растворами. Более однозначно характеризуется динамика гидролитической кислотности: увеличение в легкосуглинистых почвах на 21–33 %, в супесчаных – на 13–22 %. Показательно, что при

обработке монолитов почв дистиллированной водой с рН 5,5–6,0, в отличие от обменной кислотности, величина гидролитической кислотности достоверно не отличалась от исходных значений.

Пропорционально величине кислотности обработок однозначно уменьшается сумма обменных оснований и степени насыщенности почв поглощенными основаниями во всех испытуемых разновидностях почв и, в максимальной степени, супесчаной. Так, степень насыщенности супесчаных почв поглощенными основаниями в вариантах обработки растворами с рН 3,5 и 2,5 снизилась соответственно на 49 % и 85 % от исходной.

Для контрольных обработок с рН 5,5–6,0 характерно, наоборот, существенное (на 54 %) увеличение насыщенности почв основаниями. Полученные результаты согласуются с имеющимися литературными данными как при искусственных обработках [5], так и в полевых исследованиях [6]. Реакция степени насыщенности основаниями легкосуглинистых почв на кислотное воздействие выражена значительно меньше, что подтверждает высказываемое мнение о повышении буферности почв с увеличением глинистой фракции в их составе [3].

Для оценки качества условий местопрорастания лесных насаждений важно, наравне с указанными агрохимическими показателями, установить закономерности изменений содержания в почвах гумуса и элементов минерального питания растений. Исследования показывают, что при нашей интенсивности и длительности кислотных обработок количество гумуса во всех вариантах опыта изменялось незначительно, что, вероятно, объясняется значительной устойчивостью гумусовых веществ к подкислению [4].

Снижение содержания и разрушение гумуса, видимо, может наблюдаться только при более «жестких» кислотных обработках [7].

Реакция аммонийного азота на кислотное воздействие характеризуется значительной неустойчивостью. Если в супесчаных почвах содержание обменного аммония ( $N-NH_4$ ) под влиянием кислотных обработок уменьшается на 35–44 %, то в легкосуглинистых наблюдается слабо выраженная тенденция к его росту.

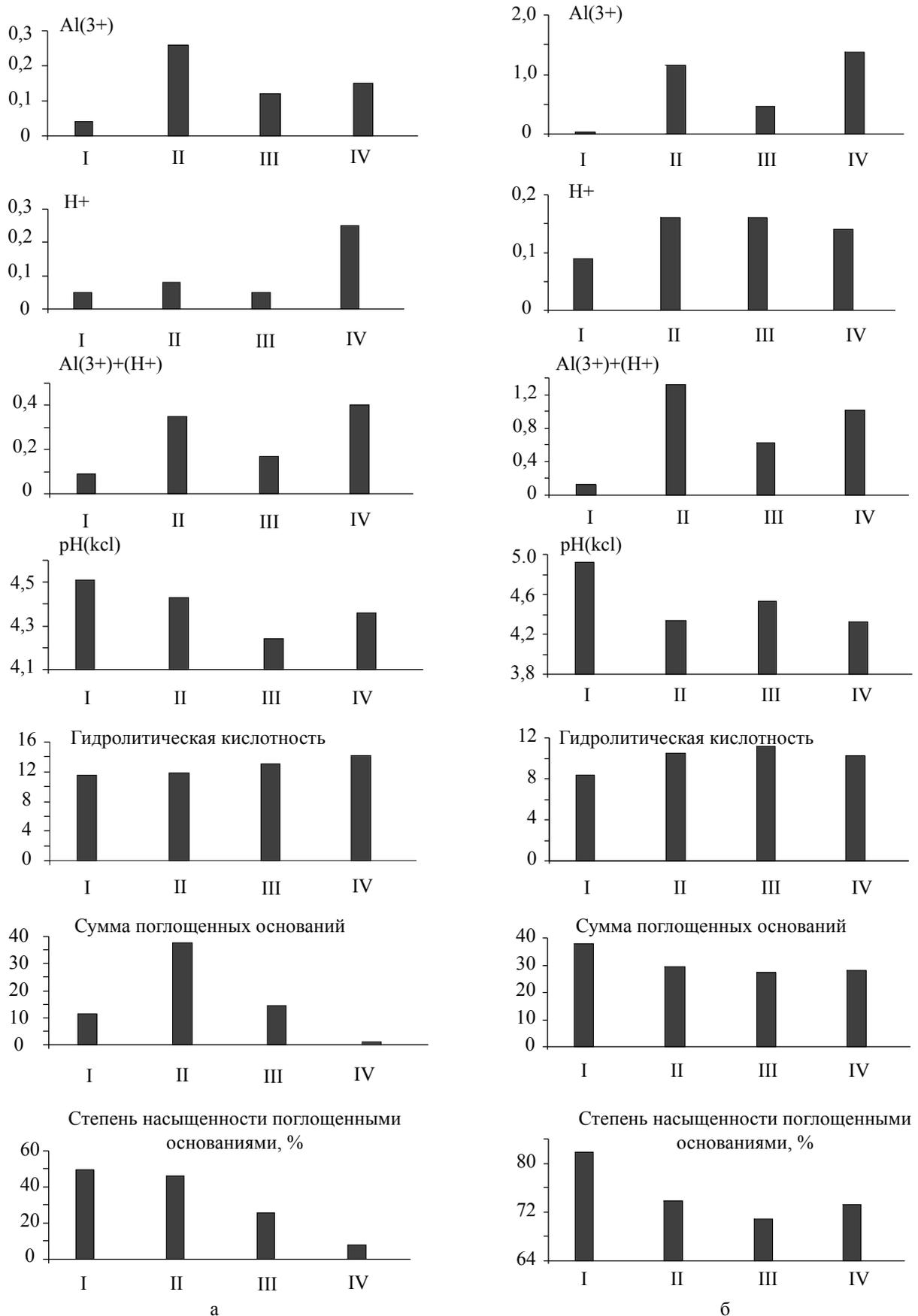


Рис. 1. Изменение свойств дерново-подзолистых почв зоны хвойно-широколиственных лесов под влиянием кислотных обработок: а) супесчаные; б) легкосуглинистые. I – до обработки; II – контроль; III – pH 3,5; IV – pH 2,5

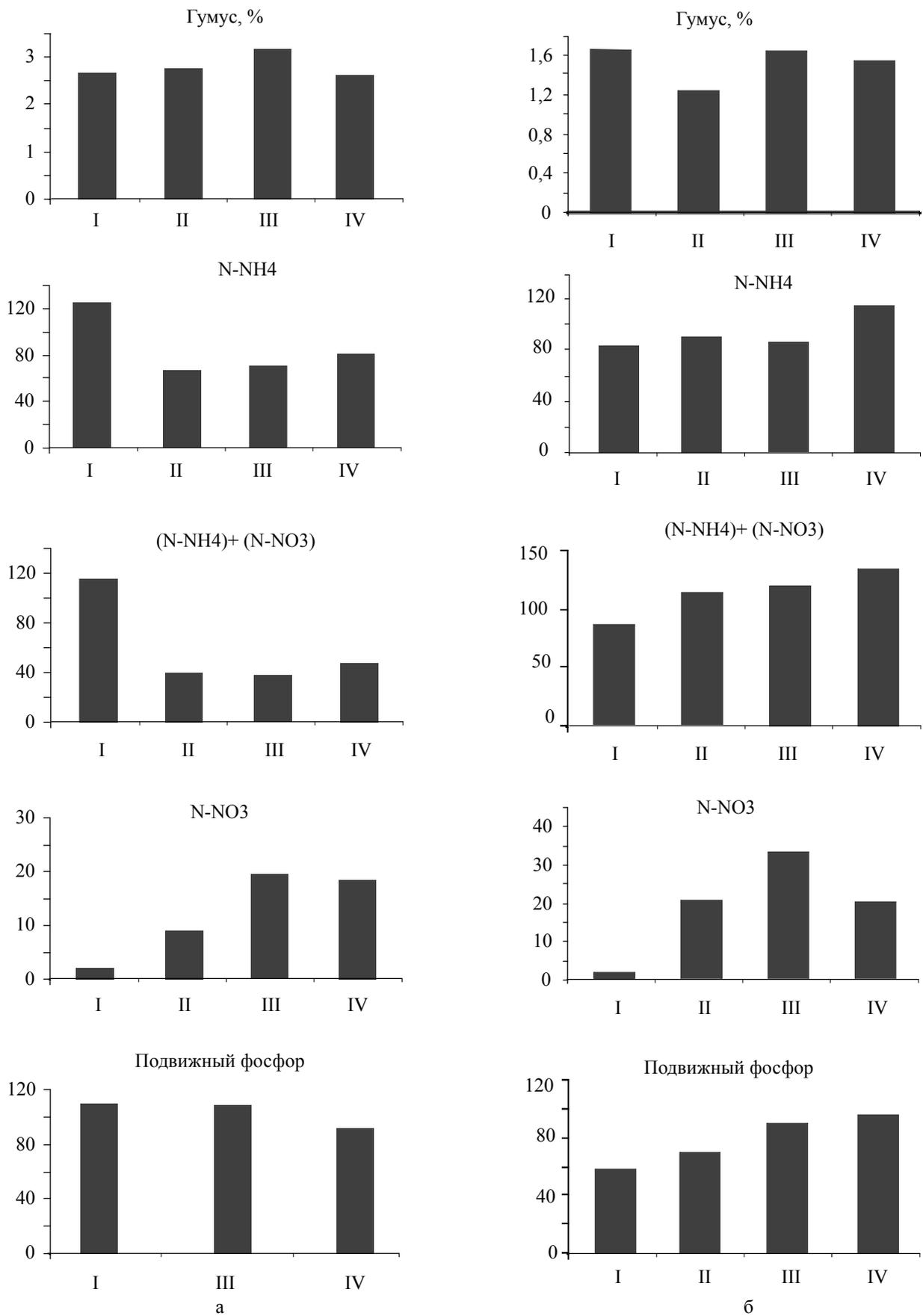


Рис. 2. Изменение содержания гумуса и элементов минерального питания в дерново-подзолистых почвах зоны хвойно-широколиственных лесов под влиянием кислотных обработок: а) супесчаные; б) легкосуглинистые. I – до обработки; II – контроль; III – pH 3,5; IV – pH 2,5

В первом случае это можно объяснить усилением миграции аммонийного азота из профиля почв под влиянием кислотных обработок, во втором – вероятным нарушением процессов нитрификации в верхних слоях почвы или его фиксации на глинах [3]. Для нитратов ( $N-NO_3$ ) во всех вариантах (включая и контроль) характерно увеличение концентраций на порядок по сравнению с исходным состоянием. Увеличение содержания нитратного азота в условиях контрольных обработок с рН 5,5–6,0 говорит о миграционной причине его увеличения за счет возможного перемещения с локальными потоками. Такой же неоднозначностью характеризуется и влияние кислотных обработок на содержание подвижного фосфора в почвах: в супесчаных почвах отмечалась тенденция к его снижению, в легкосуглинистых – повышение до 64 % по сравнению с исходным состоянием.

Проведенные эксперименты свидетельствуют, что кислотные осадки в объеме годовой–полугодовой нормы могут вызывать существенные изменения катионообменных свойств почв, прежде всего суммы их обменных оснований, степени насыщенности основаниями и гидролитической кислотности. При этом большое значение в чувствительности почв к подкислению имеет их механический состав и содержание органического вещества. Изменение содержания обменных форм азота и фосфора в почвах при

проведенном режиме кислотных обработок характеризовалось неоднозначной реакцией, уменьшаясь в одних случаях и увеличиваясь в других. Вероятно, их реакция на кислотное воздействие является интегральным соотношением процессов, протекающих в почвах – миграция веществ, нитрификация и денитрификация, взаимодействие осадков с органической и минеральной частью почвы.

#### Библиографический список

1. Кислотные дожди / Ю.А. Израэль, И.М. Назаров, А.Я. Прессман. – Л. Гидрометеоиздат, 1989. – 269 с.
2. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 476 с.
3. Копчик, Г.Н. Принципы и методы оценки устойчивости почв к кислотным выпадениям: учебное пособие / Г.Н. Копчик, М.И. Макаров, В.В. Киселев. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 96 с.
4. Соколова, Т.А. Изменение почв под влиянием кислотных выпадений / Т.Я. Дронова. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 64 с.
5. Falkengren-Grerup U., Tyler G. Changes since 1950 of mineral pools in the upper C-horizon of swedish deciduous forest soils // Water, Air and Soil Pollut. 1992. 64. N 3-4. p. 495 – 501.
6. Dawid, M.B., Lawrence, G.B., Shortle W. Ca and Al of soils and soil solution of Northeastern red spruce stands // Amer. Soc. Agron. Ann. Meet. 1993. Cincinnati. – 1993. – p. 334.
7. Greszta, J. Die Beschddigung des Assimilationsapparates der Kiefer sowie die dadurch entstandenen Verluste der Holzmasse // Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Waldbdume. – Berlin, 1992. – 97/11. S. 431–442.

### ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ И СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

И.И. СТЕПАНЕНКО, доц. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ,

С.И. ЧУМАЧЕНКО, зав. каф. информационных технологий в лесном секторе МГУЛ, д-р биол наук

*step@mgul.ac.ru*

В мировой лесоводственной практике широко применяются методы интенсивного выращивания лесных и плантационных насаждений для ускоренного получения древесного сырья [1–4, 7, 9]. При этом часто происходит снижение качества древесины, особенно в молодняках [1, 3, 7, 9]. Учитывая возрастающий спрос на древесину высокого качества на мировом рынке, лесные наука и практика ищут

эффективные методы выращивания лесных и плантационных насаждений, отвечающих интересам большинства потребителей древесины и оптимально сочетающих количественные и качественные критерии и требования к свойствам древесины. Для решения этой задачи успешно применяются методы математического моделирования и прогнозирования роста древостоев в зависимости от древесной

породы, условий произрастания, технологии выращивания насаждений и других факторов. Например, в США создана компьютерная модель оценки экономической эффективности различных лесокультурных уходов за древостоями дугласии и влияние их на качество лесоматериалов [5]. В Швеции и Финляндии разработаны лесные программы, предусматривающие внесение удобрений в леса, рассмотрены модели выращивания деревьев разных пород с заданными количественными и качественными характеристиками древесины. Предложенные модели позволяют увеличить продуктивность на 20–40 % с учетом климатических изменений и антропогенного влияния на окружающую среду [6, 7, 9]. Аналогичные программы по целевому выращиванию древесины заданного качества разработаны в США и в Канаде [8, 9].

В отечественном лесоводстве подобные математические модели, описывающие влияние интенсивных методов лесовыращивания на строение древесины, не разрабатывались. В наших исследованиях впервые были рассчитаны математические модели, прогнозирующие влияние разных доз и повторности внесения азотных удобрений на макроструктуру древесины сосны, на примере сосняка брусничного для деревьев преобладающего в древостоях II класса роста (по Крафту).

Изучаемый древостой произрастает в условиях подзоны южной тайги Костромской области на свежих дерново-среднеподзолистых песчаных почвах. Он имеет следующие таксационные показатели: состав – 10С, возраст – 100 лет, класс бонитета – I, среднюю высоту – 28,7; средний диаметр – 33,0 см; полноту – 0,7; запас – 370 м<sup>3</sup>.

Исследовалось влияние однократного внесения (1982 г.) азотных удобрений – карбамида (46 % N) в трех дозах: 100, 150 и 200 кг/га д.в. (действующего вещества) и повторного их внесения (1987 г.) в дозе 150 кг/га д.в. на макроструктуру древесины сосны: радиальный прирост, или ширину годичных слоев (ШГС) и ширину поздней древесины в годичных слоях (ШПД).

Во всех вариантах опыта подбирались 20–25 модельных деревьев II класса роста (по классификации Крафта) из средних ступеней толщины. Образцы древесины брались на высоте 1,3 м возрастным буровом. Изучались периоды формирования древесины: 1977–1981 гг. (5 лет до удобрения), 1982–1987 гг. (6 лет после первого приема удобрения), 1988–2004 гг. (17 лет после второго приема удобрения). Результаты удобренных вариантов (средние по периодам) сравнивались с контрольными (неудобренными) и данными за 5 лет до удобрения. Достоверность различий между удобренными вариантами и контролем была проверена по *t*-критерию Стьюдента. Различия были значимы при вероятности 0,95.

Для выявления зависимости между показателями макроструктуры и продолжительностью действия удобрений после первого, второго приемов их внесения и разработки математических моделей использовался регрессионный метод анализа результатов исследований. При этом применялся метод наименьших квадратов при полиномиальной аппроксимации, когда число степеней было от 1 до 5. Вычислялись коэффициенты уравнений регрессии. Математические расчеты проводились с помощью программы Excel на персональном компьютере.

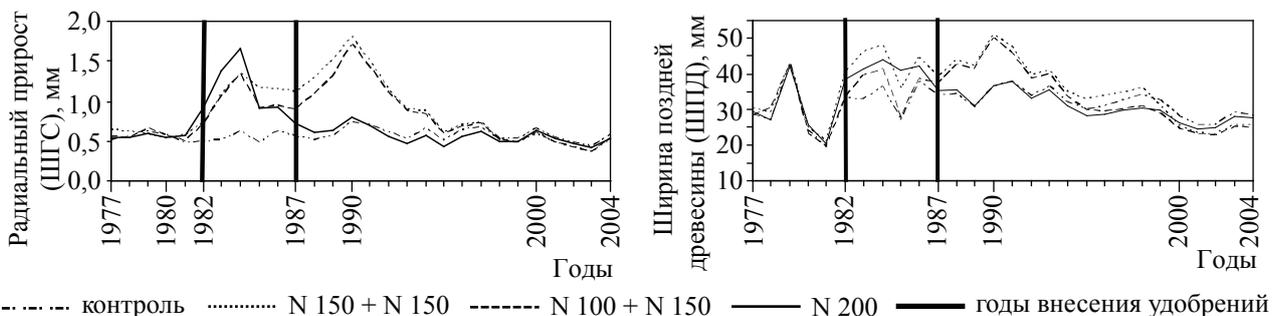


Рис. 1. Зависимость радиального прироста сосны в опытах с азотными удобрениями от доз и повторности их внесения (фактические значения)

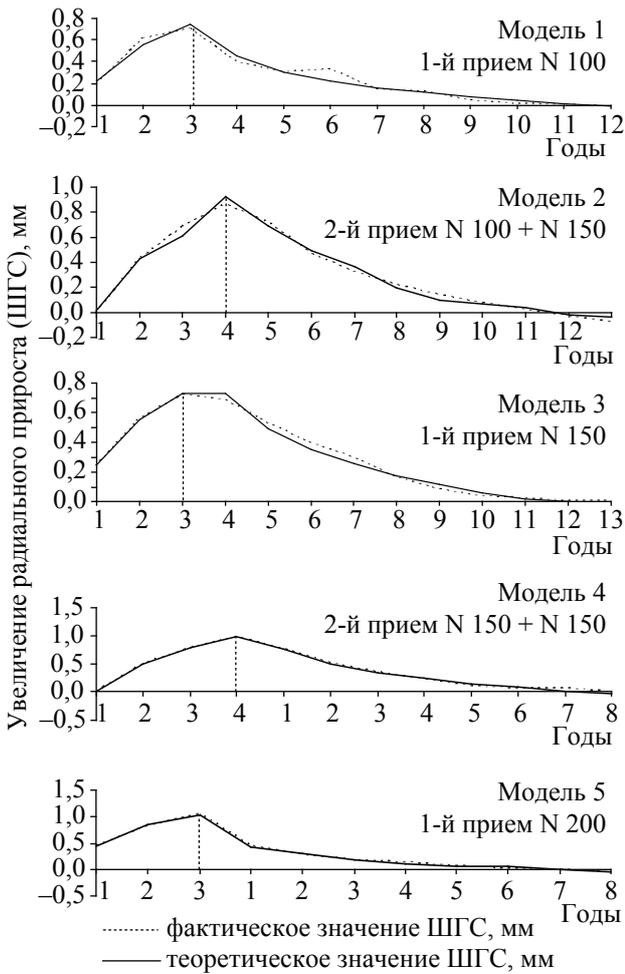


Рис. 2. Математическая модель влияния внесения удобрений на радиальный прирост

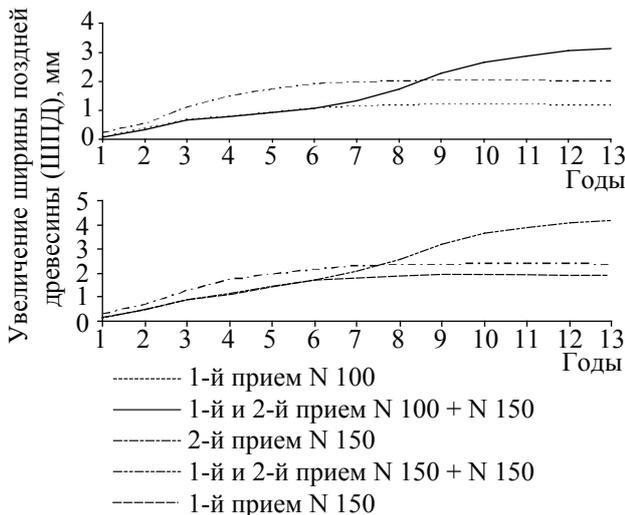


Рис. 3. Влияние приемов удобрений на динамику накопления поздней древесины в годичных слоях сосны (фактические значения)

В результате исследований было установлено, что азотные удобрения вызвали разные изменения в строении древесины сосны

в зависимости от дозы, повторности и продолжительности их действия.

После первого и второго приемов внесения минеральных удобрений за период их действия в динамике радиального прироста и содержании поздней древесины в годичных слоях сосны наблюдались два противоположных процесса. Первый был связан с увеличением ширины годичного слоя (ШГС) и ширины поздней древесины в годичных слоях (ШПД) сосны в первые 3–4 года после внесения удобрений, второй – со снижением этих показателей в последующие 3–8 лет (рис. 1).

Для выявления зависимости показателей макроструктуры непосредственно от фактора удобрений, исключая влияние других факторов, из их значений за период после удобрения вычли соответствующие этому периоду значения контроля, в результате получили зависимости ширины годичного слоя и ширины поздней древесины в годичных слоях сосны от дозы и повторности внесения удобрений за период их действия. Полученные в опытах зависимости ШГС и ШПД от дозы и повторности удобрения представлены: для ШГС – на рис. 2. Они описываются следующими уравнениями:

Модель 1

$$y_1 = 0,47634 \ln(x) + 0,2229; R_1^2 = 0,9596,$$

$$y_2 = -0,2073 \ln(x - 3) + 0,4475; R_2^2 = 0,8968.$$

Модель 2

$$y_1 = 0,625 \ln(x) - 0,0057; R_1^2 = 0,975,$$

$$y_2 = -0,357 \ln(x - 4) + 0,7133; R_2^2 = 0,984.$$

Модель 3

$$y_1 = 0,4367 \ln(x) + 0,2459; R_1^2 = 0,9986,$$

$$y_2 = -0,3429 \ln(x - 3) + 0,7302; R_2^2 = 0,9797.$$

Модель 4

$$y_1 = 0,7081 \ln(x) + 0,0017; R_1^2 = 0,9998,$$

$$y_2 = -0,3865 \ln(x - 4) + 0,7662; R_2^2 = 0,9901.$$

Модель 5

$$y_1 = 0,5534 \ln(x) + 0,4448; R_1^2 = 0,9943,$$

$$y_2 = -0,229 \ln(x - 3) + 0,4356; R_2^2 = 0,9877.$$

Для ширины поздней древесины (ШПД) (рис. 3, 4) они описываются следующими уравнениями:

Модель 6

$$y_1 = 0,0006x^3 - 0,0252x^2 + 0,3359x - 0,2039;$$

$$R_1^2 = 0,9903.$$

Модель 7

$$y_2 = 0,0018x^3 - 0,0627x^2 + 0,7049x - 0,5003;$$

$$R_1^2 = 0,9937.$$

Модель 8  
 $y_1 = 0,0009x^3 - 0,0376x^2 + 0,5261x - 0,385;$   
 $R_1^2 = 0,9933.$

Модель 9  
 $y_2 = 0,0019x^3 - 0,0685x^2 + 0,7792x - 0,4972;$   
 $R_2^2 = 0,995.$

Модель 10  
 $y_1 = 0,0009x^3 - 0,0385x^2 + 0,4771x - 0,139;$   
 $R_1^2 = 0,9634.$

Для прогнозирования влияния первого и второго приемов внесения азотных удобрений на динамику радиального прироста сосны в зависимости от дозы удобрений были построены математические модели, описывающие указанные процессы. Первая их часть описывает подъем ШГС в первые 3, 4 года, вторая – спад в последующие 3–8 лет (рис. 2).

Математические модели, характеризующие влияние на радиальный прирост первой подкормки азотными удобрениями, рассчитаны по данным указанных выше вычислений в результате вычитания из значений ШГС удобренного варианта значений контроля. Полученные зависимости влияния первого приема внесения азотных удобрений в разных дозах на радиальный прирост описываются моделями: 1 – N100, 3 – N150, 5 – N200 (рис. 2).

Математические модели, описывающие действие второго приема азотных удобрений (N150) на радиальный прирост, рассчитаны по значениям, полученным в результате вычитания ШГС первого приема удобрения из ШГС совместного влияния первого и второго приемов удобрения. Эти действия объясняются тем, что в обоих экспериментах наблюдалась идентичная реакция насаждений на однократное или первое из двух внесений удобрений. По результатам полученных значений рассчитывались математические модели, описывающие влияния второго приема удобрений на радиальный прирост: модель–2 – N100+N150, модель–4 – N150+ N150 (рис. 2).

Как видно из моделей 1–5 (рис. 2), первый этап влияния азотных удобрений во всех дозах на ШГС – подъем продолжается в опытах с первым приемом удобрения в течение трех лет, со вторым приемом – четырех лет, достигая максимальных значений соответственно в 3 и 4 года – годы наибольшего подъема радиального прироста в его дендроцикле.

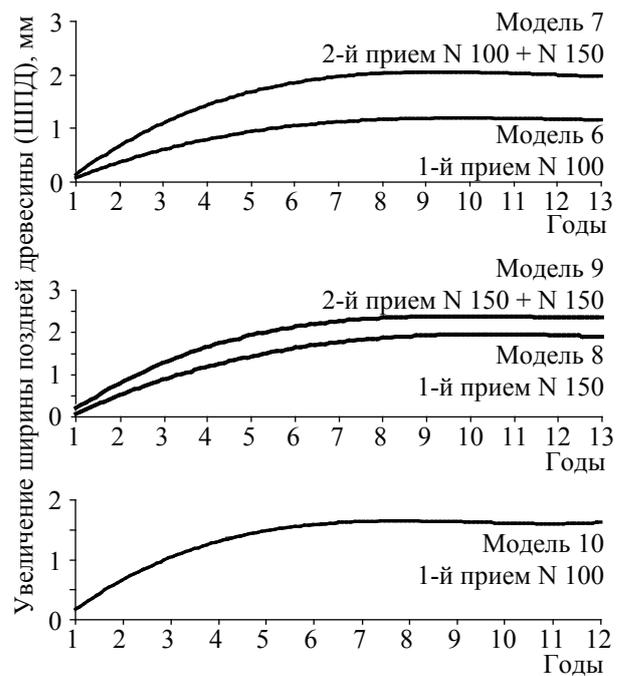


Рис. 4. Математическая модель влияния удобрений на динамику накопления поздней древесины в годичных слоях сосны

Рассчитанные математические модели предусмотрены для прогнозирования влияния азотных удобрений в разных дозах на макроструктуру древесины сосны при их внесении в начале подъема дендроцикла радиального прироста.

По фактическим значениям и рассчитанным математическим моделям в динамике ШГС в опытах с азотными удобрениями после периода резкого подъема в течение первых трех–четырех лет следовал более плавный спад в течение семи–восьми лет. Наибольший эффект от удобрений наблюдался в опытах с N200 и N150+N150. Продолжительность влияния на радиальный прирост первого приема внесения N100 – 10, N150 – 11 лет, N200 – 9 лет, второго приема удобрения в опытах N100+N150 и N150+N150 – 11 лет (рис. 1, 2). Меньшая продолжительность влияния N200 на ШГС объясняется более интенсивным подъемом и падением радиального прироста в этом варианте опыта по сравнению с однократным внесением N100 и N150.

Математические модели, характеризующие влияние азотных удобрений в разных дозах на ширину поздней древесины в годичных слоях сосны, рассчитаны аналогичным образом, как и модели, описывающие влия-

ние удобрений на радиальный прирост. Но с учетом неравномерного характера изменений (ширина поздней древесины) ШПД (ширина поздней древесины) во всех вариантах опыта за изучаемый период (рис. 1) для прогнозирования изменений использовался показатель динамики накопления суммы ШПД, который более наглядно характеризует процесс изменения содержания поздней древесины в годичных слоях сосны.

Для определения зависимости ШПД непосредственно от удобрений (однократного и повторного внесения), исключая влияние других факторов, из значений ШПД опытных вариантов за период после удобрения были вычислены соответствующие этому периоду значения ШПД контроля. По полученным данным определялась динамика накопления суммы ШПД для соответствующего периода (первого или второго приемов удобрения), по которой рассчитывались математические модели, описывающие влияние приемов удобрения на содержание поздней древесины в годичных слоях сосны.

Математические модели, описывающие влияние первого приема удобрения, рассчитывались по фактическим значениям накопления суммы ШПД за период первого приема удобрения: модель – 6 – N100, модель–8 – N150, модель–10 – N200 (рис. 4). Математические модели, характеризующие влияние второго приема удобрения, разрабатывались по данным, полученным в результате вычитания значений накопления суммы ШПД первого приема из соответствующих значений совместного влияния первого и второго приемов (рис. 3). Как указывалось, это возможно за счет равенства значений этого периода при однократном и совместном влиянии первого и второго приемов удобрения на ШПД. По полученным данным, приведенным к общему началу внесения и действия удобрений, характеризующим влияние непосредственно второго приема удобрений, вычислялись соответствующие математические модели: модель–7 – N100+N150, модель–9 – N150+N150 (рис. 4).

Рассчитанные математические модели по динамике накопления суммы ШПД с высокой точностью характеризуют продолжительность влияния удобрений, отражая

существенные изменения в фактических значениях этого показателя. В опытах с азотными удобрениями продолжительность их влияния на ШПД составила: для N100 – 6 лет, N100+N150 при совместном влиянии первого и второго приемов удобрения – 12 лет; N100+N150 при влиянии только второго приема удобрения N150 – 7 лет, для N150 – 7 лет, N150+N150 (при совместном влиянии) – 12 лет, N150+N150 (при влиянии второго приема N150) – 7 лет; для N200 – 7 лет (рис. 3, 4).

Разработанные математические модели предусмотрены для прогнозирования влияния интенсивных методов лесовыращивания, а именно азотных удобрений, на формирование и макроструктуру древесины сосны при их внесении в начале подъема радиального прироста в дендроцикле. Они с достаточно высокой точностью (коэффициент детерминирования  $R^2 = 0,897...0,9998$ ) описывают изменения в радиальном приросте и содержании поздней древесины в годичных слоях сосны в зависимости от дозы и повторности и продолжительности действия удобрений.

Представленные математические модели, прогнозирующие влияние однократного и повторного внесения удобрений на показатели строения древесины сосны, разработаны впервые в отечественном лесоводстве. Они могут быть базовым вариантом в расчетах других математических моделей, описывающих влияние интенсивных методов лесовыращивания, с учетом определяющих факторов для конкретных условий. Математические модели, характеризующие формирование и строение древесины главных лесобразующих пород, являются перспективным и удобным методом в практике лесоводства для прогнозирования и расчета биологической и экономической эффективности при целевом выращивании леса сырьевого назначения для получения древесины высокого качества.

#### Библиографический список

1. Матюшкина, А.П. Характеристика сосны обыкновенной в зависимости от интенсивности роста / А.П. Матюшкина, З.А. Коржицкая, В.А. Козлов и др. // Лесные растительные ресурсы Карелии. – Петрозаводск: КФ АН СССР ин-т леса. 1974. – С. 120–132.

2. Паавилайнен, Э.П. Применение минеральных удобрений в лесу / Э.П. Паавилайнен; пер. с фин. Л.В. Блюдника; под. ред. В.С. Победова. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 96 с.
3. Полубояринов, О.И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины: учеб. пособие / О.И. Полубояринов. – РИО ЛТА, 1974. – 96 с.
4. Шутов, И.В. Лесные плантации (ускоренное выращивание ели и сосны) / И.В. Шутов, Е.Л. Маслаков, И.А. Макарова и др. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 248 с.
5. Fight R.D. Silvicultural recimes to enhance wood quality and ecomomic return in coast Douglasfir. / R.D. Fight, D.G. Briggs, // 19-th World Congr. «Sci Forest IUFRO'S 2-nd Centure», Montreal, 5–11 Aug., 1990. Div. 5. / Int. Union Forest Res. Organ. – Montreal, 1990. – P.425.
6. Horsholm S. Possible gains in initial stages of a national treis improvement programme using different techique.: Nord Trees Breeders Meet/ S. Horsholm // Forest Trees Improv. – 1990. – № 23. – P. 11–38.
7. International Forestry Review. XXII IUFRO World Congress «Forest in the Balance: hinring Tradition and Techology». 8-14 Aug. 2005, Brisbane, Australia: abstracts. – Brisbane, Australia, 2005. – 414 p.
8. Mitchell K.I. SYLVER: modelling the impact of sieviculture on yield, lumber value, and economic return / K.I. Mitchell // Forest. Chron. – 1988. – 64. – № 2. – P. 127–131.
9. XII World Forestry Congress «Forest, source of life». B– Forests for the planet. Quebec City, Canada, September 21–28 2003.: congress proceedings. – Quebec, Canada, 2003. – 488 p.

## ПОЧВЕННАЯ МИКРОБИОТА ПРОИЗВОДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ОЛЬХИ СЕРОЙ

Ф.М. ХАБИБУЛЛИНА, доц. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, канд. биол. наук,  
Т.А. ТВОРОЖНИКОВА, асп. Института биологии Коми НЦ УрО РАН,  
И.А. ЛИХАНОВА, науч. сотр. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, канд. биол. наук,  
Е.М. ЛАПТЕВА, доц. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, канд. биол. наук

*lapteva@ib.komisc.ru*

В связи с ежегодным возрастанием в результате хозяйственной деятельности человека площади нарушенных земель актуальным становится выявление особенностей функционирования основных компонентов посттехногенных экосистем, в том числе микробоценозов. Основная роль микробного комплекса – деструкция поступающего органического вещества, существенная доля которого приходится на растительный опад. На антропогенно нарушенных ландшафтах Севера восстановление растительного покрова проходит через стадию формирования производных листовенных насаждений [7], растительный опад которых существенно отличается по своим характеристикам от опада коренных хвойных лесов.

Целью работы стало изучение микробных комплексов, участвующих в трансформации растительного опада в насаждениях ольхи серой, сформированных на посттехногенных ландшафтах Республики Коми.

Исследования проводили на стационаре лаборатории проблем природовосстановления Института Биологии Коми НЦ УрО РАН, расположенном в Сыктывдинском

районе Республики Коми. Климат района умеренно-континентальный. Среднегодовая температура воздуха + 0,4 °С. Средняя температура самого холодного месяца (январь) – минус 15,1 °С, самого теплого (июль) – плюс 16,5 °С. Общая годовая сумма осадков составляет 404–603 мм. Согласно геоботаническому районированию рассматриваемая территория относится к Кольско-Печорской подпровинции североевропейской таежной провинции Евразийской таежной области, подзоне средней тайги [2].

Объект исследования – микробиота органогенного слоя почвы и опада ольшаника, сформированного в процессе самозаращения техногенного суглинистого субстрата (покровные отложения, вскрытые при прокладке дороги). Древостой представлен ольхой серой 20–25-летнего возраста с единичной примесью березы пушистой. Высота деревьев 5–8 м, сомкнутость крон 0,9–1,0. В напочвенном покрове преобладают *Equisetum sylvaticum* и *Stellaria holostea*. Прочие виды травянистых растений представлены единичными экземплярами. Общее проективное покрытие 85–95 %. Моховой покров отсутствует [7].

Т а б л и ц а 1

**Изменение видового состава  
микробиоты в ходе разложения опада**

Дата отбора	Вид
Весна 2003 г.	<i>Mucor globosus</i> ; <i>Penicillium velutinum</i> ; <i>Penicillium sp.</i> ; <i>Trichoderma viride</i> ; <i>Aureobasidium pullulans</i> ; <i>Phoma sp.</i> ; <i>Mycelia sterilia</i>
Осень 2003 г.	<i>Aspergillus ochraceus</i> ; <i>Aspergillus sp.</i> ; <i>Cephalosporium charticola</i> ; <i>Chrysosporium meridianum</i> ; <i>Ch. pannorum</i> ; <i>Diheterospora catenulata</i> ; <i>Penicillium purpurogenum</i> ; <i>Penicillium sp.</i> ; <i>Trichoderma polysporum</i> ; <i>Fusarium oxysporum</i> ; <i>Mycelia sterilia</i>
Весна 2004 г.	<i>Mortierella ramanniana</i> ; <i>M. Verticillata</i> ; <i>Chrysosporium pannorum</i> ; <i>Ch. Meridianum</i> ; <i>Penicillium canescens</i> ; <i>P. Jensenii</i> ; <i>P. velutinum</i> ; <i>Aspergillus tamaris</i> ; <i>Monilia koningii</i> ; <i>M. grisea</i> ; <i>Stachybotris parvispora</i> ; <i>Sepedonium albo-griseum</i> ; <i>Oospora sulphurea</i> ; <i>Rhizoctonia sp.</i> ; <i>Fusarium sp.</i> ; <i>Mycelia sterilia</i>

Почва, формирующаяся в настоящее время под пологом ольхи серой, развивается под влиянием биогенно-аккумулятивного процесса [7]. В морфологическом строении профиля выделяется рыхлая, слабо разложившаяся подстилка (горизонт  $A_0A_1$ ) мощностью 3–5 см, в которой сосредоточена основная масса корней. Ниже залегает слабоизмененный техногенный субстрат – буровато-коричневый суглинок. В аккумулятивно-органогенном слое ( $A_0A_1$ ) отмечено накопление основных элементов-биогенов: органического углерода – 15 %, гидролизуемого азота – 20, подвижных форм  $P_2O_5$  – 18,2,  $K_2O$  – 24,3 мг/100 г почвы. Реакция среды слабокислая (рН водн. 6,0). Признаки оподзоливания отсутствуют.

Образцы опада в капроновых мешочках закладывали осенью 2002 г. и отбирали поэтапно: весной и осенью 2003 г., весной 2004 г. Образцы из верхних горизонтов почв – подстилки ( $A_0A_1$ ) и органо-минерального горизонта  $A_1$  – отбирали в весенний и осенний периоды 2004 г. Для анализов использовали смешанные образцы из 10 индивидуальных с каждого участка. Численность микроорганизмов определяли методом посева почвенной суспензии на агаризованные питательные среды – мясо-пептонный (аммонификаторы), крахмало-аммиачный (нитрификаторы), среды Чапека (сахаролитики), Гетчинсона

(целлюлозолитики), Виноградского (олигокарбофилы), Эшби (олигонитрофилы). Повторность навесок из смешанного образца – трехкратная для каждой использованной среды. Повторность чашек Петри при посевах – трехкратная. Идентификацию микроскопических грибов после выделения их в чистую культуру проводили по определителям для различных таксономических групп. Комплексы микробиоты почв характеризовали на основе относительного обилия и встречаемости видов [1, 5]. На основании величины пространственной частоты встречаемости выделяли случайные виды (частота встречаемости 1–25 %), редкие (26–50 %), частые (56–75 %) и доминирующие (76–100 %) [4].

Суммарную численность и биомассу микроорганизмов определяли методом люминесцентной микроскопии [3, 6].

Приход растительной массы на поверхность почвы ольшаника складывается из опада древесного яруса и наземного кустарничково-травянистого покрова. Количество ежегодно поступающего растительного опада варьировало от 165 до 285 г/м<sup>2</sup> с преобладанием в нем лиственной фракции. Основная доля опада минерализуется в первые 9 месяцев. За период с осени 2002 по весну 2003 г. убыль в весе составила 48 %, в последующие 3 месяца (летний период 2003 г.) – 1,4 %, а за период с осени 2003 по весну 2004 г. – 8,4 %

В совокупности за период проведения эксперимента выделено 30 видов грибов из 17 родов. На первых стадиях разложения опада основную роль играют 7 видов микробиоты, принадлежащих к 6 родам из 3 классов (табл. 1). Класс *Zygomycetes* представлен родом *Mucor*; класс *Coelomycetes* – родом *Phoma*, класс *Hyphomycetes* – родами *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aureobasidium*, а также *Mycelia sterilia*. По мере разложения опада наблюдается возрастание видового богатства микробиоты. Спустя 11 мес. после закладки опыта выделено 11 видов, через 17 мес. – 16 видов микробиоты, относящихся к 11 родам из 2 классов (табл. 1).

В начальный период разложения опада наиболее обильны роды *Phoma* (64 %), *Penicillium* (6 %), а также *Mycelia sterilia* (24 %). Затем на первый план выходят представители

родов *Chrysosporium* (41 %), *Aspergillus* (30 %), *Trichoderma* (8 %), также обильным остается *Mycelia sterilia* (10 %). На последних стадиях (17-й месяц разложения опада) повышается доля родов *Sepedonium* (45 %), *Stachybotris* (35 %), *Fusarium* (12 %), принимающих активное участие в разложении лигнина, и уменьшается обилие *Mycelia sterilia* (0,4 %) и видов р. *Penicillium* (3 %), что подтверждает данные литературы [1]. В ходе разложения опада доминирование условно патогенных и темноокрашенных микромицетов меняется на сапрофитные и светлоокрашенные грибы.

В динамике численности физиологических групп микроорганизмов также наблюдается сезонный характер с резким уменьшением ее в осенний и возрастанием в весенний периоды (рисунок). На всех этапах разложения доминировали аммонификаторы. Их численность, как правило, превышала количество микроорганизмов, растущих на крахмало-аммиачном агаре (КАА), что свидетельствует о низкой скорости процесса минерализации опада, обусловленной климатическими особенностями региона. Только в последний срок отбора (весна 2004 г.) отмечено значительное возрастание численности микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота. Последнее, по всей видимости, связано с существенной трансформацией растительных остатков к концу 17-месячного периода их экспозиции.

Микобиота, выделенная из верхних горизонтов формирующейся почвы, представлена незначительным количеством видов. Выявлено всего 13 видов микромицетов из 3 классов – *Zygomycetes*, *Ascomycetes* и *Hyphomycetes*. Для сравнения, в зональных подзолистых почвах в составе микобиоты насчитывается около 75 видов [8]. Весной основу микоценозов составили 10 видов, принадлежащих к родам *Aspergillus*, *Penicillium*, *Phoma*, *Chaetomium*, *Cladosporium*. Среди них частыми были активные целлюлозолитики – *Chaetomium globosum* и *Cladosporium herbarum*. Наиболее обильны представители рр. *Penicillium* (55 %) и *Paecilomyces* (27 %). В осенних пробах видовое разнообразие микромицетов ниже. Выделено всего 6 видов с явным доминированием грибов рода *Penicillium* (92 %).

Как и в эксперименте с разложением растительного опада, в почвенных пробах, отобранных весной, в составе бактериальной флоры доминировали аммонификаторы (73 млн КОЭ/г почвы) и микроорганизмы, усваивающие минеральные формы азота (67 млн КОЭ/г почвы). Значительное снижение их численности (соответственно, до 3,9 и 0,3 млн КОЭ/г почвы) и возрастание доли олигонитрофилов (в 1,8 раза по сравнению с весенним отбором) свидетельствуют о преимущественном использовании органических форм азота и, следовательно, о более активном разложении опада в весенний период.

По данным люминесцентной микроскопии, в верхних горизонтах формирующейся почвы превалирует по биомассе мицелий микроскопических грибов (табл. 2). На долю спор грибов приходится всего 1,9 % от общей биомассы грибов. Биомасса бактерий значительно ниже, по сравнению с микроскопическими грибами. В совокупности в исследованном сообществе на долю биомассы бактерий и актиномицетов приходится всего 1,0–1,3 % от общей биомассы микроорганизмов.

В результате проведенных исследований составлен общий список микромицетов, выделенных из почвы ольшаника, сформированного на посттехногенном субстрате. Список включает 39 видов из 18 родов. Из них 13 видов микромицетов выделены из верхних горизонтов почвы, 30 – из образцов листового опада, находящихся на разных стадиях разложения. Основными деструкторами органики в ольшанике являются почвенные микромицеты.

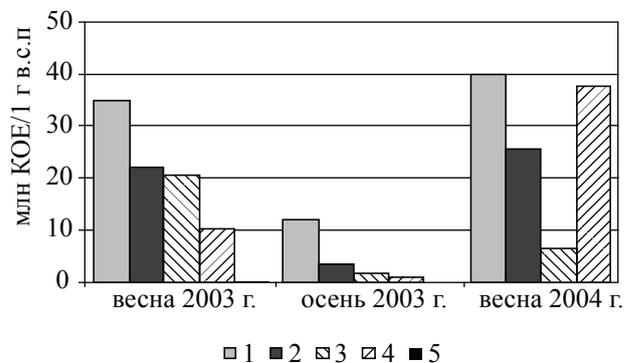


Рисунок. Динамика численности и состава микроорганизмов в процессе разложения опада: 1 – аммонификаторы; 2 – олигонитрофилы; 3 – сахаролитики; 4 – микроорганизмы, усваивающие минеральные формы азота; 5 – целлюлозолитики

**Биомасса микроорганизмов в почве ольшаника, мг/г почвы**

Горизонт, глубина, см	Мицелий грибов	Споры грибов	Мицелий актиномицетов	Бактерии
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> , 0–3(5)	<u>3,29</u> 2,0–4,88	<u>0,065</u> 0,045–0,078	<u>0,002</u> 0,001–0,003	<u>0,03</u> 0,01–0,04
A <sub>1</sub> B, 3(5)–15	<u>3,08</u> 2,03–4,4	<u>0,021</u> 0,01–0,05	<u>0,009</u> 0,003–0,014	<u>0,03</u> 0,01–0,05

Примечание: в числителе – среднее значение, в знаменателе – пределы колебаний

Прокариотические микроорганизмы (бактерии и актиномицеты) мало характерны для новообразованной почвы, сформировавшейся под пологом ольхи серой, на их долю приходится не более 1,3 % от общей биомассы микроорганизмов. Микромицеты находятся в основном в вегетативной форме развития (мицелий), на долю биомассы спор грибов приходится всего 1,9 % от общей биомассы микроскопических грибов. В ходе разложения листового опада расширяется видовой состав микоценозов: от 7 (через 9 месяцев разложения) до 16 видов (через 17 месяцев). Наиболее обильны грибы, принадлежащие к роду *Penicillium*. Деструкция растительного опада наиболее активно протекает в весенний период, что сопровождается в этот период всплеском численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов.

**Библиографический список**

1. Билай, В.И. Микромицеты почв / В.И. Билай, И.А. Элланская, Т.С. Кириленко и др. – Киев: Наукова Думка, 1984. – 264 с.
2. Исаченко, Т.И. Ботанико-географическое районирование / Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко // Растительность европейской части СССР. – Л.: Наука, 1980. – С. 10–20.
3. Князева, И.Н. Учет почвенных микроорганизмов с помощью микроскопии при низкой численности объектов / И.Н. Князева, Л.М. Полянская, П.А. Кожвин, и др. // Вестник МГУ, сер. Почвоведение. – 1985. – Т. 2. – С. 62–70.
4. Мирчинк, Т.Г. Почвенная микология / Т.Г. Мирчинк – М.: МГУ, 1988. – 220 с.
5. Мирчинк, Т.Г. Способы выявления типичных для определенных условий комплексов микроскопических грибов на основе характеристики их структуры / Т.Г. Мирчинк, С.М. Озерская и др. // Биологические науки. – 1982. – Вып. 20. – С. 198–226.
6. Полянская, Л.М. Прямой микроскопический подсчет спор и мицелия грибов в почве / Л.М. Полянская // Изучение грибов в биогеоценозах. – Свердловск, 1988. – С. 30.
7. Посттехногенные экосистемы Севера. – СПб.: Наука, 2002. – 159 с.
8. Структурно-функциональная организация почв и почвенного покрова европейского Северо-Востока / Отв. ред. Ф.Р. Зайдельман, И.В. Забоева. – СПб.: Наука, 2001. – 224 с.

**О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВ ДУБОВЫХ ЛЕСОВ ВНУТРИГОРНОЙ АДЖАРИИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

З.К. МАНВЕЛИДЗЕ, *гл. науч. сотр. Батумского ботанического сада АН Грузии, д-р с.-х. наук*,  
Л.Т. ДОЛИДЗЕ, *гл. науч. сотр. Института горного лесоводства им. В. Гулисашвили, д-р с.-х. наук*,  
Н.И. ВАРШАНИДЗЕ, *проф. Батумского ГУ им. Ш. Руставели, д-р биол. наук*

*zurab58@yahoo.com*

**П**ояс распространения дубовых лесов внутригорной Аджарии (300–800 м над уровнем моря) выделяется как ландшафтным и экосистемным разнообразием, так и плотностью поселения и старинными традициями землепользования. В результате отрицательного антропогенного воздействия, исторически характерного для региона, пок-

рытая дубравами площадь (6941 га с запасом в 372,8 тыс. м<sup>3</sup>) в настоящее время представлена сильно деградированными, с нарушенной естественной структурой дубовыми древостоями и редианами (79,3 %) [1, 8].

В таких условиях изучение закономерностей трансформации основных лесоводственно-экологических показателей, а также

физических и химических свойств почвенного покрова приобретает все большее значение для выработки научно обоснованных мероприятий по защите отдельных компонентов нарушенных экосистем.

Целью наших исследований является изучение закономерности трансформации отдельных параметров воднофизических и химических свойств почв дубовых лесов в условиях антропогенных воздействий разной интенсивности.

Объектами исследования являются дубовые лесные формации ущелий реки Аджарисцкали и вливающих в нее речных потоков. Почвенный покров в основном представлен бурыми лесными почвами, в частности типичными бурыми – Brown forest true (*Umdric Cambisoli* – по клас. ФАО) и бурыми малой мощности – Brown forest shallow (*Distric Cambisoli* – по клас. ФАО) с построением профилей генетических горизонтов А-А-А-АВ-ВС-С [2, 5, 8].

Основными видами отрицательных антропогенных воздействий на растительные сообщества и почвенный покров являются бессистемные рубки леса и неурегулированный выпас скота.

Для наблюдений было выбрано 9 пробных площадей, подверженных разной степени антропогенным нагрузкам. На всех пробных площадях были сделаны почвенные разрезы и взяты образцы на анализ. Структурный анализ почв (сухие и влажные) произведен по методу Савинова. [4]. Агрегатный и микроагрегатный анализ почв проводился методом мокрого просеивания; механический – методом пипетки (метод Качинского). Общий гумус был определен по И. Тюрину, питательные элементы по О. Ониани, Г. Маргвелашвили, рН водной вытяжки – потенциометрическим методом, микроагрегатный состав по Качинскому [3], водорегулирующие свойства по методу Вигнера (9–12-кратной повторности) [6]. Результаты опытов были обработаны методами вариационной статистики [7]. Наблюдения проводились в 1990–2005 гг.

Для низкополнотных дубовых древостоев, расположенных на склонах южных экспозиций, характерны сильные денудационно-эрозионные процессы, в результате чего большинство площадей совсем лишены поч-

венного покрова и в основном представлены оголенными горными породами или слабо развитым почвенным покровом. В относительно структурно нарушенных дубовых ассоциациях глубина почвенного покрова, в зависимости от экспозиции и крутизны склона (15–30°), колеблется в пределах 20–50 см. Для склонов южных экспозиций, для которых характерны полидоминантные лесные ассоциации, почвенный покров отчасти сохранился и достигает 90 см и более.

Результаты структурного анализа (табл. 1) показали, что в верхних частях почвенного покрова < 0,25мм фракций максимальная доля составляет >22 % с минимальным коэффициентом структурности 1,93, что характерно для сильно изреженных дубовых древостоев с травяным покровом из злаковых (пр. пл. 5), где происходит неорганизованный выпас скота и имеет место оглеение почв. В таких же низкополнотных ксерофитизированных дубовых древостоях с подлеском из азалии понтийской (пр. пл. 3), где не происходит пастьба скота, доля фракций <0,25мм составляет 6,8 %. В высокополнотных дубовых (пр. пл. 1), сосновых (пр. пл. 10) и полидоминантных дубовых ассоциациях (пр. пл. 2) доля указанных фракций достигает максимума в сосняках, защищенных от антропогенного воздействия (13,4 %).

В низкополнотных дубовых древостоях со злаковым травянистым покровом и неразвитым вечнозеленым подлеском (пр. пл. 5) оказалось самое низкое содержание водостойких агрегатов (69,5 %). В низкополнотных дубовых древостоях с подлеском из азалии понтийской, где не происходит выпас скота, этот показатель составляет 82 %, а в таких же высокополнотных дубяках достигает 89,6 % (пр. пл. 1).

Анализ механического и микроагрегатного состава почв показал, что в ксерофильных деградированных дубовых древостоях (пр. пл. 3) коэффициент дисперсии (соотношение микроагрегатных и гранулированных фракций осадка) составляет 33,59 для верхних и 34,9 для нижних (20–30 см) слоев почв. На склонах, защищенных от антропогенного воздействия (пр. пл. 1), эти показатели равны 12,06 и 3,72 соответственно.

Т а б л и ц а 1

**Показатели структурного (сухого) и агрегатного (мокрого) анализа (% , на глубине 0–10 см)**

Пробная площадь	Ассоциация, состав	Полнота проекционно-го покрытия подлеска %	Размер фракции, мм								Коэффициент структурности	Количество водопрочных агрегатов > 0,25
			>10	10-7	7-5	5-3	3-1	1-05	0,5-0,25	<0,25		
1	<i>Quercetum azaleosorhododendrosum</i> 10 д.+сос.	0,7 30	21,7 –	18,3 –	14,9 48,7	15,7 16,3	15,0 14,6	3,8 4,1	4,6 5,9	6,0 10,6	2,61	89,6
3	<i>Quercetum azaleosum</i> 10 д.+сос.	0,5 10	26,4 –	10,6 –	10,4 35,1	10,8 13,2	20,9 18,6	6,4 5,9	7,7 9,4	6,8 17,4	2,01	82,2
9	<i>Quercetum azaleosorhododendrosum</i> 10 д.+сосн.	0,5 80	22,6 –	10,3 –	9,6 29,5	14,6 14,8	24,0 23,1	7,0 9,1	6,3 5,3	5,6 18,3	2,55	81,8
8	<i>Pinetum cystosum</i> 10 с.	0,7 70	18,6 –	12,8 –	9,4 30,8	15,4 13,1	21,0 19,3	4,3 6,1	5,1 5,2	13,4 25,3	2,12	74,7
5	<i>Querceto-Pinetum graminosum</i> 6д.+4 с.	0,5 –	11,8 –	6,6 –	6,3 15,9	12,9 10,4	23,4 20,3	7,1 11,1	9,3 11,8	22,1 30,6	1,93	69,5
2	<i>Piceeto-Querceto mixtofruticosum</i> 6д.+3е.+1п.	0,7 40	16,0 –	12,1 –	10,8 29,1	16,3 12,9	24,7 20,7	5,7 8,1	5,7 8,1	8,7 21,1	3,04	78,9

Примечание. Знаменатель – структурный анализ; числитель – агрегатный анализ

Т а б л и ц а 2

**Механический (числитель) и микроагрегатный (знаменатель) состав почвы в защищенных (пр.пл.1) и деградированных (пр.пл.3) дубовых древостоях с подлеском из азалии (*Quercetum azaleosum*)**

Пробная площадь	Глубина почвы, см	Размер частичек (мм), состав фракций								Коэффициент дисперсности (по Качинскому)	Коэффициент структур. (по Агелеру)	Коэффициент агрегатности (по Бейверу и Роадесу) хагixи (beiveriГ da roadesiГ)	Гранулометрический показат. структурности
		1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01	> 0,01				
1	0-10	19,95	28,27	32,00	7,15	9,73	2,90	19,78	80,22	12,06	87,93	33,03	16,67
		48,80	23,20	14,32	9,48	3,85	3,35	13,68	86,32				
1	20-30	13,23	34,12	31,50	10,58	8,42	2,15	21,15	78,85	3,72	96,27	33,06	19,40
		48,53	22,19	16,16	9,32	3,72	0,08	13,12	86,88				
3	0-10	12,42	37,67	25,43	10,46	8,84	5,18	24,48	75,52	33,59	66,40	16,52	24,79
		40,25	17,75	25,86	4,19	8,21	1,74	14,14	85,86				
3	20-30	12,27	33,14	26,44	9,60	10,27	8,28	28,15	71,85	34,90	65,09	28,08	30,01
		42,15	20,99	21,75	3,93	8,29	2,89	15,11	84,89				

Коэффициент структурности по Ф-гелеру, который определяет водоупорность почвенных агрегатов, в защищенных дубовых древостоях составляет 87,93 и 96,27 в глубоких ее горизонтах (20–30 см), а в деградированных дубравах – 66,40 и 65,65,09 соответственно (табл. 2). На более высокую водоупорность почвенных структур в высокополотных дубравах указывают также

показатели качества агрегатности – 33,03 и 33,06 (по Бейгеру и Роадесу), нежели в деградированных дубравах (16,52 и 28,08).

Гранулометрические показатели почвенной структурности (соотношение количества мелкого осадка со средним и крупным) в деградированных дубравах на глубине 0–10 и 11–20 см составляют 24,79 и 30,01, тогда как в защищенных дубовых древостоях эти пока-

затели достигают 16,67 и 19,40, что указывает на более высокую потенциальную способность формирования почвенных структур.

Изучение водорегулирующих свойств верхних слоев почвенных горизонтов (0–10 см) показало (табл. 3), что самыми низкими показателями некапиллярной порозности характеризуются низкополотные дубравы со злаковым травянистым покровом (пр. пл. 5), а самыми высокими аналогичными показателями – высокополотные дубняки с подлеском из азалии понтийской (13,3 % и 0,63), пробн. пл. 1. Средними размерами некапиллярной порозности (10,7 % 0,71) характеризуются ксерофитизированные дубняки с подлеском из азалии при слабом его развитии (пр. пл. 3). В таких же низкополотных дубняках, но с сильно развитым подлеском из азалии понтийской (пр. пл. 9) некапиллярная порозность в верхних почвенных горизонтах достигает 12,1 % 47, что указывает на сравнительно высокую способность выполнения почвозащитных функций дубняками с подлеском из рододендрона (*Rhododendron ponticum*) и азалии (*Azalia pontica*).

Капиллярная порозность, которая в основном определяет характер почвенного воздухообмена, играет существенную роль в сохранении влаги в почве, в зоне распространения корней, что имеет большое значение для сухих экотопов южных экспозиций, для древостоев разного состава и полноты, колеблется в пределах 43,8 % 0,62 – 49,7 % 0,93.

Минимальными размерами общей порозности – 50,7 0,95 – характеризуются деградированные дубняки с подлеском из ладанника (пр. пл. 5), а максимальными – 62,2 0,97 – дубовые ассоциации полидоминантного состава (пр. пл. 2). Максимальным объемным весом (0,256 г/см<sup>3</sup> 0,015) и минимальной водопроницаемостью (52,73 мин 0,09) характеризуются почвы низкополотных дубрав со злаковым травянистым покровом, где происходит интенсивный выпас скота (пр. пл. 5). Минимальные показатели характерны для низкополотных деградированных дубовых древостоев с подлеском из азалии (пр. пл. 9), где объемный вес почв составляет 0,983 г/см<sup>3</sup> 0,44, а водопроницаемость 7,72 мин. 2,08.

В дубняках с азалиевым подлеском разной проекционной плотности (пр. пл. 1 и пр.

пл. 3) различия в водорегулирующих свойствах почв особенно ясно прослеживаются по величинам водопроницаемости (3,60 мин 0,94 и 22,38 мин 4,67 соответственно).

Сравнительно высокой степенью вероятности различий водорегулирующих свойств почв выделяются деградированные дубовые древостой со злаковым травянистым покровом (пр. пл. 5) и плотнопологие дубняки с азалиевым подлеском (пр. пл. 1): по всем показателям достоверности различий они превышают 95 %.

В низкополотных дубовых древостоях со слабо развитым азалиевым подлеском (пр. пл. 3), где не происходит выпас скота, водорегулирующие свойства почв гораздо лучшие, нежели в деградированных дубравах со злаковым покрытием, где происходит выпас скота, и эти различия по шансам достоверности составляют 96 %. Для дубрав с хорошо развитым и слабо развитым подлеском из азалии (пр. пл. 3 и пр. пл. 9) шанс достоверности различий по некапиллярной скважности составляет 84,7 %, а все другие показатели превышают 95 %.

Поэтому полидоминантные лесные формации и дубняки с хорошо развитым подлеском из азалии характеризуются достоверно высокими водорегулирующими свойствами, нежели низкополотные дубравы с неразвитым подлеском, из которых самыми низкими показателями характеризуются разреженные дубравы со злаковым травянистым покровом, где происходит постоянный выпас скота.

Для площадей с высокими водорегулирующими свойствами характерно наличие большого количества гумуса и свободного азота (табл. 4). Содержание свободного азота, которое непосредственно связано с содержанием гумуса, больше в дубняках с хорошо развитым пологом, с подлеском из азалии, нежели в редицах. При одних и тех же полнотах содержание азота в почве меньше в дубравах с подлеском из ладанника (пр. пл. 6,7), нежели из азалии (пр. пл. 1). Несмотря на то, что на деградированных площадях вторичного происхождения развитые сосняки (пр. пл. 8) характеризуются сравнительно высокой продуктивностью, как водорегулирующие, так и химические показатели почв на них ниже, чем в полидоминантных ассоциациях и дубравах с хорошо развитым пологом (пр. пл. 1,2).

Т а б л и ц а 3

**Показатели физических и водоуправляемых свойств почв (на глубине 0–10 см)**

Пробная площадь	Объемный вес, гр./см <sup>3</sup> , $M \pm t$			Водопроницаемость, мин $M \pm t$			Порозность, %								
							некапиллярная			капиллярная			общая		
	$M$	$T$	$W$	$M$	$T$	$W$	$M$	$T$	$W$	$M$	$T$	$W$	$M$	$T$	$W$
1 3	1,103	1,1	69,2	3,60	3,9	98,2	13,3	2,7	96,9	48,9	5,4	99,9	62,2	6,2	99,9
	1,135			22,38			10,7			43,8			54,5		
1 9	1,103	2,6	96,5	3,60	1,8	85,4	13,3	1,5	82,3	48,9	0,7	49,3	62,2	1,7	86,7
	0,983			7,72			12,1			48,1			60,2		
9 3	0,983	3,4	98,9	7,72	2,9	95,6	12,1	1,6	84,6	28,1	3,8	99,3	60,2	5,7	99,9
	1,135			22,38			10,7			43,8			54,5		
1 5	1,103	5,9	99,9	3,60	5,3	99,2	13,3	11,3	99,9	48,9	2,6	96,5	62,2	6,25	99,9
	1,256			52,73			5,4			45,3			50,7		
8 5	1,196	3,0	98,0	23,97	2,9	95,6	7,6	4,4	99,7	44,9	0,3	22,7	52,5	1,5	82,3
	1,256			52,73			5,4			45,3			50,7		
1 8	1,103	4,0	99,5	3,60	5,6	99,2	13,3	7,6	99,9	48,9	3,4	98,9	62,2	8,0	99,9
	1,196			23,97			7,6			44,9			52,5		
2 8	1,116	2,3	94,5	2,88	5,8	99,2	12,9	10,4	99,9	49,7	3,7	99,2	62,6	10,0	99,9
	1,196			23,97			7,6			44,9			52,5		
2 5	1,116	3,9	99,4	2,88	5,4	99,2	12,9	16,5	99,9	49,7	2,9	97,7	62,6	10,2	99,9
	1,256			52,73			5,4			45,3			50,7		

Примечание.  $M \pm t$  – величины средних показатели, %;  $T$  – сущность разницы между величинами средних показателей;  $W$  – шанс вероятности, %.

Т а б л и ц а 4

**Показатели анализа гумуса и питательных элементов**

Пробная площадь	Глубина образца, см	РН (KCl)	Гумус, %	Азот, %		Усвояемый фосфор (на 100 гр. почвы)	Усвояемый калий (на 100 гр. почвы)
				общий	гидролизный		
7	4–12	4,5	4,6	0,12	13,4	39,0	39,5
	12–20	4,0	1,1	0,14	9,5	38,0	9,5
	20–53	4,6	1,5	0,14	10,6	46,0	9,5
1	3–18	6,0	4,6	0,25	25,2	130,0	37,0
	18–50	5,2	2,8	0,10	11,2	175,0	19,0
3	1–14	5,6	2,6	0,11	19,0	50,0	18,0
	14–47	6,0	1,9	0,09	10,6	36,0	11,5
6	4–12	4,5	6,2	0,14	14,5	25,0	32,0
	12–45	4,0	3,7	0,14	10,6	14,0	21,0
	45–54	4,2	3,5	0,11	11,7	7,0	13,5
4	0–16 (м. з.п.)	5,5	7,4	0,19	16,8	11,5	17,5
	0–23 (м. з.п.)	4,4	9,4	0,18	19,0	14,0	23,5
	0–3 (эр. п.)	4,6	1,5	0,14	11,2	9,0	16,5
2	5–21	4,8	7,0	0,22	19,0	38,0	63,5
	21–30	4,8	3,6	0,18	17,4	32,0	34,0
	30–85	5,0	2,3	0,12	11,7	34,0	10,5

Примечание. М.з.п. – микрозащищенная от эрозии площадь; эр. п. – эрозионная площадь.

С понижением содержания гумуса возрастает почвенная кислотность (пр.пл. 1 рН – подходит к нейтральной, а на пр.пл. 3 составляет 5,6). В дубовых древостоях с подлеском из ладанника (пр. пл. 4, 6, 7) кислотность почв выше, нежели в дубняках с подлеском из азалии.

В сравнительно защищенных от размыва дубовых древостоях с подлеском из ладанника (пр. пл. 6, 7) содержание гумуса в верхних слоях почвы достигает 4,5 %, а при низких полнотах, в условиях размыва почв, (пр. пл. 4) не превышает 1,5 %, кроме микроплощадок, защищенных от размыва, где этот

показатель достигает 9,4 %, что указывает на возможность разведения на таких площадях лесных культур.

Основные химические показатели и водорегулирующие свойства почв дубовых лесных формаций внутригорной Аджарии тесно связаны с видовым составом древостоя, с сомкнутостью главного полога и с проективным покрытием подлеска.

В условиях отрицательного антропогенного воздействия деградация простых по составу дубовых ассоциаций вызывает размыв почвенного покрова за сравнительно короткий период, понижение их плодородия и водорегулирующих свойств, нежели в полидоминантных лесных формациях с хорошо развитым подлеском.

Аборигенный вид сосны (*Pinus Sosnovsky* (– *P. cochiana*) наиболее эффективно использует оставшуюся плодородную часть деградированных почв, нежели другие виды; стимулирование его внедрения в ксерофитизированные низкополнотные чистые дубняки будет способствовать формированию высокопродуктивных смешанных древостоев, началу процесса восстановления плодородного слоя почвенного покрова, росту видового разнообразия деградированных экосистем и, что очень важно с точки зрения

консервации, улучшит экотопные условия местообитания локально распространенных эндемических видов.

### Библиографический список

1. Материалы лесоустройства Аджарской А.Р. – Государственный департамент лесного хозяйства Аджарской А.Р., 1990–1994.
2. Леонидзе, Г. Влияние лесной растительности на основные почвы Аджарии: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / Г. Леонидзе, 1994. – 16 с.
3. Ониани, О. Химический анализ почв / О. Ониани, Г. Маргвелашвили. – Тбилиси: Ганатлеба, 1975. – 507 с.
4. Талахадзе, М. Учебник лабораторно-практических занятий по почвоведению / М. Талахадзе, Л. Накашидзе, Р. Кирвалидзе. – Тбилиси: Ганатлеба, 1973. – 338 с.
5. Урушадзе, Е. Почвенное разнообразие Грузии / Е. Урушадзе, Н. Тарасашвили, // Биологическое и ландшафтное разнообразие Грузии: материалы национальной конференции Грузии, 28–29 мая 2000 г. – С. 135–150.
6. Азмаипарашвили, Л.С. Методика изучения водохозяйственных свойств горных лесов / Л.С. Азмаипарашвили, Г.И. Хараишвили, Р.Г. Чагелишвили. – Тбилиси: Мецниереба, 1972. – 66 с.
7. Дмитриев, Э.Д. Математическая статистика в почвоведении / Э.Д. Дмитриев. – М.: МГУ, 1972. – 289 с.
8. Манвелидзе, З.К. Разнообразие лесной растительности Колхиды и приоритетные направления ее консервации и использования: автореф. дисс. ... д-р с.-х. наук / З.К. Манвелидзе. – Тбилиси, 2006. – 103 с.

## БИОМОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ПО ХРАНЕНИЮ И УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

И.М. ЯННИКОВ, полковник, Первый заместитель Начальника Главного управления МЧС России по УР, канд. тех. наук,

Н.В. КОЗЛОВСКАЯ, доц. каф. инженерной защиты окружающей среды Удмуртского ГУ, канд. биол. наук,

А.В. МЕДВЕДЕВА, ст. преподаватель каф. инженерной защиты окружающей среды Удмуртского ГУ

[mcs@izh.com](mailto:mcs@izh.com)

В связи с размещением на территории Удмуртской Республики объектов по уничтожению и хранению химического оружия (ОУХХО), в том числе содержащих мышьяк органических соединений, проблема мониторинга влияния этих объектов на окружающую среду является весьма актуальной. Основные

воздействия на компоненты природных экосистем в зоне защитных мероприятий (ЗЗМ) объектов, согласно прогнозу, будут связаны с поступлением в окружающую природную среду содержащих мышьяк химических соединений на стадии эксплуатации объекта в штатном режиме, а также в случае аварийных ситуаций.

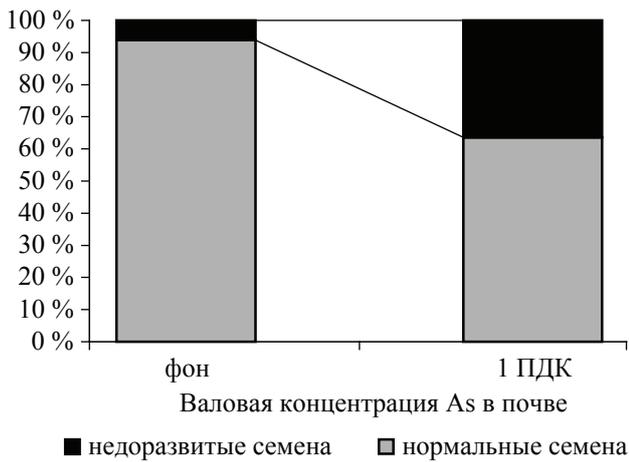


Рисунок. Доля семян с патологией развития у сосны возраста 20–25 лет

Мышьяк токсичен для растений, животных и микроорганизмов, превосходя по токсичности большинство природных химических элементов. Наиболее биологически активны подвижные формы мышьяка, при этом  $As^{3+}$  (арсениты) более токсичны для животных, чем  $As^{5+}$  (арсенаты), и образуются путем восстановления последних в анаэробных условиях переувлажненных почв болот и донных отложений. В почве и донных отложениях мышьяк может также подвергаться биометилированию с участием некоторых групп микроорганизмов. Образующийся  $As(CH_3)_3$  в силу большей гидрофобности легче проникает через клеточные мембраны, меньше доступен для разрушающих ферментов и в большей степени аккумулируется в биологических тканях животных, особенно в органах с высоким содержанием липидов [1, 5, 6].

Поэтому, по нашему мнению, экологический мониторинг загрязнения местности, наряду с классическими подсистемами и компонентами, должен включать организацию экологического полигона для экспериментального изучения трансформации природных объектов и биологических систем под влиянием содержащих мышьяк поллютантов и продуктов их превращений.

При этом чрезвычайно важны диагностика и мониторинг влияния малых доз – в диапазоне значений от фоновых до ПДК, что редко учитывается при классическом подходе [1]. Тем не менее, воздействие данного

суперэкотоксиканта на уровне ПДК прослеживается в одном из наших экспериментов через 1–1,5 года после внесения его в почву экспериментальной площадки.

К примеру, в отношении качества семян сосны обыкновенной (рисунок) налицо явная стимуляция образования неполноценных семян при концентрации мышьяка в почве, на которой растет данное дерево, на уровне 1 ПДК.

Чтобы организовать систему биомониторинга загрязнения содержащими мышьяк соединениями природных экосистем в контуре зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) ОУХХО, необходимо выбрать:

1. Виды-биоиндикаторы и биотест-объекты;
2. Анализируемые биологические и химические параметры и методы их анализа;
3. Пункты, время и периодичность сбора материала (проб).

При выборе объектов для биоиндикации необходимо соблюсти следующие требования, предъявляемые к ним:

- 1) широкий ареал;
- 2) эвритопность;
- 3) оседлость;
- 4) антисинантропность;
- 5) индикационная пластичность;
- 6) простота добычи (учета);
- 7) изученность видов и внутривидовых таксонов.

В отношении ОУХХО следует выделить две разновидности мониторинга:

1. Мониторинг диагностический, проводимый в течение длительного времени влияния объекта. Для диагностического мониторинга необходимо выбирать биологические системы, способные к интегральному ответу на комплексные воздействия и проявляющие кумулятивный эффект.

2. Мониторинг оперативный, который позволит быстро оценить состояние среды в ЗЗМ при любой нештатной ситуации на объекте. Основное требование к анализируемым биологическим параметрам, используемым в мониторинге быстрого реагирования, – это их чувствительность (низкие пороги и незначительное запаздывание ответной реакции).

Задача мониторинга биоты – адаптация и развитие методической базы эколого-аналитического контроля, обеспечение деятельности по развитию системы контроля объектов по хранению и уничтожению химического оружия, а также других опасных промышленных объектов в регионе. Для этого необходима организация информационно-измерительной базы, включающей:

- мобильную систему пробоотбора и экспресс-оценки состояния биологических объектов;
- систему учета и хранения проб;
- аккредитованную лабораторию химического анализа проб почвы, донных отложений, воды и биологических объектов; целесообразно проведение двухуровневого анализа: первичного – на определенные группы веществ-маркеров, и детального – в случае положительного первичного;
- аккредитованную лабораторию микробиологического анализа проб почвы, донных отложений и воды.

Лаборатория позволит вести контроль в ЗЗМ ОУХХО на уровне малых доз (долей ПДК), что сделает возможным достоверный прогноз поведения и тенденций накопления специфических загрязняющих веществ в природных средах и биологических объектах.

Требования к составу показателей.

#### *Диагностический мониторинг*

Учитывая особенности миграции и трансформации содержащих мышьяк соединений в природных средах, биоиндикаторные таксоны следует выбрать среди организмов-обитателей экосистем лесной подстилки и поверхностного слоя почвы, а также организмов пресноводных экосистем [1, 6].

Среди почвенно-подстилочных организмов лучшими биоиндикаторами загрязнения токсичными химическими элементами считаются почвенные водоросли классов *Cyanophyta*, *Chlorophyta*, а также грибы-макромицеты *Inonotus*, *Fomes*, *Piptoptorus*, *Leccinum*, в большинстве являющиеся симбиотрофами высших сосудистых растений. В группу тест-объектов следует отнести напочвенные и эпифитные лишайники: *Cladonia*, *Cetraria*, *Parmelia*, представители мохообразных: *Pleurocium*, *Polytrichum*,

*Dicranum*, *Hylocomium*, а также папоротников (*Dryopteris filix-mas* L).

Критерием устойчивости высших растений служит размер площади некрозов в процентах от общей площади листа. Иногда устойчивость определяют в относительных цифрах, принимая чувствительность люцерны (неустойчивый вид, индикатор) за единицу. Кроме того, могут использоваться такие показатели, как уменьшение всхожести семян, энергия роста и урожайность растений, метод биологических тестов, некоторые физиолого-биохимические и анатомо-морфологические показатели.

В качестве основного метода биоиндикации следует выбрать анализ содержания мышьяка в органах и тканях тест-объектов из вышеперечисленных таксономических групп. Методика сбора и подготовки образцов к анализу и методы самого анализа (атомно-абсорбционная спектроскопия, атомно-эмиссионная спектрометрия и т.д.) выбираются исходя из имеющихся материально-технических возможностей и организационно-временных условий. В дополнение к анализу содержания мышьяка в биологических средах необходимо проведение в качестве диагностического мониторинга регистрации изменения состояния надорганизменных живых систем – популяций и сообществ некоторых вышеперечисленных таксономических групп.

Выбор контрольных и фоновых участков – пунктов биомониторинга – следует соотносить с особенностями миграции и трансформации содержащих мышьяк соединений в конкретных ландшафтах контура ЗЗМ.

Время и периодичность отбора биопроб для проведения биологического мониторинга устанавливаются в зависимости от особенностей жизненного цикла организмов выбранных таксономических групп [1].

Среди почвенно-подстилочной фауны лучшими биоиндикаторами загрязнения токсичными химическими элементами считаются дождевые черви сем. *Lumbricidae* и мелкие млекопитающие из сем. *Soricidae* и *Cricetidae*, среди пресноводных организмов – макробентос (в частности двусторчатые моллюски сем. *Unionidae*), рыбы-бентофаги и хищники из сем. *Cyprinidae*, *Esocidae*, *Percidae* [3].

В дополнение к анализу содержания мышьяка в биологических средах необходимо проведение морфопатологического анализа крупных организмов (млекопитающие, рыбы) из природных сообществ тех участков ЗЗМ, где минимальна напряженность антропогенного стресса (отсутствуют нефтедобыча, интенсивное сельское хозяйство, плотная жилая застройка). При этом оценивается процент особей с крупными морфологическими отклонениями (параметрами), проявления канцерогенеза и флуктуирующая асимметрия морфологических признаков [4].

В ходе диагностического мониторинга также регистрируются изменения состояния надорганизменных живых систем – популяций и сообществ некоторых перечисленных групп. В частности, рекомендуется оценить численность (биомассу) почвенно-подстилочных форм дождевых червей на контрольных и фоновых участках, аналогичных по эдафическим характеристикам, а также видовое разнообразие по Шеннону в сообществах макрозообентоса пойменных озер, расположенных на разном удалении от источника преобладающего воздействия [2, 3].

*Оперативный мониторинг (мониторинг быстрого реагирования)*

Для мониторинга ОУХХО как химически опасного объекта большое значение имеет оперативность получения данных, которая исключает необходимость подробного анализа биологических объектов на всей территории ЗЗМ. Эта разновидность мониторинга должна учитывать поправки на возможность приспособления биологических объектов (адаптация, компенсация) к техногенному воздействию с нарастанием интенсивности действия во времени, а также допускать возможность тестовой проверки антропогенного воздействия и отклика биологических объектов на это воздействие. Кроме того, подавляющее большинство суперэкоотоксикантов, в том числе и соединения мышьяка, являются нестабильными и в природных условиях существуют непродолжительное время, разрушаясь под действием ряда физических факторов окружающей

среды и вступая во взаимодействие с компонентами природных вод, почвы, живыми организмами. Поэтому биомониторинг загрязнения местности должен включать экспериментальное изучение трансформации природных объектов и биологических систем под влиянием данных поллютантов и продуктов их превращений.

Таким образом, целесообразно создание в контуре ЗЗМ экологического полигона научно-исследовательского, научно-технического и прикладного назначения. Основные направления его работы:

- изучение трансформации (реакции, особенностей и скорости самовосстановления, пределов насыщения, порогов воздействия) экологических (природных и техногенных) и экосоциальных систем под влиянием содержащих мышьяк поллютантов и продуктов их превращений;

- разработка схем и систем многоступенчатого комплексного экологического мониторинга;

- выявление спектра видов животных и растений – индикаторов, аккумуляторов и деструкторов по каждому конкретному поллютанту;

- разработка схем, систем и конкретных технологий ремедиации и рекультивации земель, подвергшихся трансформации, по каждому конкретному поллютанту.

#### Библиографический список

1. Бурдин, К.С. Основы биологического мониторинга / К.С. Бурдин. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 158 с.
2. Никаноров, А.М. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах / А.М. Никаноров, А.В. Жулидов. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 312 с.
3. Кривоуццкий, Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле / Д.А. Кривоуццкий. – М.: Наука, 1994. – 272 с.
4. Костицын, В.Г. Содержание тяжелых металлов в рыбах Воткинского водохранилища / В.Г. Костицын, Н.В. Костицына, Е.А. Зиновьев и др. // Вестник Перм. ун-та, 2000. – Вып. 2. Сер. Биология. – С. 297–302.
5. Вредные химические вещества: Неорганические соединения элементов V–VIII групп. – Л.: Химия, 1989. – 592 с.
6. Гамаюрова, В.С. Мышьяк в экологии и биологии / В.С. Гамаюрова. – М.: Наука, 1993 – 245 с.

## КОМПЛЕКСНАЯ САПР – ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СОВРЕМЕННОГО МЕБЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

П.Ю. БУНАКОВ, *ведущий специалист ООО «Базис-Центр», канд. техн. наук,*  
 А.В. СТАРИКОВ, *доц. каф. вычислительной техники ВГЛТА, канд. техн. наук,*  
 И.А. БАКУЛИН, *ведущий специалист ООО «Базис-Центр»,*  
 А.А. СТАРИКОВА, *асп. каф. вычислительной техники ВГЛТА,*  
 В.Н. ХАРИН, *проф. каф. вычислительной техники ВГЛТА, д-р техн. наук*

*bunakov@bazisoft.ru*

**К**онкурентный характер современного рынка потребительских товаров вынуждает производителей искать новые способы сокращения расходов, быстрого реагирования на изменения предпочтений и требований покупателей, повышения качества, индивидуальности и инновационной привлекательности продукции. Эта устойчивая общемировая тенденция характерна для предприятий всех отраслей, ориентированных на выпуск товаров широкого потребления, включая и мебельную промышленность.

Традиционные способы организации мебельного производства в России – индивидуальное, или единичное, серийное и массовое – по различным причинам не могут адекватно соответствовать современным реалиям потребительского рынка. В большей степени им отвечает новый тип организации производства, получивший название *позаказного промышленного мебельного производства* и сочетающий наиболее важные положительные черты индивидуального и серийного производства. Этот тип производства изначально ориентирован на решение задач, возникающих при работе в условиях быстро меняющейся конъюнктуры мебельного рынка, а именно:

- повышенные требования к качеству продукции, обусловленные наличием конкретного заказчика;
- жесткие ограничения на время реализации проекта;
- высокая финансовая ответственность исполнителя за реализацию заказа;
- формирование «цепочки ответственности», распространяемой на все этапы жизненного цикла изделия (ЖЦИ).

Таким образом, современные экономические условия поставили перед многими отечественными мебельными предприятиями

ми, независимо от их специализации и модели организации производства, сложный комплекс задач реинжиниринга бизнес-процессов (РБП), которые необходимо решать в условиях дефицита оборотных средств и времени, зачастую с привлечением внешнего консалтинга. РБП предприятия на основе современных информационных технологий сводится к решению следующих основных задач:

- анализ текущего состояния предприятия, его организационной структуры, выпускаемой продукции, эффективности использования средств автоматизации и других факторов, а также определения целей и задач;
- встраивание клиентов и поставщиков в бизнес-процессы предприятия благодаря использованию возможностей ведения электронного бизнеса (*e-business*);
- формирование и ведение заказов, управление запасами материалов и комплектующих в автоматизированном режиме при минимальном участии сотрудников мебельного предприятия (менеджеров);
- создание системы оперативно-календарного планирования использования производственных ресурсов во множестве одновременно выполняемых процессов в цепочке поставок.

Перспективным направлением работ в реализации РБП является использование и развитие CALS-технологий для информационной поддержки позаказного промышленного мебельного производства [1].

Определяющим условием успеха на этом пути является комплексная автоматизация производства, необходимость инвестиций в которую понимают многие прогрессивные руководители. Однако общий уровень автоматизации отечественных мебельных предприятий сегодня оценивается как достаточно низкий. На

многих из них используются локальные информационные системы, автоматизирующие отдельные этапы ЖЦИ: конструирование изделий, учетно-расчетные операции, охватывающие бухгалтерию и склад, частично технологическую подготовку производства и т.д. При этом зарубежный опыт показывает, что максимальный эффект достигается при одновременном внедрении на мебельном предприятии корпоративной информационной системы (КИС) и соответствующей комплексной системы автоматизированного проектирования (САПР), которая играет роль системообразующего ядра его информационной инфраструктуры.

Анализ распространенных коммерческих САПР показывает, что центральное место в них занимает геометрическая модель, которая является математическим отражением информации о свойствах формы и конструкции деталей изделия, а также об их взаимном расположении и сопряжении в составе сборочной единицы. Работа с геометрической моделью требует от конструктора и технолога детального знания особенностей проектирования изделий, условий и требований используемых технологий производства, а также выполнения точного описания всех компонент модели. Эти знания аккумулируются в конструкторском и технологическом отделах предприятия, в том числе и в виде архива (библиотеки) моделей типовых изделий (проектов). Такой подход соответствует традиционной серийной организации производства, характеризующейся достаточно длительным циклом проектирования изделий и технологической подготовки производства, предполагающим создание опытных образцов изделий и выполнение процедуры сертификации продукции.

Применение данного подхода, направленного в основном на автоматизацию рутинных конструкторских операций, в условиях позаказного производства, когда конструкторская и технологическая фазы разработки проекта отделены от фазы идентификации проекта, приводит к существенному возрастанию количества субъективных ошибок проектирования. Обнаружение данных ошибок зачастую происходит на поздних этапах ЖЦИ в так называемом «пространстве исполнительных координат», что определяет

высокую цену их исправления. Эффективное разрешение данного конфликта требует прежде всего смены существующей парадигмы автоматизированного проектирования [2].

При организации позаказного производства перед предприятием встает ряд проблем информационного характера, связанных с обеспечением различных подразделений достоверной, полной, актуальной и оперативной информацией в любой точке ЖЦИ. Для их решения требуется внедрение комплексных средств автоматизации, охватывающих основные этапы производственного процесса и представленных распределенной, интегрированной информационной системой реального времени.

На рынке информационных технологий имеются различные программные решения, связанные с автоматизацией поддержки различных аспектов производственной и управленческой деятельности предприятий. Анализ их показывает, что в большинстве случаев они игнорируют сам «объект» производства, т.е. предмет труда в его завершенном представлении, оперируя при этом некоторыми опосредованными геометрическими и финансово-экономическими показателями. При этом особенности предметной области и позаказного характера производства фактически в расчет не берутся. В то же время учет и сохранение концептуальных, дизайнерских, конструкторских, технологических и других особенностей элементов предметной области на всем протяжении расширенного производственного процесса позволяет значительно повысить уровень автоматизации и агрегирования выполнения проектных операций, следствием чего является общее сокращение субъективных ошибок, а также производственных и внепроизводственных издержек.

В качестве общей методологической основы для решения рассмотренных проблем предлагается концепция безошибочного проектирования и производства сложных мебельных изделий. Основные ее положения можно сформулировать следующим образом [3]:

1. Сквозная информационная поддержка всех участников процесса «менеджмент–проектирование–производство», основывающаяся на объектных структурно-атрибутивных моделях изделий, обладающих

необходимой семантической избыточностью, отражающей свойства предметной области, ассоциированные с конкретным изделием.

2. Повышение уровня абстракции на начальных этапах реализации проекта, в частности на этапе эскизного проектирования (инжиниринга), за счет отказа от работы с полноформатной геометрической моделью изделия в исполнительных координатах и перехода к комплексу моделей более высокого уровня: эскизно-структурной, структурно-атрибутивной и графо-аналитической моделям в пространстве эскизных координат.

3. Обеспечение безошибочности выполнения проектных процедур и операций на этапе функционального проектирования (реинжиниринга) путем включения в объектные модели комплекса конструкторско-технологических требований и ограничений, реализуемых автоматически по мере понижения уровня абстракции модели в ходе ее компиляции в исполнительные координаты.

4. Распараллеливание проектно-конструкторских и технологических работ с переносом основного их количественного и качественного объема на этап эскизного проектирования как основы формирования множества прототипных моделей, обеспечивающих быстрый реинжиниринг изделий в условиях жестких временных ограничений и минимизацию субъективных ошибок проектирования.

5. Интерактивное, последовательно-параллельное формирование объектных моделей прототипных изделий, осуществляемое в режиме автоформализации профессиональных знаний [4], с последующей автоматической генерацией геометрической модели для ее визуализации и дальнейшей обработки в среде универсальной САПР.

В разработанной концепции используется обобщенная информационная модель процесса проектирования, представленная в виде многоуровневой, конвейерной и сетевой модели, в которой [5]:

- уровни (аспекты) отражают этапы проектирования объекта, а также процесс последовательной детализации объекта в ходе проектирования;

- конвейер отражает механизмы передачи данных между этапами проектирования

(не обязательно соседними), а также спектр передаваемых данных;

- сетевая структура отражает параметрические связи между отдельными характеристиками проектируемого объекта.

Наиболее выпукло процессы, связанные с реинжинирингом бизнес-процессов в направлении перехода к позаказному промышленному производству, проявляются в мебельной промышленности, вынужденной развиваться в течение всего переходного периода к рыночной экономике без какой-либо государственной поддержки. С другой стороны, близость производства к конечному потребителю продукции, многоаспектный характер предметной области и в целом положительная динамика развития рынка делают предприятия мебельной промышленности как наиболее удобными для практической апробации принципов концепции безошибочного проектирования и производства, так и наиболее вероятными потребителями автоматизированных систем, реализованных на их основе [6].

При реализации программных решений автоматизации мебельных предприятий следует принимать во внимание ряд ограничений, определяющих особенности позаказного проектирования и производства сложных мебельных изделий и ансамблей, что не ограничивает общности предлагаемого подхода. Они заключаются в следующем:

- мебельный ансамбль включает изделия различной функциональности, объединенные единым стилевым (дизайнерским) решением (замыслом);

- стилевое оформление ансамбля достигается не только за счет элементов декора и цвето-фактурных композиций, но и путем реализации архитектурных (дизайнерских), конструкторских и технологических решений;

- изделия, входящие в состав ансамбля, являются инженерно-художественными произведениями и обладают значительной конструкторско-технологической сложностью;

- индивидуальный подход реализуется при формировании структуры, стиля и качества мебельного ансамбля и в максимальной степени учитывает объективные (параметры жилища, финансовые возможности и т.д.) и субъективные требования заказчика;

– формирование спецификаций мебельных изделий и ансамбля в целом выполняется в режиме реального времени путем создания и моделирования виртуальных интерьеров;

– жесткие временные ограничения действуют на всем протяжении процесса реализации проекта при выполнении интегрированных проектных процедур законченного цикла «менеджмент – проектирование – производство»;

– каждый проект является эксклюзивным, или индивидуальным, и реализуется в условиях повышенной финансовой ответственности за соблюдение срока и качества поставки мебельного ансамбля;

– «прозрачная» и понятная заказчику схема калькуляции стоимости каждого изделия и мебельного ансамбля в целом в момент идентификации заказа, допускающая вариации в широком ценовом диапазоне за счет эквивалентных преобразований модели;

– необходимость обеспечения гарантийного обслуживания и послегарантийного сопровождения продукции у заказчика, а во многих случаях и монтажа ансамбля в его помещении.

Обобщенная структурная схема информационных потоков мебельного предприятия, работающего в условиях позаказного промышленного производства, показана на рисунке. Центральное ее звено – комплексная САПР, которая является источником объектных структурно-атрибутивных моделей изделий. Концепция безошибочного проектирования предполагает двухуровневую структуру САПР, охватывающую весь ЖЦИ, начиная с самых ранних этапов процесса проектирования, что позволяет оперативно вносить изменения в проект с учетом существующих или изменившихся технологических условий.

Критерием дифференцирования структуры САПР на уровне является характер координатного пространства используемых моделей. Верхний (внутренний, производственный) уровень функционирует в пространстве эскизных координат, что требует применения объектных моделей высокого уровня абстракции. Функционально он реализует проектные операции инжиниринга прототипных моделей, абстрагированных от специфики конкретного предприятия. Качественная реализация дан-

ного этапа является основой безошибочности выполнения всех остальных этапов, поскольку на нем в модель закладываются элементы конструкторско-технологических требований и ограничений, включая формальные методы контроля корректности переходов, понижающих уровень абстракции модели, а также алгоритмы, предназначенные для определения правил компиляции прототипных моделей в модели конкретных мебельных изделий.

На уровне инжиниринга концентрируются детальные знания технологических особенностей конкретного предприятия, что является прерогативой специалистов, занимающихся инновационной деятельностью и непосредственно участвующих в производственно-технологических процессах данного предприятия.

В связи с этим одна из основных целей новой парадигмы проектирования заключается в обеспечении формального подхода, позволяющего распространить необходимый объем знаний внутреннего уровня на внешний (нижний, потребительский). Важнейшим условием реализации этого является интероперабельность решений, т.е. их способность к взаимодействию с другими системами. В рамках концепции безошибочного проектирования она достигается за счет введения обоснованной семантической избыточности в объектные модели изделий.

Внешний уровень САПР соответствует этапу реинжиниринга и выполняется специалистами, обособленными от технических и технологических аспектов производства, в режиме активного диалога с заказчиком. В случае, когда предметной областью применения концепции безошибочного проектирования является мебельная промышленность, это – дизайнеры интерьеров, менеджеры мебельных салонов и т.д. Степень их корреляции с производством очень низкая, тем не менее результаты их деятельности должны обеспечивать безошибочность всех последующих этапов ЖЦИ. Формально на этапе реинжиниринга решается задача понижения абстракции объектных моделей до уровня исполнительных координат. Она включает две основные проектные процедуры – реструктуризацию прототипной модели и возвратное проектирование конкретного изделия.

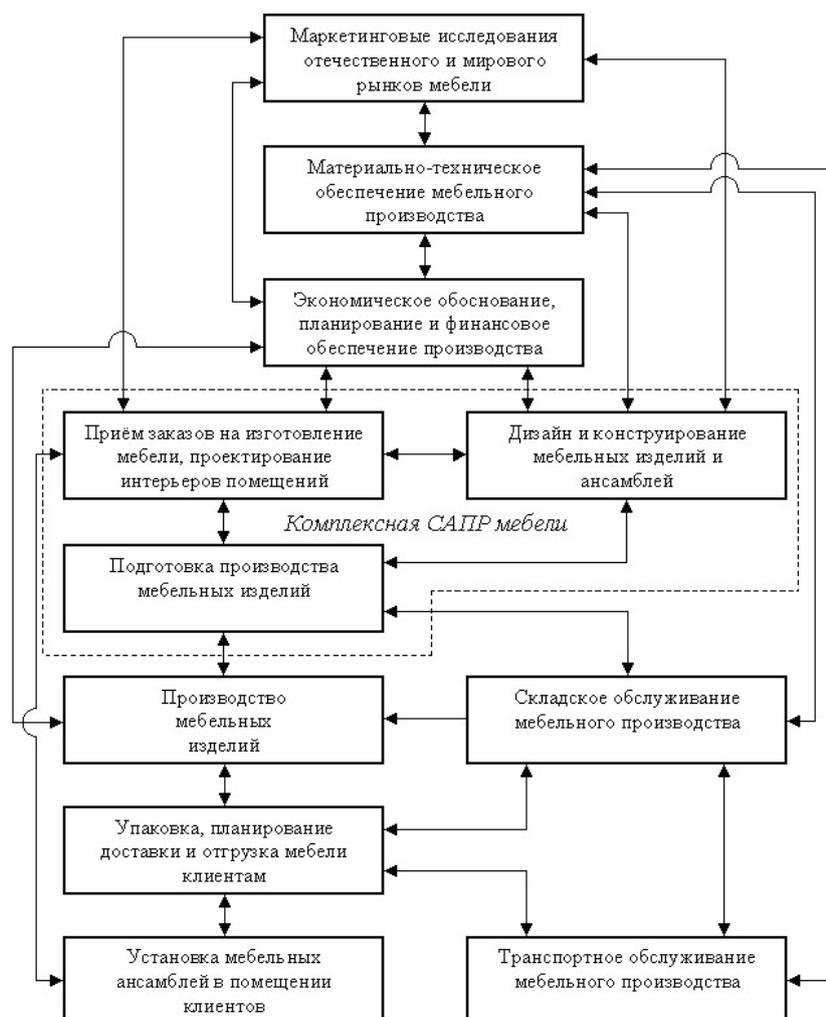


Рисунок. Обобщенная структурная схема информационных потоков мебельного предприятия

Процедура реструктуризации обеспечивает сопряжение прототипной модели без понижения уровня абстрактного представления с комплексом требований конкретного заказчика. Корректность всех действий специалиста контролируется алгоритмами реструктуризации, заданными на этапе инжиниринга, что в достаточной степени гарантирует безошибочность разрабатываемой модели. Возвратное проектирование – это автоматическая компиляция прототипной модели после ее реструктуризации в модель конкретного изделия, содержащую всю необходимую информацию для изготовления изделия на имеющейся производственной базе.

Таким образом, концепция безошибочного проектирования разделяет уровни знаний (компетенции) специалистов в соответствии с их позиционированием по критерию использования инструментальных средств САПР внутреннего или внешнего уровня. Отметим,

что до 70 % от общего количества дефектов, обнаруживаемых в готовой технической продукции, вызваны ошибками в конструкторских решениях, и только 30 % ошибок обусловлены недостатками технологии изготовления или происходят по вине рабочих. Использование концепции безошибочного проектирования позволяет сконцентрировать критические с точки зрения возникновения субъективных ошибок проектные процедуры на уровне компетенции высококвалифицированных специалистов, что в целом определяет высокую степень безошибочности всех этапов ЖЦИ.

В соответствии с предложенной структурой процесса проектирования в составе перспективной комплексной САПР выделяются следующие основные функциональные системы [7]:

- система автоматизации эскизного проектирования, предназначенная для выполнения этапа инжиниринга изделий;

– система реструктуризации и компиляции объектных моделей прототипного изделия, предназначенная для выполнения этапа реинжиниринга;

– универсальная САПР, предназначенная для визуализации моделей изделий и выполнения рутинных операций по подготовке конструкторско-технологической документации проектов.

Проблема интероперабельности решений на основе концепции безошибочного проектирования обеспечивается использованием единой объектной структурно-атрибутивной модели изделия, сформированной на этапе инжиниринга, при управлении всеми аспектами ЖЦИ. Обычно полный объем информации, аккумулированной в модели, не требуется для реализации большинства проектных процедур. Например, для компонентов материально-технического обеспечения производства актуальной является информация о потребном количестве материалов и комплектующих, а для экономических компонентов – информация о трудоемкости и себестоимости изготовления изделий. В последнем случае соответствующая информация явно не содержится в объектных моделях, но все необходимые данные для расчетов имеются. Для реализации проекции модели изделия на определенную компоненту ЖЦИ разрабатываются специализированные шлюзы, к которым могут подключаться различные расчетно-аналитические модули, потребляющие информацию в исполнительных координатах. Отметим, что универсальные САПР, о которых говорилось выше, являются одними из таких модулей.

Универсальность и большая информационная емкость объектных структурно-атрибутивных моделей позволяет всем компонентам ЖЦИ в течение всего цикла пользоваться идентичными данными. При этом для потребителей информации нижележащих уровней ЖЦИ не имеет существенного значения вопрос о том, как формировались исходные данные для реализации их компоненты. Основное, в чем они должны быть уверены, – это актуальность получаемых данных.

В заключение необходимо отметить, что концепция безошибочного проектирования является универсальной методологичес-

кой базой для реализации новой парадигмы автоматизированного проектирования, основанной на переходе от традиционных геометрических моделей к объектным структурно-атрибутивным моделям различных уровней абстракции. Практическая реализация ряда ее положений была осуществлена при разработке САПР БАЗИС, которая активно эксплуатируется на таких предприятиях, как ЗАО ПК «Ангстрем» (г. Воронеж), Концерн «GARDY» (г. Санкт-Петербург), ФГУП «ЦС «Звездочка», ФГУП «ПО «Севмаш» (г. Северодвинск) и других.

### Библиографический список

1. Стариков, А.В. Реализация концепции «безошибочного» проектирования и производства мебельных изделий на основе CALS-технологий / А.В. Стариков, П.Ю. Бунаков, В.Н. Харин // Информационные технологии: матер. всерос. науч.-технич. конф., 24 мая 2005 г. – Воронеж : Научная книга, 2005. – С. 165–167.
2. Новая парадигма проектирования САПР сложной корпусной мебели для заказа промышленного производства: монография / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, И.А. Бакулин и др. – М.: МГУЛ, 2007. – 319 с.
3. Стариков, А.В. Основные положения концепции «безошибочного» проектирования и производства сложных изделий корпусной мебели и особенности их реализации / А.В. Стариков, В.Н. Харин, П.Ю. Бунаков // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж, ВГЛТА, 2005. – Вып. 10. – С. 233–237.
4. Бунаков, П.Ю. Использование принципа автоматизации профессиональных знаний в практической реализации концепции безошибочного проектирования и производства мебели / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Дизайн и производство мебели. – 2005. – №3(8). – С. 37–40.
5. Стариков, А.В. Управление сложными проектами в интегрированных САПР: монография / А.В. Стариков, В.Н. Харин. – Воронеж: ВГУ, 2002. – 134 с.
6. Стариков, А.В. Особенности моделирования бизнес-процессов мебельного предприятия при организации заказа промышленного производства / А.В. Стариков, П.А. Петров // Моделирование систем и информационные технологии: межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 3. – Воронеж: Научная книга, 2006. – С. 61–64.
7. Бунаков, П.Ю. Опыт практической реализации концепции безошибочного проектирования и производства мебели / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Дизайн и производство мебели. – 2005. – № 4(9). – С. 33–35.

## СПОСОБ ПРОДОЛЬНОЙ РАСПИЛОВКИ СОРТИМЕНТОВ И СТАНОК ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

К.П. РУКОМОЙНИКОВ, доц. каф. технологии и оборудования лесопроизводства МарГТУ,  
канд. техн. наук,

П.Н. ВИНОГРАДОВ, магистрант каф. технологии и оборудования лесопроизводства МарГТУ

*kirsanov@marstu.mari.ru*

В настоящее время существуют различные способы и станки для продольной распиловки сортиментов. В зависимости от характера движения пилы и сортимента в процессе его продольной распиловки станки делят на три основные группы. К первой относят станки с возвратно-поступательным движением распиливаемого сортимента [1]. Ко второй – станки с возвратно-поступательным движением пильного механизма (а.с. № 122862). К третьей группе относят станки с непрерывным движением сортиментов в одном направлении. Эти станки делят на однопильные, установленные последовательно, и многопильные, являющиеся наиболее производительными. Чаще всего их делают многопильными, при этом пилы либо могут перемещаться только во время наладки станка (производится обезличенный раскрой), либо поперечное перемещение пил происходит за время интервалов между соседними сортиментами, поступающими в станок [2].

Предложенные ранее способы продольной распиловки сортиментов и станки для ее осуществления предусматривают необходимость либо возвратно-поступательного продольного перемещения пильного механизма или распиливаемого сортимента, а также перемещения пилы либо сортимента в поперечном направлении, что приводит к увеличению затрат времени на распиловку лесоматериала, либо необходимость установки значительного числа пил, что в свою очередь вызывает увеличение стоимости станка и необходимость либо временной остановки производства с целью изменения расстояния между пилами при поступлении сортиментов других размерно-качественных показателей, либо настройки каждой из значительного числа пил с целью получения пиломатериалов требуемой толщины во время интервалов между поступающими к станку сортимен-

тами. При их использовании предусматривается получение значительного количества горбылей, за счет чего уменьшается объем производимых из одного сортимента обрезных пиломатериалов. Для производства широких обрезных досок необходимо использование сортиментов значительного диаметра.

Целью разработки предлагаемого технического решения является снижение стоимости станка и времени, необходимого на его настройку, за счет сокращения числа распиловочных головок (пильных механизмов), а также уменьшение объема отходов лесопиления и повышение полезного выхода готовой продукции в виде обрезных пиломатериалов.

Сущность изобретения заключается в том, что при распиловке сортимента вдоль оси вертикально установленной пилой полученные сегменты разворачиваются вокруг горизонтальной оси, укладываются пластинами на подающий транспортер и подаются на дальнейшую распиловку горизонтально установленным ленточным пилам с возможностью одновременной распиловки сортиментов, полученных из одного сортимента, каждой из горизонтально установленных пил, а спиливание кромок с одной из сторон полученных из сортимента необрезных досок осуществляется после их выравнивания между собой в вертикальной плоскости, а с другой – после их поперечного перемещения параллельно вышеописанной вертикальной плоскости относительно друг друга до выравнивания кромок вершинной части необрезных пиломатериалов распиленного сортимента.

На рис. 1 изображен предлагаемый способ распиловки сортимента, где на рис. 1 а показан существующий вариант распиловки сортиментов. Части лесоматериала, попадающие в отходы производства при выполнении работ по данному способу, обозначены на рис. 1 б. Первый этап способа продольной

распиловки сортимента показан на рис. 1 в. На рис. 1 г – представлен второй этап способа продольной распиловки сортимента. Третий этап способа продольной распиловки сортимента изображен на рис. 1 д. Четвертый этап способа продольной распиловки сортимента показан на рис. 1 е. На рис. 1 ж – пятый этап способа продольной распиловки сортимента. На рис. 1 з – шестой этап способа продольной распиловки сортимента. На рис. 1 и – представлен седьмой этап способа продольной распиловки сортимента.

Предлагаемое техническое решение изображено на рис. 2 и предусматривает установку по обе стороны от сдвоенного подающего транспортера 1 в зеркальном отражении друг к другу механизмов разворота сегментов 2. Сегменты, полученные из одного сортимента в результате продольной распиловки передвижным пильным механизмом 3 с вертикально установленной пилой 4, представлены на рис. 1 г. Механизм разворота сегментов представляет собой установленный на опоре 5 зажимной механизм 6, в нижней части которого смонтированы вертикальные ролики, входящие в зацепление с расположенными на опоре направляющими 7, шарнирно сочлененный с установленным на опоре гидроцилиндром 8. Гидроцилиндры дают возможность перемещения зажимного механизма по траектории, имеющей форму сегмента, ограниченного хордой. Хорда проведена перпендикулярно оси распиливаемого сортимента. Механизмы разворота сегментов, расположенные с одного торца сортимента, установлены стационарно. С другой стороны механизмы разворота сегментов перемещаются по рельсовому пути 9. Рельсовый путь проложен вдоль сдвоенного подающего транспортера и торцевого зажима 10 сортимента. Торцевый зажим укладывается на сдвоенный подающий транспортер и центрируется относительно него центрирующим механизмом, с последующим разворотом получаемых в результате продольной распиловки вертикально установленной пилой сегментов посредством расположенного на конце зажимного механизма ошипованного захватно-поворотного устройства 11. Поворотное устройство жестко закреплено на поворотной оси, соединенной посредством шестерни с зубчатой рейкой.

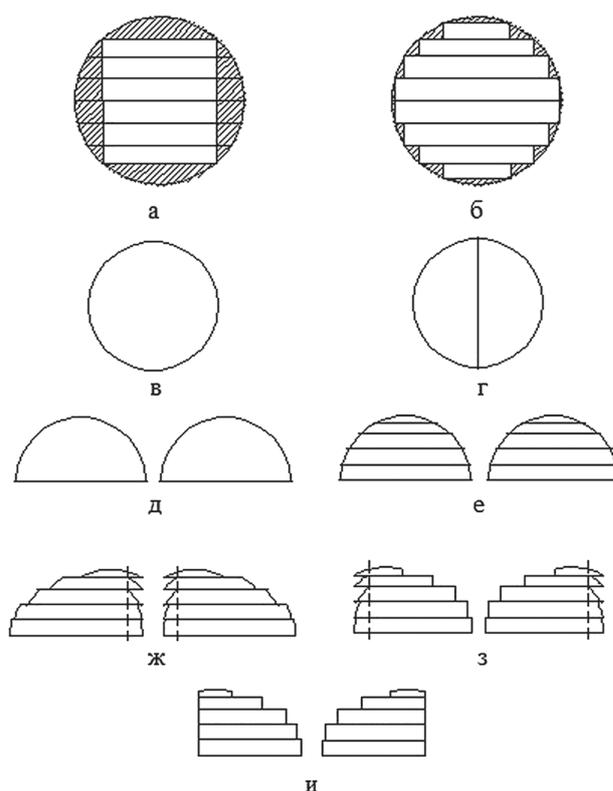


Рис. 1. Последовательность обработки сортиментов по новому способу их обработки

Зубчатая рейка установлена на конце штока гидроцилиндра, жестко закрепленного на корпусе зажимного механизма с возможностью передачи возвратно-поступательного движения от гидроцилиндра и разворота сегмента на 90 градусов вокруг горизонтальной оси таким образом, что плоть каждого сегмента укладывается на сдвоенный подающий транспортер. Сдвоенный подающий транспортер имеет возможность центрировать сегменты относительно него центрирующим механизмом и перемещения в продольном направлении к последовательно расположенным стационарным пильным механизмам 12 с горизонтально установленными пилами.

По обеим сторонам от сдвоенного приемного транспортера 13 установлены боковые толкающие устройства. Боковые толкающие устройства 14 выполнены в виде подпружиненных роликов. Подпружиненные ролики установлены таким образом, что при их работе появляется возможность перемещения полученных из сегментов необрезных досок в горизонтальной плоскости в направлении, перпендикулярном сдвоенному приемному транспортеру, до выравнивания кромок с

одной из сторон, полученных из сортимента необрезных досок относительно вертикальной плоскости. Вертикальная плоскость представлена в виде центральной планки 15, расположенной вдоль сдвоенного приемного транспортера между распиленными сегментами. Центральные толкающие устройства 16, находящиеся в нерабочем положении в пазах внутри центральной планки, расположены таким образом, что при их срабатывании обеспечивается поперечное перемещение необрезных досок параллельно вышеописанной вертикальной плоскости относительно друг друга до выравнивания кромок вершинной части необрезных пиломатериалов. Пиломатериалы расположены относительно стороны вершинной части поступающего сортимента по обе стороны от сдвоенного приемного транспортера вертикальных упоров 17. Центральные толкающие устройства в нерабочем положении находятся в пазах, внутри центральной планки. Пильный механизм 18 состоит из установленных перед пилой 19 по обе ее стороны прижимных валиков 20. Прижимные валики обеспечивают неподвижное положение досок, выровненных при помощи боковых или центральных толкающих устройств. Пильный механизм расположен на раме 21 с возможностью перемещения вдоль сортимента по рельсовому пути 22, проложенному на всем протяжении сдвоенного приемного транспортера. Пильный механизм дает возможность отделения кромок,

предварительно выровненных относительно вертикальной плоскости или вертикальных упоров, с последующим удалением отходов распиловки сквозь отверстия 23, находящиеся по обе стороны каждой части сдвоенного приемного транспортера.

Станок работает следующим образом. Сортимент укладывается на сдвоенный подающий транспортер, например манипулятором. Поворотные вальцы 24 центрирующего механизма прижимаются к сортименту, осуществляя его центрирование относительно сдвоенного подающего транспортера. При выдвигании штоков гидроцилиндров, шарнирно закрепленных на опорах механизмов разворота сегментов, зажимные механизмы перемещаются по расположенным на опоре направляющим, двигаясь по криволинейной траектории, и переходят в рабочее положение. При этом ошипованные захватно-поворотные устройства зажимных механизмов находятся в вертикальном положении. Механизмы разворота сегментов, перемещающиеся по рельсовому пути, начинают движение к сортименту. В результате торцы сортимента оказываются зажатыми между ошипованными захватно-поворотными устройствами передних и задних зажимных механизмов и отцентрированы центрирующими механизмами. Передвижной пильный механизм с вертикально установленной пилой начинает движение по направляющим для перемещения передвижного пильного механизма.

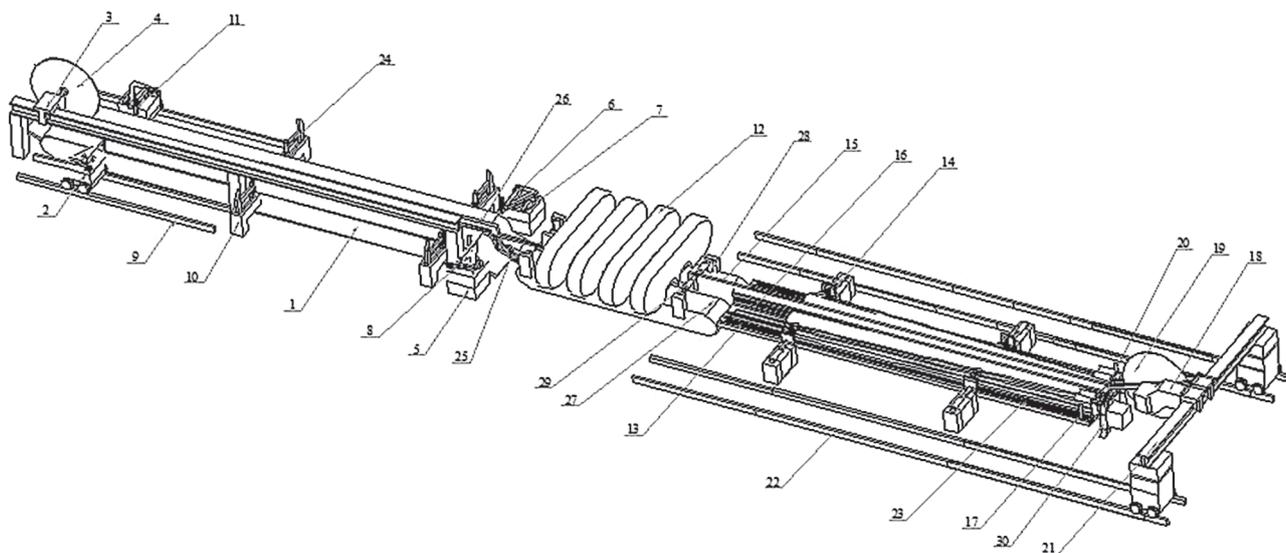


Рис. 2. Станок для продольной распиловки сортиментов

Вертикально установленная пила осуществляет продольную распиловку сортимента вдоль оси, разделяя его на два сегмента, после чего передвижной пильный механизм возвращается в первоначальное положение. При обратном ходе штоков гидроцилиндров, шарнирно закрепленных на опорах механизмов разворота сегментов, зажимные механизмы с зажатыми между ними сегментами перемещаются по расположенным на опоре направляющим, двигаясь по прямолинейной траектории, и переходят в первоначальное положение относительно опор. При рабочем ходе штока гидроцилиндра, жестко установленного на корпусе зажимного механизма, зубчатая рейка, установленная на конце штока, поворачивает шестерню, соединенную с поворотной осью зажимного механизма. В результате ошипованные захватно-поворотные устройства зажимных механизмов переходят в горизонтальное положение, разворачивая сегменты на 90 градусов вокруг горизонтальной оси. После выдвигания штоков гидроцилиндров, шарнирно закрепленных на опорах механизмов разворота сегментов на половину длины штока, зажимные механизмы раздвигаются, перемещаясь по расположенным на опоре направляющим, двигаясь по криволинейной траектории. В результате ошипованные захватно-поворотные устройства выходят из зацепления с торцами сегментов. Сегменты укладываются пластами на сдвоенный подающий транспортер. Срабатывает гидроцилиндр 25, соединенный с разделительным механизмом 26. Разделительный механизм приподнимается над сдвоенным подающим транспортером. Включается центрирующий механизм. Сегменты центрируются относительно разделительного механизма. Осуществляется обратный ход штоков гидроцилиндров, шарнирно закрепленных на опорах механизмов разворота сегментов, что вызывает перемещение зажимных механизмов в первоначальное положение относительно опоры. Посредством зубчатой рейки, закрепленной на конце штока гидроцилиндра, жестко установленного на корпусе зажимного механизма, ошипованные захватно-поворотные устройства зажимных механизмов переходят в вертикальное положение. Механизмы разворота сегментов, переме-

щающиеся по рельсовому пути, передвигаются в первоначальное положение. Включается сдвоенный подающий транспортер. Сегменты под действием упоров перемещаются в продольном направлении на приемный транспортер 27 через вертикальные приводные направляющие ролики 28 к последовательно расположенным стационарным пильным механизмам с горизонтально установленными пилами. Сегменты проходят блок горизонтально расположенных ленточных пил и распиливаются на необрезные доски, которые прижимаются к транспортеру горизонтальными прижимными роликами 29. При этом каждая из горизонтально установленных пил одновременно распиливает 2 сегмента, полученные из одного сортимента. После продольной распиловки ленточными пилами полученные пиломатериалы, с помощью сдвоенного приемного транспортера, достигают вертикально стоящих вершинных зажимов 30, который благодаря находящемуся на нем гидроцилиндру служит также для зажима распиленных пиломатериалов. В дальнейшем следует сталкивание всех необрезных досок в сегменте на одну сторону, пока каждая не упрется кромкой в центральную планку. Процесс происходит с помощью боковых толкающих устройств, которые обеспечивают равномерное передвижение досок. Боковые толкающие устройства состоят из гидропривода и установленных на них пружин, на которых установлены ролики, которые толкают доски. Боковые толкающие устройства обеспечивают зажим распиленного сегмента с центральной планкой. Затем дисковая пила делает первый проход. Она распиливает кромки пиломатериалов, которые были выровнены у центральной планки. Далее пила возвращается назад, делая второй проход на другом столе, дополнительные прижимы (прижимные валики), закрепленные впереди дисковой пилы, прижимающие сегмент сверху, обеспечивают дополнительную устойчивость досок в распиленном сегменте. Во время пиления один из валиков не участвует в прижиме, так как он перемещается по планкам. Отходы, полученные в результате пиления пиломатериалов, сваливаются вниз, в отверстие для удаления отходов. Затем доски перемещаются с помощью центральных

толкающих устройств, которые синхронно перемещают пиломатериал, на другую сторону до тех пор, пока вершинная часть каждой доски не достигнет вертикального упора, который расположен по бокам станка. Процесс передвижения пиломатериалов приостанавливается при мере достижения вершинной части каждого из пиломатериалов. Далее происходит распиловка с каждой стороны станка. Отходы, полученные в результате пиления пиломатериалов, сваливаются вниз, в отверстие для удаления отходов. Полученные доски отправляются дальше с помощью сдвоенного приемного транспортера, при этом вершинные зажимы автоматически убираются в сто-

рону. Далее вершинные зажимы переходят в первоначальное положение и цикл работы повторяется.

Использование предлагаемого способа позволяет увеличить ширину получаемых обрезных пиломатериалов, использовать для их производства сортименты меньшего диаметра.

#### Библиографический список

1. Залегаллер, Б.Г. Технология и оборудование лесных складов: учебник для вузов – 3-е. изд., испр., доп. / Б.Г. Залегаллер, П.В. Ласточкин, С.П. Бойков. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 352 с.
2. Селиванов, Н.Ф. Станки и оборудование потоков шпалопиления: Справочник / Н.Ф. Селиванов, Л.А. Занегин, и др. – М.: МГУЛ, 2001. – 313 с.

### НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСКРОЯ ДРЕВЕСИНЫ, ПОРАЖЕННОЙ СЕРДЦЕВИННОЙ ГНИЛЬЮ

А.С. ТОРОПОВ, *проф. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ, д-р техн. наук,*  
Е.С. ШАРАПОВ, *ст. преп. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ*

*kirsanov@marstu.mari.ru*

Одним из приоритетных направлений развития деревообрабатывающей промышленности является внедрение в производство ресурсосберегающих технологий, позволяющих максимально использовать древесное сырье. На сегодняшний день большое количество древесины, как комлевой, пораженной сердцевинной гнилью, так и вершинной, остается в лесу после рубок.

Распределение плотности (соответственно механическим характеристикам) и характеристик внешнего вида по радиусу ствола неравномерно и в большинстве изменяется от сердцевины к заболони, что наиболее сильно проявляется в комлевой древесине.

В существующих способах раскроя, в том числе и древесины, пораженной сердцевинной гнилью, используя сердцевинные зоны лесоматериала, получают заготовки с различной плотностью и характеристиками внешнего вида. В большинстве случаев раскрой осуществляются радиальными пропилами (плоскостями деления). Применение тангенциальных плоскостей деления (или близких к тангенциальным) лесоматериала позволит добиться разделения (сортировки) получаемых частей по качественным характеристикам и

характеристикам внешнего вида и получения однородной выходной продукции.

Под однородностью выходной продукции следует понимать однородность качественных характеристик и характеристик внешнего вида (в определенных пределах варьирования), получаемых вследствие использования технологий переработки древесины, позволяющих получать заготовки с различными характеристиками древесного материала, и сортировки полученных заготовок по данным характеристикам. Исследования [1] показали, что объемы поступления низкокачественной древесины, и в том числе древесины, пораженной сердцевинной гнилью, очень велики (на примере древесины березы).

По данным табл. 2 видно, что около 45 % низкокачественной древесины березы по западному и центральному району Российской Федерации составляет древесина, отнесенная к дровам по кривизне, сучкам и т.д. Однако оставшая часть древесины березы отнесена по порокам к внутренним гнилям и составляет около 55 %; в соответствии с данными табл. 1 около 30 % всей заготавливаемой древесины березы поражено сердцевинными (внутренними) гнилями.

**Процентное распределение древесины на деловую и низкокачественную при сплошных рубках древостоев (береза)**

Порода	Распределение древесины по классам товарности, %					
	1		2		3	
	деловая	низкокач.	Деловая	низкокач.	деловая	низкокач.
Береза	54	46	40	60	26	74

При этом по усредненному показателю количество некачественной древесины березы составляет 60 %.

**Распределение дровяных кряжей (1–2 м) по содержанию внутренней гнили и другим порокам, в процентах от общего количества (береза)**

Порода, число леспромхозов и количество перебранных дров, м <sup>2</sup>	Кряжи, отнесенные к дровам по внутренней гнили на худшем торце, доли и проценты диаметра										
	1/10 5–10	1/5 11–20	1/4 21–25	1/3 26–34	2/5 35–40	1/2 41–50	3/5 51–60	2/3 61–67	3/4 68–75	4/5 76–82	9/10 83–90
Береза; Ср	0,7	1,4	3,6	5,4	4,1	9,8	18,2	11,5	6,4	5,1	4,6
15;1500 А	0,2	0,3	1,7	3,2	3,2	6,4	18,7	13,5	2,1	2,9	0,6
Б	1	1,9	4,7	6,4	4,6	11,4	18,0	10,5	8,7	6,2	6,6
Порода, число леспромхозов и количество перебранных дров, м <sup>2</sup>	Кряжи, отнесенные к дровам по другим порокам и размерам										
	кривизне	червоточине	сучкам	толщине							
Береза; Ср	15,6	0,3	8,1	5,2							
15;1500 А	22,7	0,2	10,9	13,4							
Б	12,1	0,3	6,8	0,8							

Примечание. А– для западных и центральных районов европейской части Российской Федерации.; Б – для районов Севера, Урала, Сибири; Ср– среднее значение.

В результате анализа существующих технологий использования древесины, пораженной сердцевинной гнилью, можно сделать следующие выводы: существующие приоритетные направления использования древесины, пораженной сердцевинной гнилью, не позволяют рационально использовать здоровую заболонную часть низкокачественной древесины; необходимо проектирование и внедрение специализированных технологий по переработке древесины, пораженной сердцевинной гнилью, способствующих максимальному выходу однородной продукции.

Получение однородной продукции позволит, в условиях современного рынка, обеспечить продукцией с варьируемыми характеристиками различных потребителей.

Одним из перспективных направлений использования древесины, пораженной сердцевинной гнилью, является технология производства однородной выходной продукции путем получения криволинейных однородных заготовок, их дальнейшей обработки [2–8]. Способ раскроя круглых лесоматери-

алов, имеющих сердцевинную гниль, показанный на рис.1, осуществляется следующим образом [3].

Первоначально определяют форму и параметры сердцевинного слоя, производят деление лесоматериала 1 с пораженной сердцевиной 2 на сектора 3 с пораженным сердцевинным слоем 4 в продольном направлении в плоскостях, проходящих через центры пораженного слоя в вершине и комле; сектора 3 делят на части параллельно образующей по криволинейным поверхностям в плоскости волокон, части выпрямляют путем распаривания и гнутья или прессования, поле чего части 5 поворачивают относительно друг друга на 180° в вертикальной и горизонтальной плоскостях, сопрягают поверхности обработки и крепят между собой. С целью увеличения прочности соединения в полученных частях 5 выполняют соединительные элементы. С целью получения продукции разных размеров по толщине и качеству части 5 сортируют по геометрическим параметрам и качественным характеристикам.

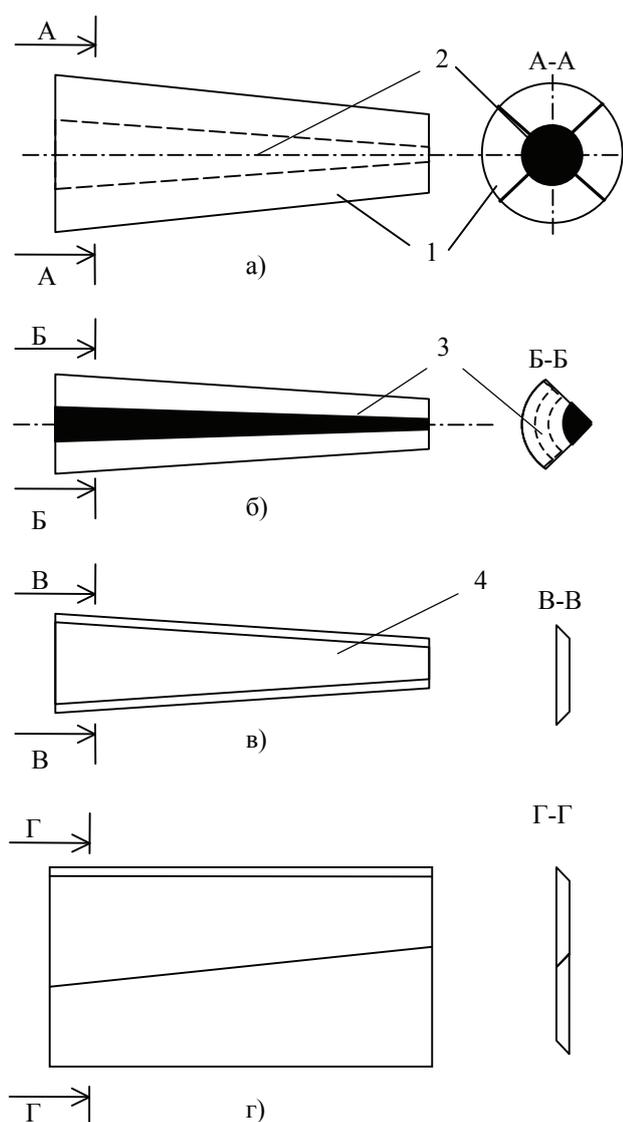


Рис. 1. Способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль, патент РФ № 2252135: а – раскраиваемый круглый лесоматериал с пораженным сердцевинным слоем; б – сектор с пораженным сердцевинным слоем; в – части, полученные после деления сектора; г – соединенные части

Аналогичный способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль [4] представлен на рис. 2 – способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль, патент РФ № 2252135. Первоначально определяют форму и параметры сердцевинного слоя, производят деление лесоматериала 1 с пораженной сердцевиной 2 на сектора 3 в продольном направлении в плоскостях, проходящих через центры пораженного слоя в вершине и комле; сектора 3

делят на части 4,5 параллельно образующей по криволинейным поверхностям в плоскости волокон. С целью получения продукции разных размеров по толщине и качеству части 5,6 сортируют по геометрическим параметрам и качественным характеристикам. С целью компенсации упругих свойств древесины и повышения прочности выходной продукции соединяемые части 4,5, в случае крепления по растягивающимся или сжимающимся поверхностям соответственно, поворачивают относительно друг друга на  $180^\circ$  в горизонтальной плоскости, сопрягают поверхности обработки, после чего части выпрямляют путем гнутья или прессования, одновременно скрепляя их между собой. С целью увеличения прочности частей 6,7, соединенных в случае крепления по растягивающимся и сжимающимся поверхностям соответственно, выполняют их прессование и сушку.

В представленных технологиях раскря производится по криволинейным поверхностям в плоскости волокон и получении криволинейных однородных заготовок, заготовки при этом имеют различный радиус кривизны. Полученные заготовки могут найти разнообразное применение, от деревянных лотков для слива до стенового материала [9].

Хотя европейские производители всячески скрывают инструмент и оборудование производства своей продукции для кровли и облицовки (криволинейных лотков для слива воды и т.д.), раскря производится на специализированных станках для получения криволинейных заготовок с цилиндрическими пилами [10], основой для которых служит патент США. Данное устройство позволяет получать криволинейные доски, используя набор из четырех цилиндрических пил (рис. 3).

Использование при раскряе устройства с режущим инструментом с одного радиуса закругления позволит добиться получения криволинейных заготовок по способам [6–8].

Способ раскря круглых лесоматериалов (рис. 4), имеющих сердцевинную гниль, осуществляется следующим образом [6].

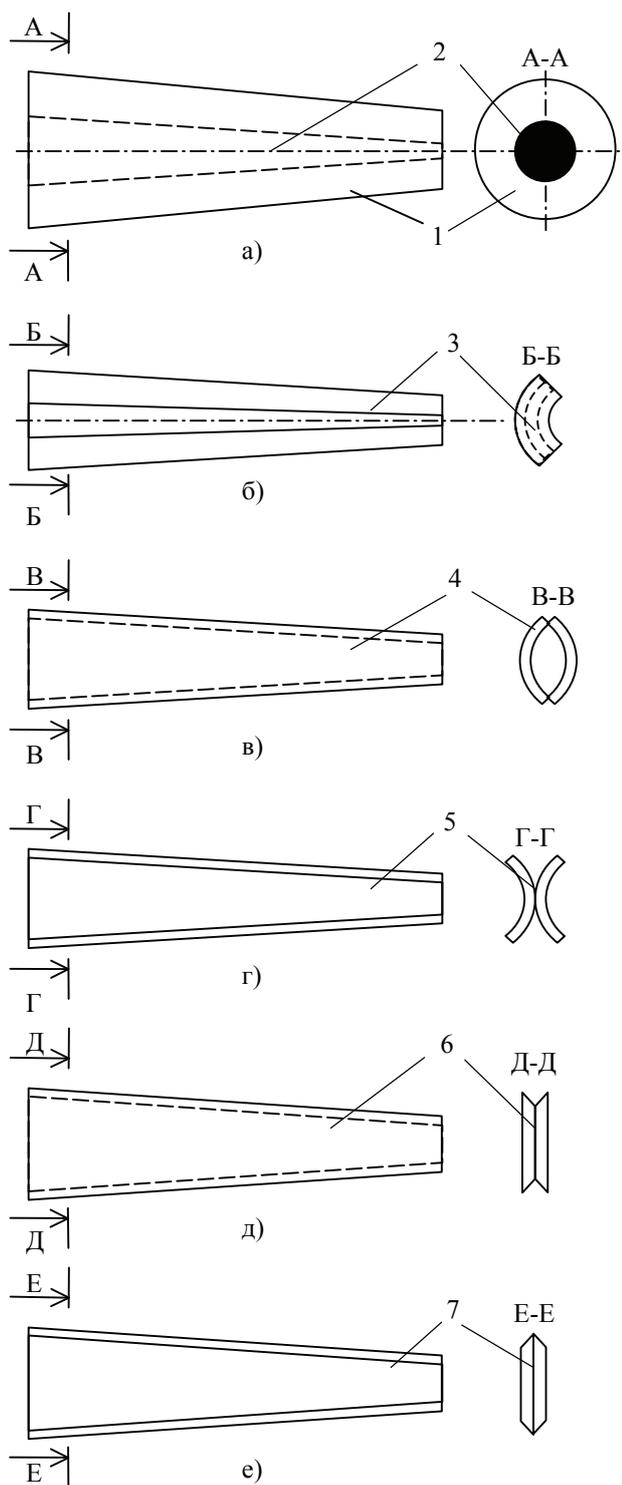


Рис. 2. Способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль, патент РФ № 2252135: а – раскраиваемый круглый лесоматериал с пораженным сердцевинным слоем; б – сектор лесоматериала; в – соединяемые части, в случае крепления по растягивающимся поверхностям; г – соединяемые части, в случае крепления по сжимающимся поверхностям; д – соединенные части, в случае крепления по растягивающимся поверхностям; е – соединенные части, в случае крепления по сжимающимся поверхностям

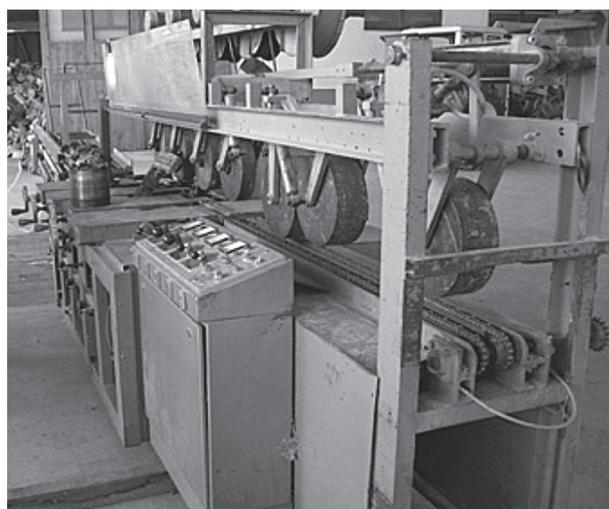


Рис. 3. Устройство для изготовления деревянных водосточных желобов

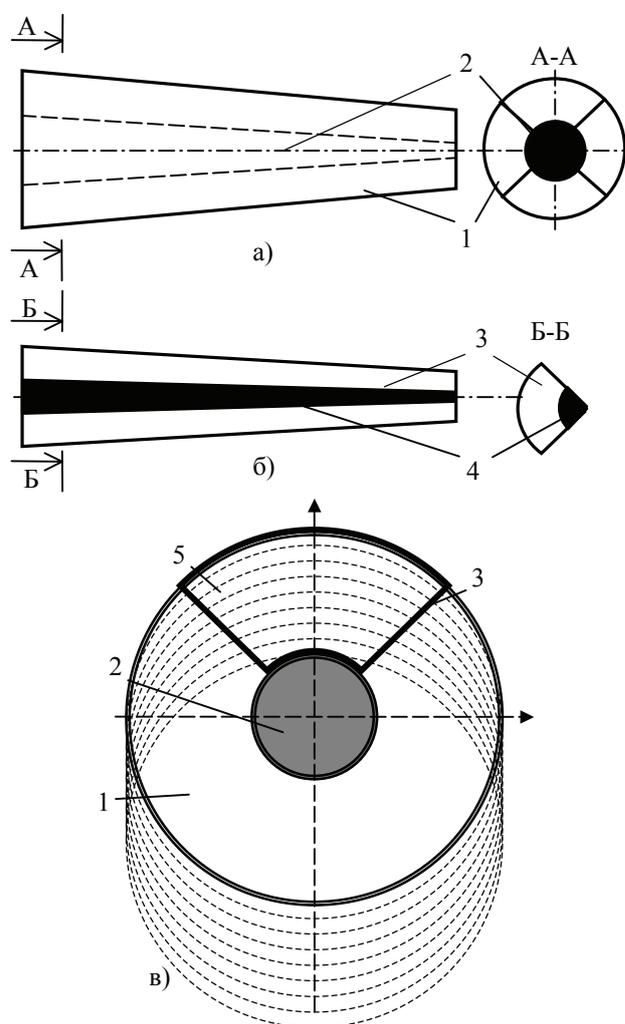


Рис. 4. Способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль, патент РФ № 2283218: а – раскраиваемый круглый лесоматериал с пораженным сердцевинным слоем; б – сектор с пораженным сердцевинным слоем; в – лесоматериал, выделен сектор и обозначены плоскости деления на заготовки

Первоначально определяют форму и параметры сердцевинного слоя, производят деление лесоматериала 1 с пораженной сердцевиной 2 на сектора 3 с пораженным сердцевинным слоем 4 в продольном направлении в плоскостях, проходящих через центры пораженного слоя в вершине и комле; сектора 3 делят на части 5 по плоскости образующей, смещающая плоскость деления по биссектрисе угла сектора 3, части выпрямляют, прессуют, после сушки части 5 поворачивают относительно друг друга на  $180^\circ$  в вертикальной и горизонтальной плоскостях, сопрягают поверхности обработки и крепят между собой. В полученных частях 5 выполняют соединительные элементы. С целью получения продукции разных размеров по толщине и качеству полученные части 5 сортируют по геометрическим параметрам и качественным характеристикам.

Проведены экспериментальные исследования получения выходной продукции согласно новым технологиям [4, 5, 8]. В ходе гидротермической обработки (сушки) происходит полное выпрямление образцов, имеющих толщины в пределах до  $1,6 \cdot 10^{-3}$  м, при этом частичное выпрямление образцов происходит непосредственно после их получения. Образцы в пределах  $1,6 \cdot 10^{-3} - 2,0 \cdot 10^{-3}$  м не изменяют радиуса закругления, либо изменяют его незначительно.

Применение рассмотренных способов (на разных стадиях из осуществления) и оборудования для раскря древесины, пораженной сердцевинной гнилью, позволит рационально использовать данную древесину и добиваться высоких процентов полезного выхода однородной продукции.

### Библиографический список

1. Коперин, И.Ф. Исследование низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок / И.Ф. Коперин. – М.: Лесная пром-сть, 1970. – 248 с.
2. Способ раскря низкокачественных круглых лесоматериалов: пат. 2038946 РФ: МКП 6 В27 В 1/00 / А.С. Торопов; патентообладатель А.С. Торопов – № 4887893/15.
3. Способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль: пат. 2237573 РФ: МПК 6 В27 В 1/00 / А.С. Торопов, Е.С. Шарапов; патентообладатель МарГТУ. – № 2003103664/12.
4. Способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль: пат. 2252135 РФ: МПК 6 В27 В 1/00 / А.С. Торопов, Е.С. Шарапов, А.В. Конаков, А.М. Махотин; патентообладатель МарГТУ. – № 2004106074/02.
5. Способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль: пат. 2281198 РФ: МПК 6 В27 В 1/00 / А.С. Торопов, Р.Г. Сафин, Р.Р. Сафин, Е.С. Шарапов; патентообладатель МарГТУ. – № 2005103687/03.
6. Способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль: пат. 2283218 РФ: МПК 6 В27 В 1/00 / А.С. Торопов, Е.С. Шарапов, А.С. Шарапов, Д.В. Павлов; патентообладатель МарГТУ. – № 2004139154/02.
7. Способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль: пат. 2304040 РФ: МПК 6 В27 В 1/00 / А.С. Торопов, Е.С. Шарапов, И.Р. Фатыхов, Ф.Ф. Саляхутдинов; патентообладатель МарГТУ. – № 2006101070/03.
8. Способ раскря круглых лесоматериалов, имеющих сердцевинную гниль: пат. 2301145 РФ: МПК 6 В27 В 1/00 / А.С. Торопов, Е.С. Шарапов, В.Л. Хуртин, А.В. Конаков, А.С. Шарапов, А.В. Пукемов; патентообладатель МарГТУ. – № 2005117892/03.
9. Holzschindeln, holsdachrinnen (enzeugung-handle), 2007 [Электронный ресурс] / Beyer-Holzschindel GmbH. – <http://www.holzschindel.at>
10. Gebrauchtmashinenliste, anlage zur herstellung von holzdachrinnen, 2007 [Электронный ресурс] / <http://www.pilch.at/Liste.htm#Stapler>

## ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Т.В. ШЕРЕМЕТЬЕВА, *асп. каф. механической технологии древесины КГТУ,*

А.А. ТИТУНИН, *доц. каф. механической технологии древесины КГТУ, канд. техн. наук*

*titkstr@kmtn.ru*

Особенностью современного состояния лесного фонда в зоне действия большинства предприятий российского лесопромышленного комплекса является изменение качественного состава ресурсного потенциа-

ла вблизи существующей транспортной сети, а именно: увеличение запасов мягколиственной древесины с невысокими потребительскими свойствами, в т.ч. осины. Осина – одна из очень производительных и при этом весь-

Т а б л и ц а 1

**Выход пиловочного сырья  
из осиновых хлыстов, %**

Ступень толщины, см	Класс товарности древостоев		
	II	III	в среднем
20	21,12	14,08	17,6
22	23,43	15,62	19,5
24	23,76	15,84	19,8
26	24,09	16,06	20,08
28	26,07	17,38	21,73
30	24,96	16,38	18,02
32	22,94	14,06	18,5
34	18,28	10,56	14,42
36	16,15	9,44	12,98

ма мало востребованных древесных пород. Обширный ареал, успешное возобновление естественным путем, быстрый рост – с одной стороны, незначительное промышленное потребление – с другой стороны, обуславливают проблему использования осиновой древесины. Анализ этой ситуации с позиций системного подхода, а также теоретические исследования [1, 2] позволили обосновать возможность использования осины в производстве деталей для деревянного домостроения. Выбор данного направления обусловлен размерно-качественными характеристиками осиновых древостоев и пиловочного сырья (табл. 1 и 2, рис. 1).

Т а б л и ц а 2

**Сортовой состав пиломатериалов, %**

Диаметр сырья, см	Сорт пиловочных бревен			Сорт пиломатериалов
	1	2	3	
14–24	26,1	15,2	6,5	1
	37,2	41,9	30,25	2
	34,8	41,1	60,4	3
26–32	19,1	7,2	2,9	1
	33,5	26,1	18,2	2
	44,1	61,1	75,1	3

Как следует из представленных данных, при переработке пиловочника неизбежно образование большой доли короткомерных пиломатериалов и отрезков, которые после склеивания по длине могут быть использованы для получения плинтуса, обналички, а также в производстве клееных конструкций. Такое использование осинового пиловочного сырья соответствует программным мероприятиям в части реализации национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России».

Руководствами по производству многослойных клееных элементов смешение разных пород древесины не рекомендуется, поскольку из-за разницы коэффициентов усушки и разбухания может произойти разрушение клеевых швов. Однако, проведя сравнительный анализ показателей физико-механических свойств (табл. 3), мы выдвинули предположение, что при соблюдении некоторых условий и использовании методов модификации древесины, клееные конструкции, содержащие наряду с хвойными ламелями осиновые, будут удовлетворять условиям прочности и долговечности.

Для проверки этого предположения были проведены необходимые исследования. Как известно, напряженное состояние в натуральных конструкциях значительно сложнее, чем используемые для оценки прочности клеевых соединений схемы испытаний. Тем не менее, они позволяют еще на этапе проектирования оценить ожидаемый результат.

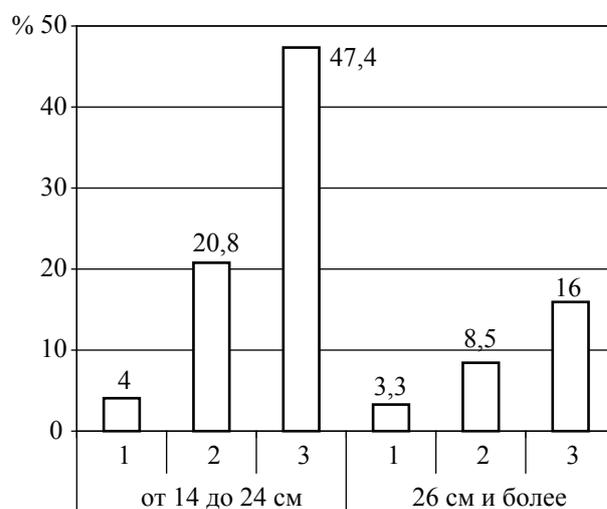


Рис. 1. Структура сортового состава, % осинового пиловочного сырья в зависимости от диаметра бревен

При обосновании возможности использования при склеивании древесины разных пород был выполнен расчет максимальных касательного и нормального напряжений в клеевом шве, соответствующих напряженному состоянию сдвига и отрыва в натуральных конструкциях.

Средние показатели основных физико-механических свойств древесины

Порода	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент разбухания, % на % влажности			Предел прочности, МПа					Модуль упругости при изгибе, ГПа
		радиального	тангенциального	объемного	при статическом изгибе	при сжатии вдоль волокон	при растяжении вдоль волокон	при скалывании вдоль волокон по плоскости		
								радиальной	тангенциальной	
Сосна	505	0,18	0,31	0,51	84,5	46,3	102	7,44	7,23	12,2
Ель	445	0,17	0,31	0,5	78,6	45,0	101	6,83	6,72	9,6
Осина	495	0,15	0,3	0,47	76,5	43,1	121	6,15	8,42	11,2

Максимальное касательное напряжение в клеевом шве  $\tau_{\max}$ , МПа при скалывании определялось как

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{ср}} a_k l (1 / \text{Th}(a_k l / 2)), \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{ср}}$  – средняя прочность при скалывании вдоль волокон, МПа;

$a_k$  – коэффициент, учитывающий прочностные свойства клея и склеиваемых материалов, см<sup>-1</sup>;

$l$  – длина клеевого шва, м.

$$a_k^2 = (G_3 / E_2 h_2 h_3) (1 + (E_2 h_2 / E_1 h_1)), \quad (2)$$

где  $G_3$  – модуль сдвига клея, МПа;

$E_1, E_2$  – модули упругости склеиваемых материалов, МПа;

$h_1, h_2$  – толщины склеиваемых материалов, м;

$h_3$  – толщина клеевого шва, м.

Нормальные напряжения в клеевом шве  $\sigma_{\max}$ , МПа при раскалывании определяются по формуле

$$\sigma_{\max} = 2Q_0 a_n, \quad (3)$$

где  $Q_0$  – разрушающая нагрузка, Н;

$a_n$  – коэффициент, учитывающий прочностные свойства клея и склеиваемых материалов, см<sup>-1</sup>;

$$a_n = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{8E_3}{h_3 D}}, \quad (4)$$

где  $E_3$  – модуль упругости клея, МПа;

$h_3$  – толщина клеевого шва, м;

$D$  – цилиндрическая жесткость;

$$D = E h^3 / 12(1 - \mu)^2, \quad (5)$$

где  $E$  – модуль упругости древесины, МПа;

$h$  – толщина древесины, м;

$\mu$  – коэффициент Пуассона для древесины, МПа.

Результаты расчетов показали, что прочность клеевого шва в конструкциях,

склеенных из сосны и осины, больше, чем пределы прочности этих пород. Конечно же различие упругих и прочностных характеристик древесины разных пород, входящих в состав композиционного сечения, будет оказывать влияние на напряженное состояние в клеевом шве. Поэтому можно рекомендовать применение конструкций, склеенных из древесины разных пород, в сооружениях с нормальными условиями эксплуатации. При эксплуатации таких конструкций в более жестких условиях необходимо учитывать наличие дополнительных напряжений, в частности возникающих при изменении влажности.

Для проверки теоретических положений были проведены сравнительные исследования качества конструкций, склеенных из сосны (тип 1) и комбинированных – из сосны и осины (тип 2). Проводились испытания образцов на скалывание вдоль волокон, расслаивание клеевых швов и раскалывание. Образцы для испытаний изготавливались согласно общепринятым правилам. Сырьем служили осиновые и сосновые бруски, которые склеивали меламино-мочевиноформальдегидным клеем Каскомин 1242 с отвердителем 2542. Удельный расход клея составлял 0,40 кг/м<sup>2</sup> при одностороннем нанесении и 0,24 кг/м<sup>2</sup> на каждую сторону при двустороннем нанесении, давление запрессовки образцов во всех случаях принимали 1 МПа, время доотверждения 5 дней. Заготовки склеивали по двум схемам (рис. 2).

Варьируемыми факторами являлись: схема склеивания образцов и способ нанесения клея. Результаты эксперимента представлены в табл. 4.

**Физико-механические показатели двух типов конструкций клееной древесины**

Варьируемые факторы		Среднее значение показателя (тип 1 / тип 2)		
Схема склеивания образцов	Нанесение клея	Предел прочности при скальвании вдоль волокон, МПа	Расслаивание клеевых швов, %	Предел прочности при скальвании, МПа
а	Одностороннее	6,23 / 4,03	2,67 / 4,67	2,77 / 2,43
б		5,60 / 3,13	4,33 / 7,00	3,93 / 3,33
а	Двустороннее	8,10 / 6,00	0,33 / 0,67	4,37 / 4,50
б		6,87 / 4,50	1,67 / 4,00	5,27 / 5,17

**Результаты эксперимента по плану ПФП 2**

№ опыта	Толщина сосновых заготовок $X_1$ , мм	Толщина осиновых заготовок $X_2$ , мм	Ширина заготовок $X_3$ , мм	Среднее значение физико-механических показателей	
				предел прочности при скальвании вдоль волокон $Y_1$ , МПа	расслаивание клеевых швов $Y_2$ , %
1	50	50	150	5,44	4,10
2	26	50	150	8,02	2,82
3	50	26	150	6,84	3,49
4	26	26	150	9	2,11
5	50	50	100	6,2	3,82
6	26	50	100	8,48	2,5
7	50	26	100	7,46	3,2
8	26	26	100	9,38	1,83

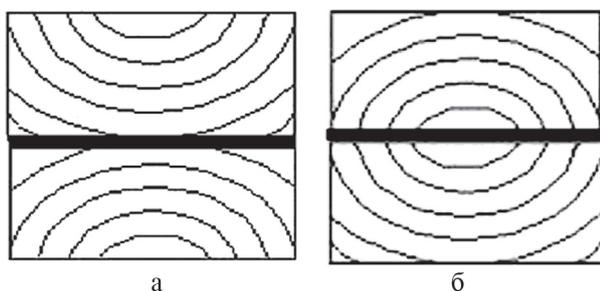


Рис. 2. Схемы склеивания образцов с расположением годичных колец: а – сердцевиной наружу; б – сердцевиной вовнутрь

Анализ полученных данных показал, что предел прочностных характеристик и стойкость к расслаиванию образцов, склеенных из сосны и осины, ниже, чем только из сосны, но при двустороннем нанесении клея его показатели соответствуют нормативным требованиям [3].

Как известно, несущая способность конструкций комбинированного сечения зависит от соотношения размеров высоты сечения наружных и средних зон [4]. Поэтому возможным способом устранения разницы

коэффициентов усушки и разбухания осины и сосны является уменьшение толщины склеиваемых слоев. Рациональный подбор толщины слоев для данных пород позволит эффективно использовать сырьевые ресурсы древесины без снижения прочности деревянных клееных конструкций. Поэтому были проведены испытания на прочность при скальвании вдоль волокон и на стойкость к расслаиванию комбинированных конструкций, склеенных из сосны и осины. Варьируемыми факторами являлись толщина и ширина заготовок. По результатам прошлого опыта был выбран односторонний способ нанесения клея и схема склеивания заготовок сердцевиной наружу. Остальные факторы остались неизменными. Результаты эксперимента представлены в табл. 5.

После обработки экспериментальных данных были получены регрессионные модели прочности на скальвание и расслаивание в кодированных обозначениях

$$Y_1 = 7,603 - 1,118X_1 - 0,568X_2 - 0,278X_3; \quad (6)$$

$$Y_2 = 2,984 + 0,326X_1 + 0,669X_2 + 0,146X_3. \quad (7)$$

С увеличением толщины и ширины осиновых и сосновых заготовок прочность на скалывание вдоль волокон уменьшается. Это обусловлено влиянием масштабного фактора, то есть уменьшением прочности с увеличением размеров образцов. При уменьшении толщины сосновых и осиновых заготовок процент расслаивания уменьшается. Так как чем тоньше слои, тем меньше проявляют себя внутренние напряжения, являющиеся следствием естественной разницы в усушке и разбухании отдельных слоев. Причем наибольшее влияние на прочность и расслаивание оказывает толщина осиновых заготовок.

Максимального предела прочности на скалывание вдоль волокон и минимального процента расслаивания можно достигнуть при минимальных значениях толщины заготовок сосны (26 мм) и осины (26 мм) и минимальном значении ширины заготовки (100 мм). Это позволяет рекомендовать применение осиновых заготовок в тонких наружных слоях ограждающих конструкций, т.к. известно, что осина является более устойчивой к атмосферным воздействиям, чем сосна. Окончательный выбор толщины сечений может быть сделан после выполнения экономических расчетов, то есть критерием выбора яв-

ляется не только оптимизация нормируемых показателей качества комбинированных клееных конструкций, но и экономическая эффективность предлагаемого варианта.

Результаты проведенных исследований доказывают возможность эффективного использования осины в производстве деревянных клееных конструкций, что в свою очередь позволяет расширить сырьевую базу предприятий по изготовлению деталей для деревянного домостроения.

#### Библиографический список

1. Онегин, В.И. Особенности свойств осинового шпона и технологии его склеивания / В.И. Онегин и др. // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2002. – № 3. – С. 10–12.
2. Шереметьева, Т.В. Теоретическое обоснование производства клееных конструкций с применением мягколиственных пород / Т.В. Шереметьева // *Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-тех. конф.* – Брянск: БГИТА, 2007. – Вып. 18. – С. 160–162.
3. Ковальчук, Л.М. Производство клееных деревянных конструкций / Л.М. Ковальчук. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 248 с.
4. Левинский, Ю.Б. Влияние подбора древесины на эксплуатационные показатели комбинированных клееных балок / Ю.Б. Левинский, Р.И. Агафонова, В.В. Савина // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2007. – № 4. – С. 27–28.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛЕЕНОГО БРУСА

К.В. ЗАЙЦЕВА, ассистент каф. механической технологии древесины Костромской ГТУ,  
А.А. ТИТУНИН, доц. каф. лесоинженерного дела Костромского ГТУ, канд. техн. наук

*tiikstr@kmtn.ru*

Одной из актуальных задач развития отечественного лесопромышленного комплекса является повышение конкурентоспособности. Особое значение при этом имеет стимулирование внутреннего спроса на продукцию отечественной деревообрабатывающей промышленности, особенно в части, касающейся реализации национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» [1]. В решении поставленной задачи не обойтись без внедрения новых прогрессивных технологий и конструкционных материалов. В свою очередь, в обеспечении

конкурентоспособности отечественной продукции немаловажную роль играет ее качество, которое зависит от множества факторов. Эти обе задачи должны решаться параллельно с вопросами снижения себестоимости продукции деревянного домостроения, чтобы оно действительно соответствовало критерию комфортности и доступности.

Одним из основных требований, предъявляемых к ограждающим конструкциям, является обеспечение в здании заданного температурного режима, который существенно зависит от применяемых материалов. Для

районов средней полосы России значение сопротивления теплопередаче  $R_0$  ограждающих конструкций в соответствии с новыми нормами СНиП II-3-79\* [2] должно быть не ниже  $3,49 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Для выполнения требований строительных норм проектировщики предлагают в качестве ограждающих конструкций в деревянных домах использовать клеёный брус с утеплителем. В частности, конструкция из клееного бруса толщиной 95 мм с последующей установкой утеплителя толщиной 150 мм и обшивкой «вагонкой» имеет  $R_0 = 4,97 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Проблема заключается в том, что при проектировании зданий используются справочные данные о теплопроводности.

В работах отечественных [3, 7] и зарубежных авторов [6] представлены основные закономерности процесса теплопереноса, полученные исследователями для малых прямоугольных образцов древесины без пороков, так называемых «чистых» образцов. К таким образцам вполне применима феноменологическая ортотропная модель, что и подтверждено многочисленными экспериментальными исследованиями. При этом, как известно, пренебрегают кривизной слоев, соотношением ранней и поздней древесины и прочими особенностями макростроения. О справедливости данных гипотез применительно к массивным деревянным конструкциям, особенно к полученным в результате склеивания, можно судить по приведенным ниже сведениям.

На сегодняшний день известен ряд методов определения теплопроводности материалов, основанных на измерении стационарного и нестационарного потоков тепла. Первая группа методов позволяет проводить измерения в широком диапазоне температур (от 20 до 700 °C) и получать более точные результаты. Недостатком методов измерения стационарного потока тепла является большая продолжительность опыта, измеряемая часами. Вторая группа методов позволяет проводить эксперимент в течение нескольких минут (до 1 ч), но зато пригодна для определения теплопроводности материалов лишь при сравнительно низких температурах.

Известные методы определения коэффициента теплопроводности  $\lambda$  основаны на применении довольно сложного лабораторного

оборудования, и коэффициент  $\lambda$  может быть определен только для «малого, чистого» образца однородной структуры. Клееный же брус получают в результате склеивания по пласти ламелей толщиной от 33 до 42 мм, которые в свою очередь получают в результате склеивания по длине (сращивания) на зубчатый шип коротких отрезков хвойных пиломатериалов. Поэтому клееный профилированный брус представляет собой сложную конструкцию из сравнительно толстых отрезков древесины с продольными и поперечными клеевыми швами, с чередующимся расположением годичных слоев в смежных ламелях и большей, по сравнению с обычной древесиной, анизотропностью. В связи с этим представляется не вполне оправданно применение для клееного профилированного бруса классического представления в виде однородного (квазигомогенного) материала без учета локальных дефектов (сучков, косослоя, несклеен, зубчатых соединений и пр.). Насколько велико различие коэффициентов теплопроводности деревянных клееных конструкций и рекомендуемых строительными нормами можно установить непосредственно по результатам экспериментальных исследований.

В связи с вышеизложенным была обоснована необходимость в разработке нового способа для определения теплопроводности клееных конструкций. С учетом достоинств и недостатков существующих способов были сформулированы требования к новому устройству:

- определение теплопроводности образцов больших сечений;
- максимальная приближенность способа к естественным условиям эксплуатации конструкций;
- малая трудоемкость подготовки образцов;
- возможность автоматизации процесса определения теплопроводности;
- простота эксплуатации установки;
- возможность использования установки для контроля теплопроводности конструкции в процессе их эксплуатации.

На основании этих требований на кафедре механической технологии древесины в 2005–2006 гг. была разработана экспериментальная установка [4] (рис. 1).

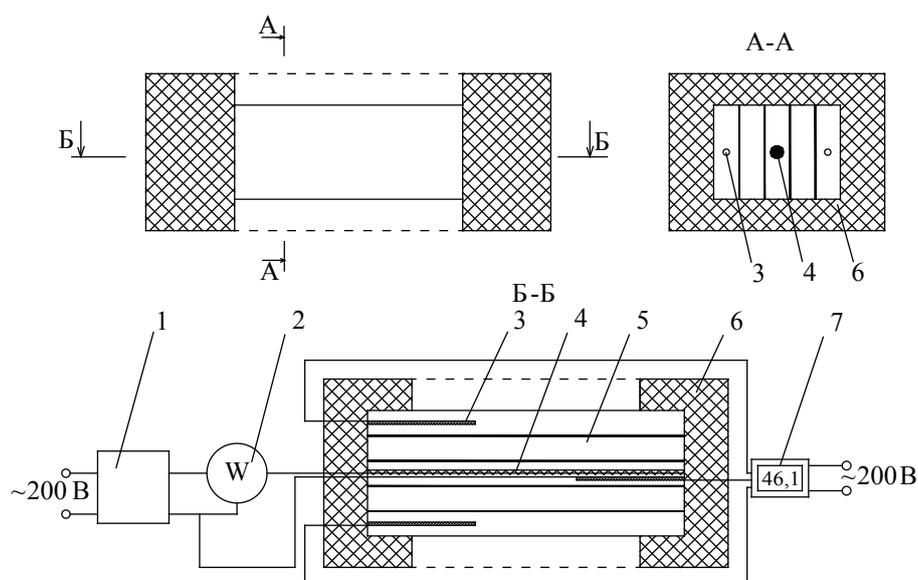


Рис. 1. Принципиальная схема установки: 1 – регулятор; 2 – ваттметр; 3 – термосопротивление ТСП-100; 4 – нагревательный элемент  $W < 100$  Вт; 5 – клееный брус; 6 – теплоизоляционный слой; 7 – измеритель УКТ-38.Щ-4ТС

Разработанное устройство может быть легко изготовлено из набора типовых деталей и эффективно использоваться в производственных условиях. Особо следует отметить, что предлагаемая установка позволяет определять коэффициент теплопроводности клееного бруса стационарным методом, а также получать необходимые исходные данные для определения теплопроводности нестационарным методом. Отмеченная особенность является положительным отличительным признаком от аналогов.

Определение теплопроводности массивных клееных конструкций с помощью этой установки основано на измерении температуры датчиков (термометров-сопротивлений), установленных в различных точках параллельно продольной оси бруса. Тепловой поток создается за счет нагревательного элемента, помещенного как можно ближе к продольной оси симметрии клееного бруса. Распространению теплового потока вдоль волокон препятствуют теплоизоляционные слои 6, между которыми помещается образец. В лабораторных исследованиях для изоляции торцевых поверхностей образца использовались асбест и пенополистирол. Для исключения влияния случайных воздушных потоков образец помещался в термокамеры (на рис. 1 показано пунктиром). Таким образом, можно считать, что тепловой поток на участке, где установлены датчики температуры 3, равно-

мерно направлен во всех направлениях. Поэтому по значению перепада температур нагревательного элемента и датчиков, а также мощности нагревателя в стационарном режиме коэффициент теплопроводности материала вычисляется по формуле

$$\lambda = \theta \ln(l/r) / 2\pi L(t_1 - t_2),$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности испытуемого материала, Вт/(м·°С);  
 $L$  – длина нагревательного элемента, м;  
 $r$  – радиус нагревательного элемента, м;  
 $l$  – расстояние от середины элемента до места установки термосопротивления, м;  
 $t_1$  и  $t_2$  – соответственно температура нагревательного элемента и термометра-сопротивления, °С.

В предварительной серии опытов [4] была установлена связь мощности нагревательного элемента со временем проведения опытов, определена необходимость обеспечения стабильности температуры окружающей среды. Следующим этапом экспериментальных исследований являлось определение степени влияния сучков на коэффициент теплопроводности клееного бруса.

Как известно, при производстве клееного бруса производится вырезка дефектных мест, при этом допускаются 2–3 сучка диаметром 12 мм на 1 п. м во внешних ламелях и диаметром до 35 мм – во внутренних. Сучки у хвойных пород в основном направлены под

углом, близким или равным 90° к продольному направлению волокон. Зная плотность сучковой древесины, можно определить значение коэффициента теплопроводности

$$\lambda_c = K_x \lambda_{\text{бер}} K_p,$$

где  $\lambda_c$  – теплопроводность сучковой древесины, Вт/(м·°С);

$K_x$  – коэффициент, учитывающий направление волокон (коэффициент  $K_x$  для дуба и бука в тангенциальном направлении равен 0,87, вдоль волокон 1,6, а для остальных пород вдоль волокон – 2,2);

$\lambda_{\text{бер}}$  – коэффициент теплопроводности древесины березы при  $\rho_0 = 500$  кг/м<sup>3</sup> в радиальном направлении, Вт/(м·°С);

$K_p$  – коэффициент, учитывающий плотность древесины.

$$K_p = 4,7652\rho^2 - 2,7287\rho + 1,188,$$

где  $\rho$  – плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>;

Коэффициент теплопроводности древесины березы  $\lambda_{\text{бер}}$  определяется в зависимости от влажности и температуры древесины по диаграмме [3], либо по выведенной нами формуле

$$\lambda = 0,00497 W + 0,000217 T + 0,1426,$$

где  $W$ ,  $T$  – соответственно влажность и температура древесины.

Был сосчитан коэффициент теплопроводности сучковой древесины сосны при температуре 20 °С, влажности 10 % и коэффициенте, учитывающем направление волокон, 2,2. Он составил 1,09 Вт/(м·°С) [3].

Количество сучков, которые являются температурными мостиками, определяется сортом пиломатериалов, из которых изготавливают клееный брус, и техническими условиями, которые регламентируют размеры и количество данных сучков. Были проведены исследования по определению количества и размеров сучков при производстве пятислойного клееного бруса. Во внутренних ламелях встречается 2,41 сучка диаметром 21,53 мм на каждый метр длины, а во внешних – 0,14 сучка диаметром 9,89 мм.

Поэтому коэффициент теплопроводности клееного бруса можно определить

$$\lambda = \left( \sum_{i=1}^n m_i \pi d_{\text{ср}}^2 h / 4XYZ \right) (\lambda_c - \lambda_{\text{др}}) + \lambda_{\text{др}},$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности деревянных клееных конструкций, Вт/(м·°С);

$\lambda_c$  – теплопроводность сучковой древесины, Вт/(м·°С);

$\lambda_{\text{др}}$  – теплопроводность древесины, Вт/(м·°С);

$m$  – количество сучков в одной ламели, шт.;

$n$  – количество ламелей в брус, шт.;

$X, Y, Z$  – размеры бруса, м;

$h$  – толщина одной ламели, м;

$d_{\text{ср}}$  – средний диаметр сучков, м.

$$\lambda_{\text{др}} = \lambda_{\text{бер}} K_p,$$

где  $\lambda_{\text{бер}}$  – коэффициент теплопроводности древесины березы при  $\rho_0 = 500$  кг/м<sup>3</sup> в радиальном направлении, Вт/(м·°С);

$K_p$  – коэффициент, учитывающий плотность древесины.

Был рассчитан коэффициент теплопроводности для образца (рис. 1). При этом изменение температуры определялось на расстоянии 80 мм (от нагревательного элемента до места установки датчика). Значения коэффициента теплопроводности при одном, двух и трех сучках соответственно составили 0,219; 0,225 и 0,23 Вт/(м·°С).

Для проверки этих теоретических положений были проведены экспериментальные исследования. Датчики температуры устанавливались в крайних ламелях пятислойного бруса (рис. 1). Значения коэффициента теплопроводности для левой и правой ламели составили 0,233 и 0,228 Вт/(м·°С).

Различия в значениях  $\lambda$ , полученных экспериментальным путем, объясняются тем, что во-первых, правые ламели в брус были с более широкими годичными слоями, чем левые. Из работ Е.К. Ашкенази [9] и других авторов известно, что в хвойной древесине с увеличением ширины годичных слоев возрастает содержание ранней, менее плотной древесины. Следовательно, широкослойная древесина с повышенным содержанием пор, заполненных при эксплуатационной влажности  $W = 10$  % преимущественно воздухом, должна иметь меньшую по сравнению с узкослойной древесиной теплопроводность, что и подтвердили экспериментальные данные.

Во-вторых, на значение коэффициента теплопроводности оказали влияние сучки, о чем можно судить по результатам, представленным на рис. 2.

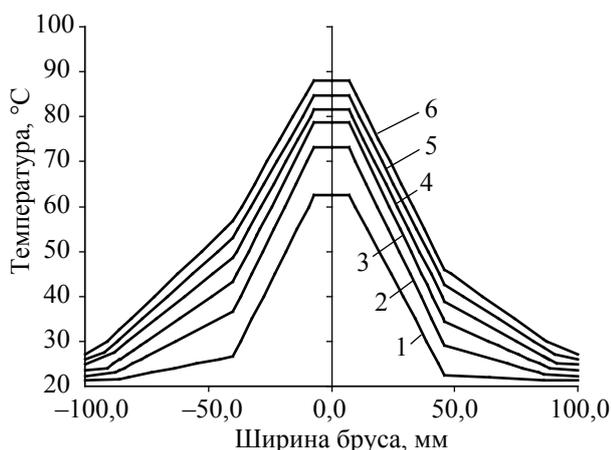


Рис. 2. Поле температур по ширине бруса в различные моменты времени: 1...6 – количество часов

В отличие от предыдущих опытов, в которых использовался брус с ламелями одинакового качества, в данном экспериментальном исследовании склеиваемые ламели, расположенные по разные стороны от оси симметрии бруса, несколько отличались друг от друга по количеству и размерам сучков. В этом случае сучки, состоящие из более плотной древесины и проходящие под углом от 70° до 90° к направлению волокон в ламелях, повышают теплопроводность материала. Об этом свидетельствует более интенсивное изменение температурного поля в левой части графика (в ламелях с сучками).

Таким образом, теплопроводность деревянных клееных конструкций по коли-

чественным характеристикам отличается от теплопроводности цельной древесины. При проектировании ограждающих конструкций из клееной древесины необходимо учитывать наличие сучков в ламелях, т.к. они повышают теплопроводность.

### Библиографический список

1. Тацун, М.В. Современное состояние ЛПК России и пути его развития / М.В. Тацун // *Дерево. RU*, № 4. – М.: ООО «РИА Пресс», 2006. – С. 24–27.
2. СНиП П-3–79\* Строительная теплотехника. Нормы проектирования. – М.: ГУП ЦПП, 1998. – 29 с.
3. Боровиков, А.М. Справочник по древесине / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 296 с.
4. Сироткина, К.В. Экспериментальная установка для исследования кинетики теплопереноса в материалах растительного происхождения / К.В. Сироткина // *Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. научн. труд.* – Брянск: БГИТА, 2006. – Вып. 16. – С. 89–91.
5. Титунин, А.А. Определение коэффициента теплопроводности клееной древесины / А.А. Титунин и др. // *Вестник КГТУ.* – 2005. – Вып. 11. – С. 114–117.
6. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США: пер. с англ. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 544 с.
7. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины / Г.С. Шубин. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 336 с.
8. Луканин, В.Н. Теплотехника / В.Н. Луканин и др. – М.: Высш. школа, 2003. – 671 с.
9. Ашкенази, Е.К. Анизотропия конструкционных материалов / Е.К. Ашкенази, Э.В. Ганов. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Ю.Г. ЛАПШИН, *проф. каф. сопротивления материалов МГУЛ, д-р. техн. наук,*  
 В.Н. ЛЕЖЕНЬ, *зав. испытательного центра ВНИИдревплит,*  
 А.И. РОДИОНОВ, *доц. каф. прикладной математики МГУЛ, канд. техн. наук,*  
 Д.В. ТУЛУЗАКОВ, *доц. кафедры сопротивления материалов МГУЛ, канд. техн. наук*

*caf-sopromat@mgul.ac.ru*

В настоящее время при контроле прочности ДСтП подготовка образцов для испытания на прочность при изгибе выполняется следующим образом [1]: на расстоянии 250 мм от поперечной кромки плиты вырезается полоса шириной, равной длине образца для испытаний, затем вырезается восемь образцов, причем четыре образца

вырезаются вдоль длинной стороны плиты, а четыре других – вдоль короткой. Далее результаты усредняются и используются при статистической обработке. В [2] показано, что такая процедура не корректна для анизотропного материала, а кроме того применяемая методика приводит к значительным объемам механических испытаний в завод-

ских лабораториях. С целью сокращения затрат на проведение испытаний и получения достоверных сведений о механических характеристиках ДСтП были проведены нижеследующие исследования. Для определения требуемого объема выборки, обеспечивающего заданную точность с заданной доверительной вероятностью, были сделаны две пробных выборки, каждая из 8 образцов, которые затем исследовали на прочность на изгиб. В первую выборку были включены образцы, полученные вырезанием только вдоль длинной стороны, а во вторую – образцы, полученные вырезанием только вдоль короткой стороны.

Полученные образцы испытали на прочность при изгибе. Предел прочности при изгибе определяли

$$\sigma_{\text{изг}} = 3Fl/2bh^2,$$

где  $F$  – сила нагружения, действующая на образец в момент разрушения,  $H$  (с точностью до 1%);

$h$  – толщина плиты ( $h = 15$  мм);

$b$  – ширина испытываемого образца ( $b = 50$  мм);

$l$  – расстояние между опорами в испытательной установке ( $l = 150$  мм)

По результатам этой пробной серии испытаний установили необходимый минимальный объем выборки. Для этого задались уровнем надежности  $\gamma = 0,95$  и необходимой точностью  $\varepsilon = \pm 0,32$  МПа, что составляет примерно 5%.

Тогда «исправленное значение дисперсии» можно определить по формуле

$$S_B^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\sigma_{\text{изг},i} - \bar{\sigma}_{\text{изг}})^2, \quad (1)$$

где  $n = 8$  – объем пробной выборки;

$\bar{\sigma}_{\text{изг}}$  – средняя арифметическая прочности образцов, определяется по формуле

$$\bar{\sigma}_{\text{изг}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{\text{изг},i}.$$

Среднее значение прочности на изгиб (табл. 1)  $\bar{\sigma}_{\text{изг},1} = 18,5$  МПа; среднее значение прочности на изгиб (табл. 2)  $\bar{\sigma}_{\text{изг},2} = 16,7$  МПа.

Подставляя полученные данные в (1), имеем следующие исправленные значения дисперсий:

$S_{B1}^2 = 0,84$  – для выборки, составленной из образцов, вырезанных вдоль длинной стороны плиты;

$S_{B1}^2 = 0,53$  – для выборки, составленной из образцов, вырезанных вдоль короткой стороны плиты.

Необходимый объем выборки определим

$$n = (t_{k,p} S_B / \varepsilon)^2,$$

где  $t_{k,p}$  – значение признака, распределенного по  $t$ -распределению Стьюдента с  $k = n - 1$  степенями свободы и уровнем надежности  $\gamma$ ;

$S_B = \sqrt{S_B^2}$  – исправленное стандартное отклонение.

По таблицам  $t$ -распределения Стьюдента находим  $t_{7;0,95} = 2,45$ . Тогда для выборки из табл. 1  $n_1 = (2,45 \cdot \sqrt{0,84} / 1,6)^2 = 49$ ; для выборки из табл. 2  $n_2 = (2,45 \cdot \sqrt{0,53} / 1,6)^2 = 31$ .

Так как с ростом числа испытаний точность полученных результатов возрастает, то выберем в обоих случаях объем выборки равным  $n = \max(n_1, n_2) = 49$ .

После определения необходимого объема выборки проводим эксперимент, где из плиты вырезаем 49 образцов сначала вдоль длинной стороны, а затем вдоль короткой стороны.

Средняя арифметическая прочности на изгиб образцов, полученных вырезанием вдоль длинной стороны  $\bar{\sigma}_{\text{изг},1} = 19,4$  МПа.

Средняя арифметическая прочности на изгиб образцов, полученных вырезанием вдоль короткой стороны  $\bar{\sigma}_{\text{изг},2} = 17,0$  МПа.

Теперь наша задача заключается в том, чтобы установить, различаются ли эти средние между собой в статистическом смысле. Иначе говоря, проверяется гипотеза  $H_0: (\sigma_{\text{изг},1}) = M(\sigma_{\text{изг},2})$ , или  $M(\sigma_{\text{изг},1}) - M(\sigma_{\text{изг},2}) = 0$ , относительно альтернативной гипотезы  $H_1: |M(\sigma_{\text{изг},1}) - M(\sigma_{\text{изг},2})| > 0$ .

Так как значения  $M(\sigma_{\text{изг},1})$  и  $M(\sigma_{\text{изг},2})$  неизвестны, то для проверки нулевой гипотезы  $H_0$  используем их точечные оценки – средние арифметические  $\bar{\sigma}_{\text{изг},1}$  (19,4 МПа) и  $\bar{\sigma}_{\text{изг},2}$  (17,0 МПа). Так как обе выборки независимы, то величины  $\bar{\sigma}_{\text{изг},1}$  и  $\bar{\sigma}_{\text{изг},2}$  также независимы и имеют нормальное распределение с дисперсиями  $S_{B,1}^2/n$  и  $S_{B,2}^2/n$ . Разность случайных величин  $\bar{\sigma}_{\text{изг},1}$  и  $\bar{\sigma}_{\text{изг},2}$  есть также случайная

величина, распределенная по нормальному закону, причем

$$D(\bar{\sigma}_{уз2,1} - \bar{\sigma}_{уз2,2}) = D(\bar{\sigma}_{уз2,1}) + D(\bar{\sigma}_{уз2,2}) = \frac{S_{B,1}^2}{n} + \frac{S_{B,2}^2}{n}.$$

Если гипотеза  $H_0$  справедлива, то  $M(\bar{\sigma}_{уз2,1} - \bar{\sigma}_{уз2,2}) = M(\bar{\sigma}_{уз2,1}) - M(\bar{\sigma}_{уз2,2}) = 0$ .

Так как дисперсии неизвестны, то используем их оценки

$$S_{B,1}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{\sigma}_{уз2,i} - \bar{\sigma}_{уз2,1})^2 = \frac{1}{49-1} \sum_{i=1}^{49} (\bar{\sigma}_{уз2,i} - 19,4)^2 = 1,50,$$

$$S_{B,2}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{\sigma}_{уз2,i} - \bar{\sigma}_{уз2,2})^2 = \frac{1}{49-1} \sum_{i=1}^{49} (\bar{\sigma}_{уз2,i} - 17,0)^2 = 1,31.$$

Тогда случайная величина  $t$  разности  $\bar{\sigma}_{уз2,1}$  и  $\bar{\sigma}_{уз2,2}$  определяется выражением

$$t = \frac{|\bar{\sigma}_{уз2,1} - \bar{\sigma}_{уз2,2}| - M(\bar{\sigma}_{уз2,1} - \bar{\sigma}_{уз2,2})}{\sqrt{\frac{S_{B,1}^2}{n} + \frac{S_{B,2}^2}{n}}} = |\bar{\sigma}_{уз2,1} - \bar{\sigma}_{уз2,2}| \sqrt{\frac{n}{S_{B,1}^2 + S_{B,2}^2}},$$

$t$ -статистика будет равна

$$t = |19,4 - 17,0| \sqrt{\frac{49}{1,5 + 1,31}} = 10,022.$$

Зададим уровень значимости гипотезы  $\alpha = 0,05$ . Степень свободы  $t$ -статистики будет равна  $k = n_1 + n_2 - 1 = 49 + 49 - 1 = 97$ .

По таблицам  $t$ -распределения можно определить  $t_{k,p} = t_{97; 0,95} = 1,99$ .

Так как условие  $t > t_{k,p}$  выполнено, то с вероятностью  $\gamma = 1 - 0,05 = 0,95$  можно утверждать, что расхождение между средними  $\bar{\sigma}_{уз2,1}$  и  $\bar{\sigma}_{уз2,2}$  значимо и нулевую гипотезу  $H_0$  можно отвергнуть.

Выводы:

1. Прочность ДСтП на изгиб вдоль длинной стороны больше, чем вдоль короткой.

2. При испытаниях образцов ДСтП на изгиб целесообразно проводить две серии испытаний. Одну серию выполнять на образцах, вырезанных вдоль длинной стороны, а другую серию выполнять на образцах, вырезанных вдоль короткой стороны, что подтверждает результаты, приведенные в [2].

В современных условиях никто не может отрицать важности широкого внедрения новейших методов контроля и управления качеством. Мы предлагаем для контроля качества выпускаемых ДСтП использовать так на-

зываемый интегральный метод, изложенный в [3, 4] и основанный на учете истории предприятия. Введение распределения входного уровня дефектности, определяемого в течение длительного времени, постоянно обновляемого на основе данных текущего приемочного контроля, дает возможность отказаться от принципа «уровень доверия» и перейти на приемочный контроль, учитывающий индивидуальные особенности предприятия.

Если качество продукции на предприятии высокое, технологический процесс стабилен, то нет необходимости применять жесткие методы контроля. В этом может помочь учет истории предприятия. Ослабленные планы контроля снижают риск изготовителя и дают возможность снизить издержки на процедуру контроля за счет уменьшения объема выборки и среднего объема инспекции.

В результате наблюдений за технологическим процессом и данных приемосдаточных испытаний прочности [2] получено следующее распределение входного уровня дефектности  $q \in [0, 1]$  (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Распределение входного уровня дефектности**

$q$	$v_i$	$p_i = v_i/v$
0	6	0,1
0,1	20	0,33
0,2	14	0,233
0,3	6	0,1
0,4	5	0,003
0,5	3	0,05
0,6	2	0,033
0,7	2	0,033
0,8	1	0,017
0,9	1	0
1	0	0

Здесь  $v_i$  – частота попадания значений величины  $q$  в  $i$ -й интервал,  $i = 1...k$ , где  $k = 10$  – количество интервалов.

Т а б л и ц а 2

**Исходные данные для расчета объема выборки  $n$  и приемочного числа  $c$**

Риск поставщика, $\alpha$	Риск потребителя, $\beta$	Браковочный уровень дефектности, $q_b$
0,05	0,1	0,005
0,05	0,05	0,005
0,1	0,05	0,005
0,1	0,1	0,005

Т а б л и ц а 3

Результаты расчетов программы испытаний

$\alpha$	$\beta$	$q_b$	$c$	$N$
0,05	0,1	0,005	0	24
0,05	0,05	0,005	1	28
0,1	0,1	0,005	2	21
0,1	0,05	0,005	1	26

Границы интервала  $\Delta_i = [(i - 1)/k; i/k]$ , при этом объем одной партии составлял 1 000 плит в смену, а количество мебельных заготовок на порядок больше  $N = 10\ 000$ . Будем считать, что внутри каждого интервала функция плотности распределения постоянна и равна

$$W(q_i) = p_i / \Delta q_i$$

Пусть используется план контроля с объемом выборки  $n$  и приемочным числом  $c$ . Тогда оперативная кривая плана контроля определится

$$L(q, n, c) = \frac{1}{\sigma_H \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{H_0} e^{-\frac{(h-H(q))^2}{2\sigma_H^2}} dh,$$

где  $H_0 = -c/n \cdot \ln(c/n) - (1-c/n) \ln(1-c/n)$ ,

$$H(q) = -q \ln(q) - (1-q) \ln(1-q),$$

$$\sigma_H^2 = 1/n(q \ln^2(q) + (1-q) \ln^2(1-q)).$$

Тогда вероятность принятия партии с дефектностью большей, чем  $q_b$ , равна

$$\beta = \int_0^{q_b} L(q, n, c) W(q) dq,$$

где  $\beta$ -риск потребителя.

Вероятность забраковать партию с дефектностью меньшей, чем  $q_b$ , равна

$$\alpha = \int_0^{q_b} (1 - L(q, n, c)) W(q) dq,$$

где  $\alpha$ -риск поставщика (табл. 2).

Рассчитаем для таких исходных данных неизвестные параметры: объем выборки  $n$  и приемочное число  $c$ .

Систему

$$\alpha = \int_0^{q_b} (1 - L(q, n, c)) W(q) dq \quad \beta = \int_0^{q_b} L(q, n, c) W(q) dq$$

решили с помощью специально составленной компьютерной программы, в результате получили следующие результаты (табл. 3).

В данном случае в расчетах использовался приемочный уровень дефектности  $q_{np} = 0,5 \cdot q_{op} = 0,5 \cdot 0,005 = 0,0025$ .

По существующему ГОСТу объем выборки при данном количестве листов ДСтП, выпускаемых в смену, должен составлять около 40 образцов, для чего следует раскрыть 5 плит. В нашем же случае во всех четырех вариантах требуется раскраивать по 3 плиты, получая в среднем 24 образца, что соответствует результатам [2]. Это позволяет значительно сэкономить на испытаниях.

**Библиографический список**

1. ГОСТ 10632-07. Плиты древесностружечные. Технические условия. – М.: Госстандарт России. Изд-во стандартов, 2007. – 26 с.
2. Тулузаков, Д.В. О нормировании и контроле прочности древесностружечных плит / Д.В. Тулузаков Ю.Г. Лапшин М.Н. Свириденко и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2008. – № 2(59). – С. 96–99.
3. ГОСТ 50779.52-95. Статистические методы. Приемочный контроль качества по альтернативному признаку. – М.: Госстандарт России. Изд-во стандартов, 1996. – 230 с.
4. Миттаг, Х.Й. Статистические методы обеспечения качества. Пер. с нем. / Х.Й. Миттаг, Х. Ринне. – М.: Машиностроение, 1999. – 325 с.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

А.В. ИВАНОВСКИЙ, соискатель ВГЛТА

vglta@vglta.vrn.ru

В различных конструктивных элементах, а также при некоторых операциях механической обработки древесины последняя часто испытывает не только статические, но и динамические нагрузки, при которых она деформируется (растягивается, сжимается, спрессовывается и т. п.).

Деформативность древесины при динамических нагрузках существенно отличается от деформативности при статическом нагружении. Влияние скорости нагружения на развитие и соотношение упругих, эластических и остаточных деформаций весьма значительно, и это может вносить существенные

изменения в различного рода расчеты. Однако исследования деформативности древесины при динамических нагрузках носят ограниченный характер, хотя сведения о поведении древесины при динамических нагрузках с каждым годом становятся все более необходимыми для описания различных процессов, вызывающих напряженно-деформированное состояние древесины. Например, при безопилочном резании древесины на ножерезательных станках или резании диском при быстром внедрении ножа древесина испытывает локальное напряженно-деформированное состояние, характеризующееся быстрым искажением макроструктурных элементов в зоне резания. Аналогичные процессы протекают в древесине при ее прессовании с применением динамических нагрузок.

В связи с этим представляет определенный теоретический и практический интерес исследование упруго-пластических свойств древесины при динамических нагрузках и при различном гидротермическом состоянии. Опыты проводились на сжатие вдоль волокон.

При деформировании древесины одновременно проявляются как упругие, так и остаточные деформации. При быстром приложении нагрузки к образцу замер величины остаточной, упругой и эластической деформации обычно представляет определенную трудность. Неоднородность структуры древесины, свойства различных слоев, зависимость механических свойств от временных факторов вносят определенные сложности в решение вопросов обработки древесины резанием. Древесина мягких лиственных пород механическую прочность набирает за счет продольных волокон либриформа. Тонкостенные трубкообразные членики выполняют проводящую функцию в строении древесины. Размеры названных сосудов отличаются и в пределах годовых слоев, что также указывает на сложность процессов механической обработки. Пространственное расположение волокон либриформа и трахеид относительно оси ствола образуют свилеватость древесины. Кроме того, сердцевинные лучи лиственных пород развиты значительно сильнее, чем хвойных, имеют большее количество древесной паренхимы, что особенно характерно для

быстрорастущих мягких лиственных пород: осины, клена, липы, тополя, ольхи. Для сравнения в опытных исследованиях использовалась и древесина хвойных – сосны, у которой смоляные ходы занимают до 1 % от общего объема древесины. Упругие и вязкопластические свойства древесины многие исследователи [1–3] связывают с количеством лигнина и других составляющих межклеточных мембран. При механической обработке главным энергетическим показателем древесины считают ярко выраженную для большинства пород анизотропию модуля упругости (до 20 и более раз) и предела прочности, что является главной особенностью изучаемой древесины осины.

Во многих случаях резания разрушение древесины предопределено расположением волокон, слоев и скоростью распространения упругой деформации. Достоверность проведенных экспериментальных исследований деревообработки во многом зависит от тщательной подготовки образцов, регламентированной формы, размеров и свойств. Для исследования физико-механических свойств древесины мягких лиственных пород по ГОСТ 16483.11-72 изготавливались образцы размерами 20×20×30 мм (последний размер – вдоль волокон), годовые слои которых параллельны соответствующей паре граней.

Объектом исследований являлась мягколиственная древесина осины, тополя, ольхи, липы. Такая быстрорастущая древесина набирает объемы переработки во всем мире в связи с увеличивающимся дефицитом твердолиственной и хвойной. Глубокому промышленному освоению низкосортной мягколиственной древесины препятствует практически полное отсутствие сведений о ее упруго-пластических свойствах.

Для измерения влажности использовался влагомер ЭВ8-100 с погрешностью измерений до 1 %. Исходную влажность всех образцов доводили до 8 % в сушильном шкафу с естественной циркуляцией воздуха в соответствии с требованиями ГОСТ 215234-77. Аналогичным стандартом оценивались количество, точность изготовления и шероховатость поверхности образцов. Согласно рекомендациям комиссии по стандартизации, для показателей физико-механических свойств

древесины стандартная влажность принята равной 12 %. Поэтому испытания должны проводиться при влажности древесины, близкой стандартной (11–13 %). После окончания испытаний немедленно определялась фактическая влажность образцов и подсчитанные показатели механических свойств приводились к стандартной влажности 12 %. Для пересчета показателей механических свойств использовалась формула [1]

$$B_{12} = Bw[1 + \alpha(w-12)], \quad (1)$$

где  $B_{12}$  – показатель данного свойства при 12 % влажности древесины;

$Bw$  – то же при влажности  $w$ ;

$w$  – влажность древесины в момент испытаний, %;

$\alpha$  – поправочный коэффициент на влажность (приводится в стандартах).

Если образцы во время испытаний имели влажность 30 % и более, то использовалась формула

$$B_{12} = b_{30}k, \quad (2)$$

где  $b_{30}$  – показатель свойств при 30 % влажности и более;

$k$  – пересчетный коэффициент на влажность (приводится в стандартах).

Температура в лаборатории должна быть  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Испытания проводились с использованием древесины осины, ольхи, липы различной влажности, длины и толщины. Необходимое число наблюдений случайной величины, примерно следующей закону нормального распределения, рассчитывалось итерационным способом по формуле и составило 15

$$N = tu^2/\delta^2, \quad (3)$$

где  $t$  – квантиль распределения Стьюдента, выбираемый из статистических таблиц по числу степеней свободы и доверительной вероятности;

$u$  – коэффициент изменчивости случайной величины, выраженный в долях единицы;

$\delta$  – относительная ошибка выборочного среднего, являющаяся отношением доверительного интервала к выборочному среднему.

Допустимая относительная ошибка в наших исследованиях принималась априорно, для прикладных исследований – 5 %. Выбор образцов проводился по ГОСТ 9629–85,

их количество подсчитывалось в соответствии с требованиями ГОСТ 16483.0–80 при коэффициенте вариации влажности, не превышающей 15 %. Статистическая обработка опытных данных выполнялась в соответствии с ГОСТ 16483.0–80. Плотность древесины на образцах после динамического воздействия проводилась на технологических весах ВЛК – 500. Плотность древесины (базисная) рассчитывалась по формуле

$$\rho_\delta = m_0 / V_{\max}, \quad (4)$$

где  $m_0$  – масса образца в абсолютно сухом состоянии, кг;

$V_{\max}$  – объем образца при влажности, равной и больше предела насыщения клеточных оболочек  $\text{м}^3$ .

Результат вычислялся с округлением до  $5 \text{ кг/м}^3$ .

Для замера усилий, возникающих при ударных нагрузках, часто используют маятниковые и вертикальные копры. Маятниковые копры более трудоемки в обслуживании, менее точны и технически более сложны. Для фиксирования величины остаточной деформации иногда применяют крешеры, представляющие собой небольшие цилиндры из мягких металлов, например из алюминия, меди и т.п. Однако крешерный метод с применением металлов требует сложной тарировки крешеров и графического дифференцирования диаграммы работы. Существуют и другие методы, например лаковых покрытий и делительных сеток. Однако эти методы не обеспечивают достаточной точности эксперимента.

В наших опытах для замера упругих, остаточных и суммарных упругопластических деформаций был применен крешерный метод, где в качестве крешера вместо мягких металлов применялся пластилин. Кроме этого применялся метод механической регистрации деформаций. Эти способы позволяют фиксировать крайнее (начальное), крайнее нижнее (при максимальном сжатии) и промежуточное (после частичной распрессовки) положения нижней рабочей кромки пуансона, а следовательно, и подсчитывать величины всех трех видов деформаций.

Схема экспериментальной установки, представляющей собой вертикальный копер, показана на рис. 1.

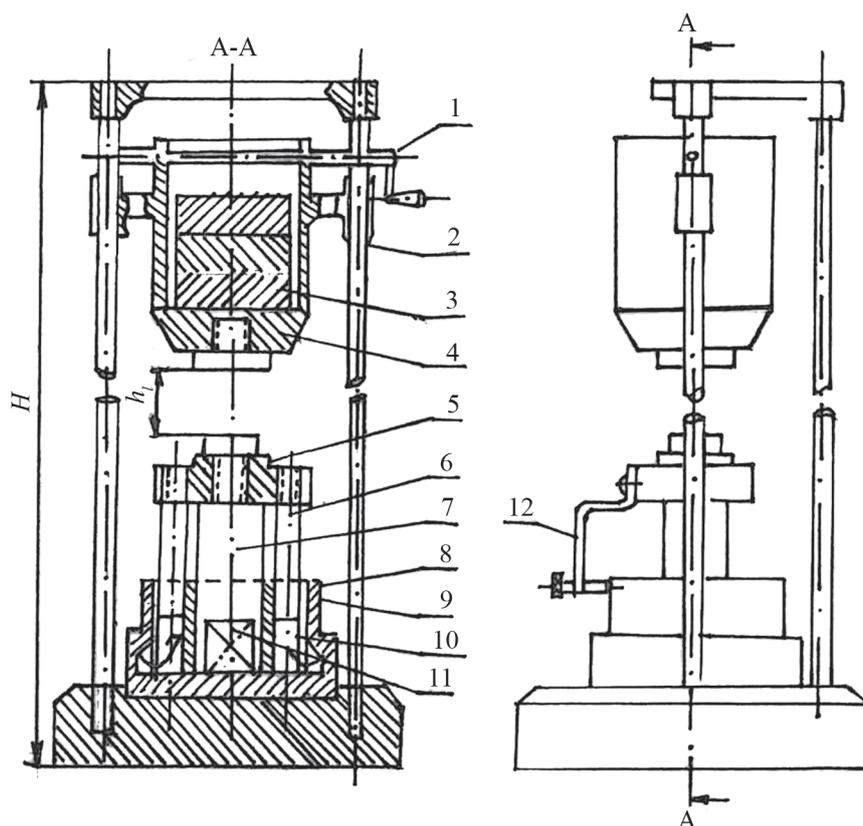


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Установка состоит из станины 2, ударника 4, в котором размещается груз 3, фиксатора 1, удерживающего ударник в верхнем положении, и пресса, состоящего из бойка 5, направляющих штоков 6, пуансона 7, матрицы 8, обоймы 9, крешера 10, представляющего собой столбик пластилина и регистрирующего приспособления 12. Позиция 11 показывает место и положение испытываемого образца древесины.

Установка работает следующим образом. При повороте фиксатора 1 на 90 ударник 4 вместе с грузом 3 падает вниз и передает импульс тепла бойку 5, который через пуансон 7 снижает образец 11. Направляющие штоки 6 предварительно устанавливаются с таким расчетом, чтобы нижние торцовые плоскости были на одном уровне с нижней кромкой пуансона. При движении бойка вниз направляющие штоки вытесняют столбики пластилина через отверстия в каналы, расположенные в обойме 9. Нижний уровень столбика пластилина фиксирует крайнее нижнее положение рабочей нижней кромки пуансона. Он в момент максимального сжатия характеризуется суммарной упруго-пластической деформацией

образца. При снятии ударника с грузом образец частично распрессовывается. Затем образец вынимается из матрицы, выдерживается в свободном состоянии в течение суток и измеряется его высота. Дополнительно для фиксирования различных положений рабочей кромки пуансона, т.е. до опыта, в момент максимального сжатия образца и после его частичной распрессовки применяется еще механическое реагирующее устройство 12, состоящее из кронштейна и винта с заостренным концом. При движении бойка вниз винт своим заостренным концом прочерчивает на площадке обоймы линию, тем самым отмечает различные положения верхней плоскости образца.

Такое дублирование замеров деформации повышает надежность и точность эксперимента. После каждого опыта прочерченная на площадке обоймы линия затирается, а столбики пластилина восстанавливаются путем заполнения вертикальных каналов в матрице. Образцы вырезались из центральной зоны чурака с размерами: вдоль волокон 30 мм, по тангентальному направлению 20 мм. Площадь рабочего сечения образца составляет 4 см<sup>2</sup>.

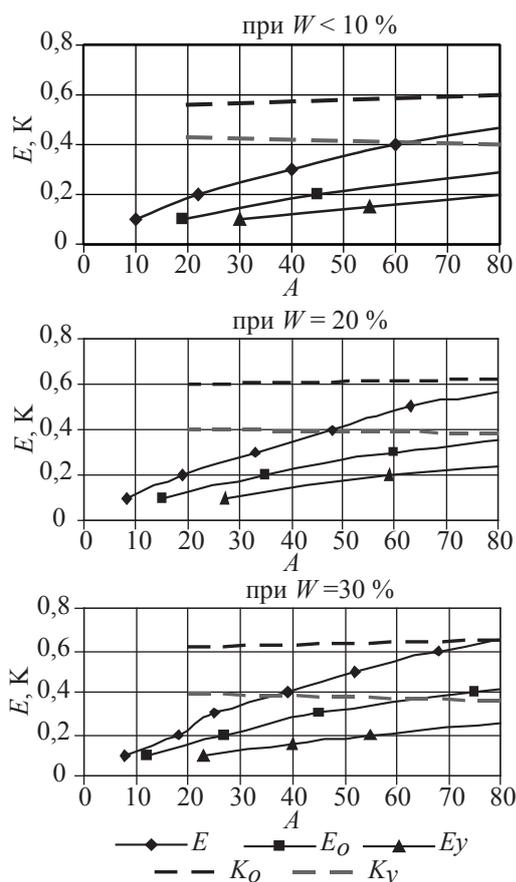


Рис. 2. Зависимость упругих  $E_y$ , остаточных  $E_0$  и суммарных  $E$  деформаций и реологических коэффициентов ( $K_y, K_0$ ) от удельной работы  $A$

Т а б л и ц а 1

**Реологические коэффициенты упругости и пластичности мягколиственной древесины**

Коэффициенты	Порода	Влажность древесины, %		
		10	20	30
$K_y$	Ольха	0,48	0,47	0,44
	Осина	0,45	0,40	0,35
	Липа	0,42	0,39	0,33
$K_0$	Ольха	0,72	0,74	0,79
	Осина	0,61	0,64	0,68
	Липа	0,55	0,58	0,60

Образцы предварительно подвергались обработке, т.е. доводились до требуемой влажности температуры путем выдерживания в климатической камере. Перед испытанием образцы замерялись с точностью до 0,1 мм микрометром, а после испытания проверялась их влажность стандартным методом. По каждому опыту испытывалось 15 образцов и подсчитывалась среднеарифметическая величина деформации.

Деформация образца определялась по следующим формулам.

$$\text{Суммарная} - E = (h - h_c) / h; \quad (5)$$

$$\text{Упругая} - E_y = (h_p - h_c) / h; \quad (6)$$

$$\text{Остаточная} - E_0 = (h - h_p) / h, \quad (7)$$

где  $h$  – высота образца до испытания;

$h_c$  – высота образца при максимальном сжатии,

$h_p$  – высота образца после распрессовки.

Работа свободного падения ударника (удельная работа), приходящаяся на 1 см<sup>2</sup> поперечного сечения образца, определялась по формуле

$$A = m \cdot g \cdot h_i / F, \text{ Дж / сек}^2, \quad (8)$$

где  $m$  – масса ударника с грузом, кг,

$g$  – ускорение силы тяжести, м /сек<sup>2</sup>,

$F$  – площадь сечения образца, см<sup>2</sup>,

$h_i$  – высота падения ударника, м.

Испытано по три партии образцов из древесины осины, липы, ольхи с влажностью 10, 20 и 30 %. После каждого опыта образцы просматривались через микроскоп для определения их состояния. Разрушенные образцы исключались из расчета статистических показателей.

На основании полученных результатов и расчетов реологических коэффициентов построены графики упругости и пластичности от удельной работы.

На рис. 2 графически представлены зависимости упругих  $E_y$ , остаточных  $E_0$  и суммарных  $E$  упруго-пластических деформаций от удельной работы  $A$ . Графики на рис. 2а построены по опытными данным для образцов с влажностью  $W = 10 \%$ ; на рис. 2в с влажностью  $W = 20 \%$  и на рис. 2с с влажностью  $W = 30 \%$ .

Мы видим, что все кривые деформаций носят параболический характер. Значения реологических коэффициентов упругости  $K_y$  и пластичности  $K_0$  подсчитывались соответственно по формулам

$$K_y = E_y / E; k_0 = E_0 / E. \quad (9, 10)$$

Зависимость этих коэффициентов от удельной работы для древесины осины представлена графически на рис. 2.

Из графиков видно, что с увеличением удельной работы и влажности древесины коэффициент пластичности несколько возрастает, а упругости – снижается, что подтверждается и исследованиями В.А. Шамаева.

Точные усредненные коэффициенты даны в табл. 1.

Результаты исследований показывают, что при удельных нагрузках в образце древесины осины при ее сжатии в осевом направлении возникают одновременно как упругие, так и остаточные деформации. При этом величина относительных остаточных деформаций при всех значениях удельной нагрузки превышает величину упругих деформаций. С увеличением удельной нагрузки все три вида деформаций возрастают с постоянным замедлением, которое объясняется повышением плотности древесины по мере ее упрессовки. С повышением влажности древесины с 10 до 30 % деформативность древесины возрастает, что подтверждается увеличением всех трех видов деформаций.

Степень участия упругих и остаточных деформаций при деформировании древесины характеризуется реологическими коэффициентами.

На рис. 3 представлены микросрезы образцов до и после деформирования.

Хорошо видно, что даже при небольшой удельной нагрузке стенки сосудов древесины осины сильно деформируются, что указывает на появление остаточных деформаций. При увеличении ударной нагрузки сосуды лопаются и возможно разрушение образцов уже при  $A = 80 \text{ Дж} / \text{см}^2$ .

**Заключение.** Полученные результаты экспериментальных исследований по определению упруго-пластических свойств древесины мягких лиственных пород при различной влажности имеют большое теоретическое и практическое значение в условиях увеличения доли промышленной переработки такой древесины.

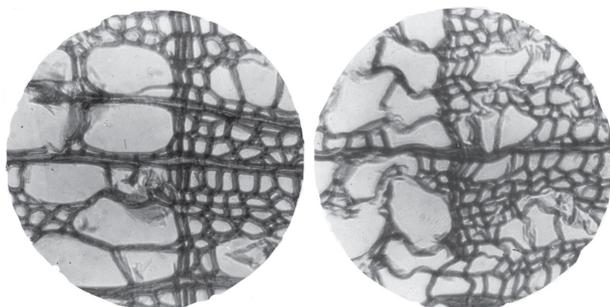


Рис. 3. Микроструктуры образцов осины до и после деформирования

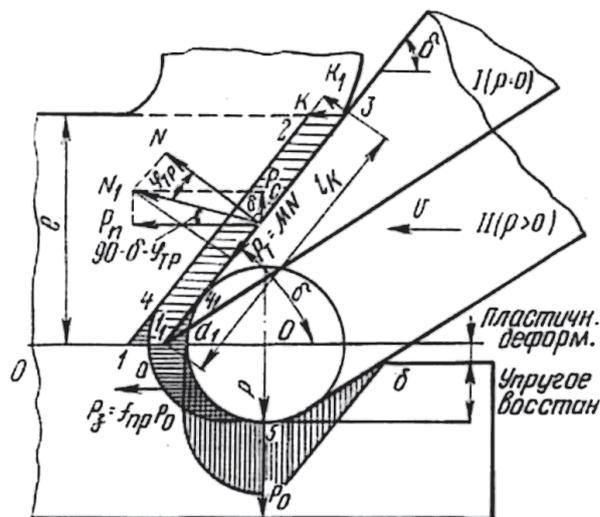


Рис. 4. Взаимодействие резца с древесиной

Теоретическое значение заключается в возможности более точного определения силы резания, действующей по задней поверхности реального резца с учетом упруго-пластической деформации мягколиственной древесины [5]. На рис. 4 представлена схема взаимодействия острого резца с древесиной. На заднюю поверхность резца в направлении резания действует сила резания по задней поверхности резца, равная

$$P_z = (\mu + K_o K_o) P_o = f_{np} P_o, \quad (11)$$

где  $P_o$  – общая сила резания резцом;

$P_z$  – сила резания, действующая по задней поверхности резца;

$\mu$  – коэффициент трения по задней поверхности резца, равный 0,18–0,3;

$f_{np}$  – суммарный (приведенный) коэффициент, учитывающий трение древесины по задней поверхности реза и упруго-пластическую деформацию древесины под линией раздела О-О (рис. 4).

По известной силе резания можно точнее установить величину необходимых деформирующих усилий в процессах бесстружечного резания и прессования древесины мягких лиственных пород без неконтролируемого разрушения стенок сосудов древесины.

Практическое значение проведенных изысканий направлено на снижение энергоемкости в процессах прессования и деформирующей обработки мягколиственной древесины, а также на повышение производительности и качества обработанных поверхностей древесины в названных процессах.

Полученные реологические коэффициенты для мягколиственной древесины необходимо учитывать при проектировании технологических операций и инструментов бесстружечного деления древесины.

Для стружечных способов механической обработки древесины найденные значения нужны при проектировании инструментов, адаптированных для резания мягколиственной древесины, при выборе угловых и линейных параметров инструментов. Уточненные значения реологических коэффициентов упругости и пластичности мягколиственной древесины позволяют увеличить производительность разделительных операций на 15–20 % за счет снижения энергоемкости и

трудоемкости, а также улучшит качество обработанных поверхностей на 10–15 %.

#### Библиографический список

1. Серговский, П.С. Гидротермическая обработка древесины / П.С. Серговский. – М.: Гослесбумиздат, 1958. – 360 с.
2. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.
3. Хухрянский, П.Н. Прессование древесины / П.Н. Хухрянский. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 248 с.
4. Шамаев, В.А. Модификация древесины / В.А. Шамаев. – М.: Экология, 1990. – 120 с.
5. Бершадский, А.Л. Резание древесины / А.Л. Бершадский, Н.И. Цветкова. – Минск: Высшая школа, 1975. – 303 с.

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В.М. ПОПОВ, *проф. каф. электротехники, теплотехники и гидравлики ВГЛТА, д-р техн. наук*,  
А. В. ИВАНОВ, *асп. каф. электротехники, теплотехники и гидравлики ВГЛТА*,  
М.А. ШЕНДРИКОВ, *асп. каф. электротехники, теплотехники и гидравлики ВГЛТА*

*vglta@vglta.vrn.ru*

Синтетические клеи и смолы находят широкое применение в деревообрабатывающей промышленности. Современное производство фанеры, мебели, строительных конструкций нельзя представить без использования клеев. Основным критерием качества клеевых соединений является прочность. Для повышения прочности клеевого шва разрабатываются новые клеи.

Экспериментально было установлено [1], что путем воздействия на склеиваемую пару из древесины постоянным магнитным полем на стадии отверждения клеевой прослойки формируется клеевое соединение с более высокой прочностью, чем при обычно предлагаемой в производстве технологии склеивания. Полученный эффект объясняется образованием под действием магнитного поля упорядоченной структуры полимера. Об этом свидетельствуют снимки, полученные с помощью микроскопа. Предлагаемая технология наряду с достоинствами в условиях деревообрабатывающих производств не всегда может быть реализована при склеивании

крупногабаритных изделий. В данной статье приводится более рациональный метод, когда в магнитном поле обрабатывается полимерный компонент клея. На установке, описанной в патенте [2], производилась обработка в постоянном магнитном поле полимерных компонентов, широко применяемых в деревообработке отечественных клеев КФЖ, ПВА и зарубежного Супротерм 436. Напряженность магнитного поля не превышала  $24 \cdot 10^4$  А/м, поскольку, как показывает экспериментально проведенное исследование, более высокая напряженность не влияет на свойства полимера. Исследованиями также установлено оптимальное значение времени обработки порядка 20 минут. Полученный полимерный компонент клея затем соединялся с отвердителем и образовавшая композиция наносилась на поверхность склеиваемой пары стандартных образцов из дуба, применяемых для исследования прочности склеек на скалывание.

Результаты проведенных испытаний склееных образцов на разрывной машине РМ 5 приведены в таблице.

Т а б л и ц а

**Зависимость предела прочности склеенных образцов на скалывание  $\tau$  от напряженности магнитного поля  $H$**

Напряженность поля, НЧ10-4 А/м	Клей		
	КФЖ $\tau$ , МПа	ПВА $\tau$ , МПа	Супротерм 436 $\tau$ , МПа
0	2,7	6,5	2,7
3	3,0	7,0	2,9
6	3,2	7,2	3,2
9	4,5	7,5	3,7
12	6,1	7,9	4,2
15	7,8	8,2	4,7
18	10,6	8,7	5,0
21	11,4	8,7	5,1
24	11,5	8,7	5,1

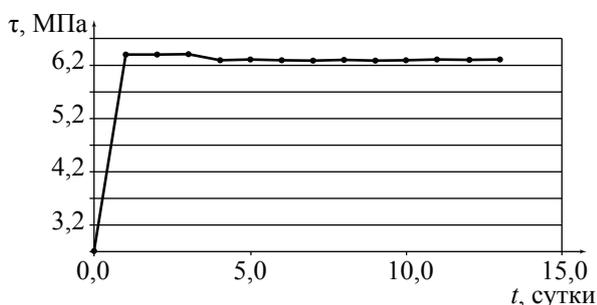


Рисунок. Зависимость предела прочности на скалывание клеювого соединения древесины на основе магнитнообработанного полимерного компонента клея КФЖ от времени хранения

Как видно из таблицы, для всех исследованных клеев обработка полимерного компонента в постоянном магнитном поле сопровождается повышением прочности склеенной древесины. Так, для клея КФЖ прочность склейки увеличивается более чем в три раза.

Для применения предлагаемой технологии непосредственно на деревообрабатывающих производствах необходима информация о жизнеспособности магнитнообработанного полимерного компонента. С этой целью проведены специальные исследования, результаты которых представлены на рисунке.

Как видно, полученные в процессе магнитной обработки полимерного компонента свойства сохраняются в течение почти 15 суток.

Условия создания ряда изделий из древесины требуют применения полимерных клеев с повышенной прочностью, а также безопасных для здоровья человека. В то же время применяемые в настоящее время методы склеивания не решают вопросы увеличения прочности и долговечности клеювого соединения.

В заключение следует отметить, что данная технология, реализованная на принципах нанотехнологий, открывает возможность проводить магнитную обработку полимерного компонента клея как на стадии его изготовления, так и в условиях деревообрабатывающего предприятия.

**Библиографический список**

1. Попов, В.М. Интенсивная технология получения клеювой древесины повышенной прочности / В.М. Попов, А.В. Иванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2007. – № 4(53). – С. 89–91.
2. Патент РФ № 2328788, H01F 13/00 (2006.01). Устройство для намагничивания/ В.М. Попов, А.В. Иванов, В.С. Мурзин, А.П. Новиков, В.В. Шестакова, А.В. Латынин №2007115746/09; Приоритет от 25.04.2007; Опубликовано 10.07.2008. Бюл № 19. – 4с.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДЛИНЫ И ШИРИНЫ ВОЛОКОН ЛИБРИФОРМА ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И БЕРЕЗЫ КАРЕЛЬСКОЙ**

Т.А. СВИРИДОВА, *асп. каф. садово-паркового и ландшафтного строительства БрГИТА*,  
 Е.Н. САМОШКИН, *проф. каф. садово-паркового и ландшафтного строительства БрГИТА*,  
*д-р биол. наук*

*mail@bgita.ru*

Известно [2, 3, 4], что каждый вид листовенного древесного растения, содержащий волокна либриформа (типичные прозенхимные, т.е. вытянутые клетки с заостренными концами, узкими полостями и

мощными стенками с простыми щелевидными порами), характеризуется их определенными размерами. Длина волокон либриформа служит одним из критериев оценки качества древесины.

**Изменчивость длины и ширины волокон либриформа древесины березы**

Место взятия образца древесины	Длина волокон либриформа			Ширина волокон либриформа		
	$M_x \pm m_{Mx}$ , мм	$\sigma_x$ , мм	$C_x$ , %	$M_x \pm m_{Mx}$ , мкм	$\sigma_x$ , мкм	$C_x$ , %
Береза повислая						
Ствол нормального дерева (контроль)	1,51±0,02	0,20	12,9	26,53±0,45	4,90	18,6
Переход от ствола к капю	0,84±0,03	0,34	40,6	21,36±0,37	4,08	18,9
Кап из-под коры (последние слои прироста сняты)	1,04±0,02	0,24	23,1	18,72±0,33	3,71	19,7
Наиболее «закрученная» древесина капа	0,78±0,03	0,34	42,9	20,76±0,43	4,75	23,0
Береза карельская						
В центре ствола (около сердцевины) – контроль	0,76±0,01	0,14	18,9	19,86±0,39	4,23	21,2
1,0 см от сердцевины	0,77±0,01	0,14	18,2	17,96±0,37	3,71	20,6
2,0 см от сердцевины	0,84±0,02	0,18	21,7	19,52±0,37	4,23	21,7
2,6 см от сердцевины	0,85±0,02	0,18	20,9	18,25±0,37	3,71	20,3
3,7 см от сердцевины	0,96±0,02	0,22	23,2	20,85±0,45	4,45	21,5

Признаки древесины обладают малой и медленной изменчивостью [1]. В связи с этим нами проанализирована изменчивость длины и ширины волокон либриформа березы повислой и березы карельской. Древесина этих видов широко используется в производстве.

Образцы березы повислой взяты из древесины ствола и капа, березы карельской – из древесины ствола от сердцевины (по радиусу) к коре. Разделение на раннюю и позднюю древесины не проводилось, т. к. у березы годовичные слои имеют однородное строение [3].

Из образцов древесины лезвием безопасной бритвы готовили древесную стружку. Затем ее мацерировали в смеси измельченного  $K_2Cr_2O_7$  и крепкой  $H_2SO_4$  при  $t = +18 \pm 3^\circ C$  в течение 2–3 дней, чтобы растворить пектины и вызвать распад механической ткани на отдельные волокна либриформа. Микропрепараты для просмотра под микроскопом МБИ-6 (увеличение 7Ч 2,5Ч 9Ч) готовили в капле воды. В каждом образце измеряли длину и ширину волокон либриформа. Принятое количество измерений ( $n = 121$ ) обеспечило необходимую точность опыта ( $P_x$ ): длины волокон березы повислой – 1,2–3,9 %, ширины – 1,7–2,1 %; длины волокон березы карельской – 1,7–2,1 %, ширины – 1,8–2,0 %.

Вычисляли:  $M_x \pm m_{Mx}$ ,  $\sigma_x$ , коэффициент вариации ( $C_x$ ),  $P_x$ .

Существенность различий  $M_x \pm m_{Mx}$  определяли по  $t$ -критерию Стьюдента с уче-

том трех доверительных уровней:  $P = 95,0 \%$ ;  $P = 99,0 \%$ ;  $P = 99,9 \%$  [2].

Анализ результатов (таблица) показал, что длина и ширина волокон либриформа зависят от места взятия образца.

У березы повислой наибольшая длина волокон либриформа ( $1,51 \pm 0,02$  мм) отмечена в древесине ствола нормального дерева (контроль), в месте перехода от ствола к капю волокна в 1,8 раза короче ( $t_{факт} = 18,52 > t_{табл}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), еще короче (в 1,9 раза) – в наиболее «закрученной» части капа ( $t_{факт} = 20,69 > t_{табл}$ ,  $P = 99,9 \%$ ). В капе из-под коры волокна короче контроля в 1,5 раза ( $t_{факт} = 16,29 > t_{табл}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), но в 1,3 раза длиннее волокон из наиболее «закрученной» части капа ( $t_{факт} = 7,02 > t_{табл}$ ,  $P = 99,9 \%$ ). В месте перехода от ствола к капю волокна в 1,2 раза короче, чем в капе из-под коры ( $t_{факт} = 5,29 > t_{табл}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), но существенно не различаются с волокнами из наиболее «закрученной» части капа ( $t_{факт} = 1,39 < t_{табл}$ ).

Наибольшая ширина волокон либриформа ( $26,53 \pm 0,45$  мкм) березы повислой зафиксирована в древесине ствола нормального дерева (контроль), меньше (в 1,2 раза) – в месте перехода от ствола к капю ( $t_{факт} = 8,91 > t_{табл}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), еще меньше (в 1,3 раза) – в наиболее «закрученной» части капа ( $t_{факт} = 9,32 > t_{табл}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), но самая малая ширина – в капе из-под коры:  $t_{факт} = 14,03 > t_{табл}$ ,  $P = 99,9 \%$ . В месте перехода от ствола к капю волокна либриформа не отличались по ширине от волокон наибо-

лее «закрученной» части (различие недостоверно:  $t_{\text{факт}} = 1,06 < t_{\text{табл}}$ ), но существенно (в 1,2 раза) превысили волокна капа из-под коры ( $t_{\text{факт}} = 5,29 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ). Ширина волокон из наиболее «закрученной» части капа больше (в 1,1 раза) ширины волокон из-под коры:  $t_{\text{факт}} = 3,75 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ .

Самая высокая вариабельность длины волокон либриформа березы повислой ( $C_x = 42,9\%$ ) отмечена в наиболее «закрученной» части капа (длина волокон – минимальная), ниже – в месте перехода от ствола к капу, еще ниже – в капе из-под коры. Минимальная вариабельность длины ( $C_x = 12,9\%$ ) и ширины ( $C_x = 18,6\%$ ) волокон либриформа зафиксирована в древесине ствола нормального дерева при наибольшей длине и ширине волокон либриформа. Большая вариабельность ширины волокон обнаружена в месте перехода от ствола к капу и в капе из-под коры. Самая высокая вариабельность ( $C_x = 23\%$ ) ширины волокон – в наиболее «закрученной» части капа.

Наименьшая длина волокон либриформа березы карельской ( $0,76 \pm 0,01$  мм) – около сердцевин (контроль); на расстоянии 1 см существенно не отличалась ( $t_{\text{факт}} = 0,33 < t_{\text{табл}}$ ), хотя ширина достоверно (на 9,6 %) уменьшена ( $t_{\text{факт}} = 3,56 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ).

В 1 см от сердцевин длина волокон превысила на 10,5 % контроль ( $t_{\text{факт}} = 3,78 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ), но ширина осталась на уровне контроля ( $t_{\text{факт}} = 0,65 < t_{\text{табл}}$ ). Длина волокон на расстоянии 2,6 см от сердцевин больше контроля на 12 % ( $t_{\text{факт}} = 4,66 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ), но ширина – на 8 % меньше ( $t_{\text{факт}} = 3,01 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0\%$ ).

В 2 см от сердцевин длина ( $t_{\text{факт}} = 3,49 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ) и ширина ( $t_{\text{факт}} = 2,97 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,0\%$ ) волокон на 9 % больше, чем в 1 см.

В 2,6 см от сердцевин длина волокон больше на 10 % ( $t_{\text{факт}} = 4,37 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ), чем в 1 см, но ширина достоверно не отличалась ( $t_{\text{факт}} = 0,57 < t_{\text{табл}}$ ).

В 3,7 см от сердцевин длина волокон превысила контроль на 26 % ( $t_{\text{факт}} = 8,51 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ), ширина – только на 5 % (различие недостоверно:  $t_{\text{факт}} = 1,68 < t_{\text{табл}}$ ).

В 3,7 см от сердцевин волоконна значительно больше (на 25 % – по длине и 16 % – по ширине), чем в 1 см ( $t_{\text{факт}}$  по

длине = 8,26;  $t_{\text{факт}}$  по ширине = 5,00 >  $t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ).

Волокна на расстоянии 2,6 см от сердцевин не отличались по длине ( $t_{\text{факт}} = 0,80 < t_{\text{табл}}$ ) от волокон на 2 см, хотя ширина их на 6,5 % уменьшена ( $t_{\text{факт}} = 2,41 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0\%$ ). Длина волокон в 3,7 см от сердцевин существенно превысила этот показатель: в 2 см от сердцевин – на 14,3 % ( $t_{\text{факт}} = 4,88 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ), в 2,6 см – на 13 % ( $t_{\text{факт}} = 4,18 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ); ширина, соответственно, – на 6,8 % ( $t_{\text{факт}} = 2,30 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95,0\%$ ) и 14 % ( $t_{\text{факт}} = 4,48 > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ).

Вариабельность ( $C_x$ , %) длины волокон березы карельской – средняя и высокая, ширины – высокая, слабо увеличивается от сердцевин к коре;  $C_x$  варьирует в соответствии с  $C_x$ .

Древесина березы повислой и березы карельской изменчива не только по длине и ширине волокон либриформа, но и по их форме: в основном это изгибы, раздвоенные окончания.

Таким образом, каповая древесина березы повислой характеризуется меньшей длиной и шириной волокон либриформа по сравнению с древесиной ствола нормального дерева, но высокой их вариабельностью. Длина волокон либриформа березы карельской постоянно увеличивается от сердцевин по радиусу ствола, по ширине волокон четкой закономерности не установлено.

### Библиографический список

1. Вихров, В.Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба в связи с условиями произрастания / В.Е. Вихров. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1950. – 110 с.
2. Зайцев, Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
3. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.
4. Эзау, К. Анатомия семенных растений / К. Эзау; под ред. А.Л. Тахтаджяна; пер. с англ. Кн. 1. – М.: Мир, 1980. – 218 с.
5. Яценко-Хмелевский, А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины / А.А. Яценко-Хмелевский. – М.-Л.: АН СССР Ин-т леса, 1954. – 337 с.

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ НА СВОЙСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ

С.М. ТАРАСОВ, доц. каф. химической технологии древесины и полимеров МГУЛ, канд. техн. наук

*starasov@mgul.ac.ru*

Использование карбамидоформальдегидных олигомеров (КФО) в технологии производства бумажно-картонных материалов достаточно известно [1, 2], однако широкого промышленного распространения оно не получило по ряду причин. Главными из них являются такие недостатки КФО, как высокая хрупкость самих КФО и материалов, в композицию которых они входят, а также низкая влагостойкость и возможность выделения свободного формальдегида. По мнению авторов, наиболее действенным решением данной проблемы является модификация КФО, при этом выбранный модификатор должен полностью или частично устранять вышеуказанные недостатки [3, 4].

В связи с обозначившейся в последние годы мировой тенденцией к увеличению доли использования вторичного волокнистого сырья в производстве бумаги и картона, особенно тароупаковочных видов, для которых эта доля приближается к 100 %, актуальным является вопрос повышения их прочностных характеристик [5]. Это связано с тем, что потенциал собственной прочности вторичного волокна весьма ограничен, поэтому требуемая прочность изготовленного из него материала достигается использованием различных упрочняющих добавок, как вводимых в волокнистую массу, так и наносимых на поверхность готового материала.

Использование КФО для поверхностной обработки бумаги и картона из 100 % вторичного волокнистого сырья (макулатуры) и, в частности, элементов гофрокартона – картона для плоских слоев (картона-лайнера) и бумаги для гофрирования (гофробумаги) – является новым технологическим решением в производстве данной продукции. В настоящее время оно проходит отработку в лабораторных условиях. Для опытов был выбран КФО, полученный по оригиналь-

ной методике, где в качестве модификаторов использовались катионный крахмал марки «MYLBOND 143» (КК) и поливиниловый спирт (ПВС) в соотношении 1:1. Выбор модификаторов был обусловлен их собственной высокой эффективностью для поверхностной обработки бумаги, а также их специфическими химическими свойствами, необходимыми для успешного протекания процесса синтеза и получения достаточно стабильного продукта. Мольное соотношение формальдегида и карбамида составляло 2:1, содержание модификатора – 4 %.

Наиболее общая формула полученного олигомера приведена на рис. 1. Следует отметить вероятностный характер связей, возникающих в процессе конденсации компонентов в процессе протекания синтеза. Содержание свободного формальдегида сразу после синтеза олигомера составляло 0,5–0,7 %, а после выдержки в течение 5 дней не превышало 0,3 % для всех образцов. Имеется возможность снижения его содержания и до более низких значений.

Исследования проводились в МГУЛ и ЦНИИБ. Образцы картона-лайнера и гофробумаги изготавливались на лабораторном листоотливном аппарате. Волокнистое сырье – смесь макулатуры марок МС–6 и МС–7, степень помола массы – 28–30°ШР. Картон и бумага изготавливались массой 140 г/м<sup>2</sup>. В волокнистую массу в следующей последовательности вводились химические вспомогательные средства (ХВС):

– для картона-лайнера: катионный крахмал – 8 кг/т; укрепленный клей-паста – 5 кг/т; сернокислый глинозем – 30 кг/т; катионный полиакриламид – 0,1 кг/т; рН массы 6,8–7,0;

– для гофробумаги: катионный крахмал – 3 кг/т; укрепленный клей-паста – 2 кг/т; сернокислый глинозем – 20 кг/т; катионный полиакриламид – 0,1 кг/т; рН массы 6,8–7,0.

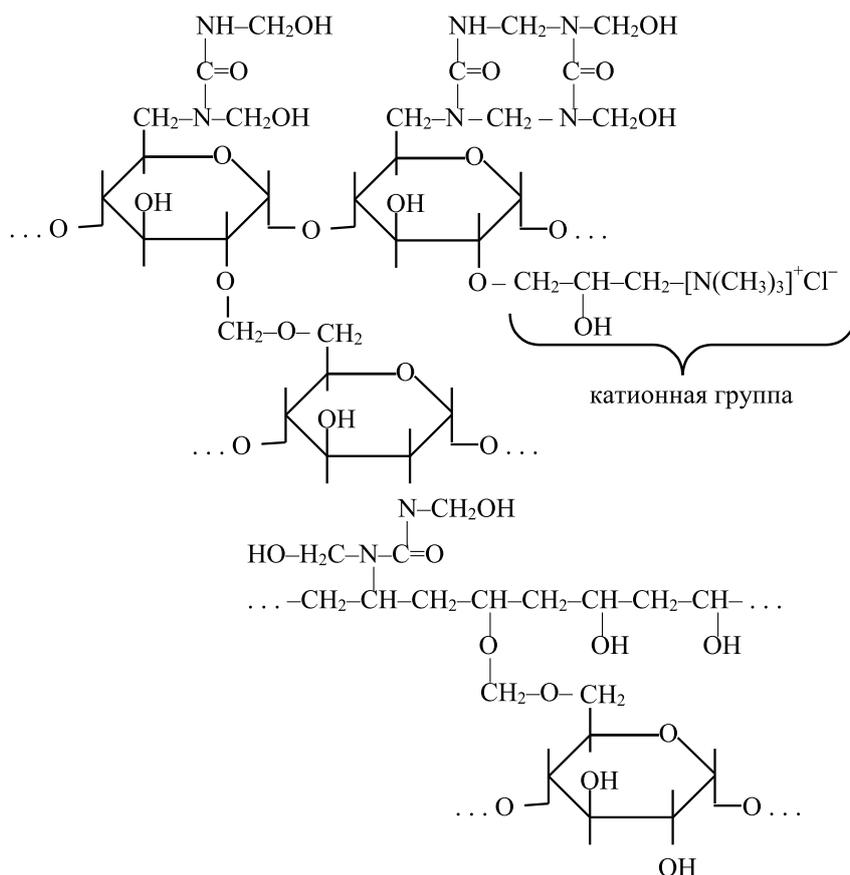


Рис. 1. Общая формула КФО-олигомера, модифицированного катионным крахмалом и поливиниловым спиртом

Т а б л и ц а  
**Физико-механические показатели образцов картона-лайнера (К) и бумаги для гофрирования (Б)**

Расход олигомера, кг/т	Физико-механические показатели									
	Поверхностная впитываемость, г/м <sup>2</sup>		Сопротивление продавливанию, кПа		Сопротивление разрыву, Н		Сопротивление излому, ч.д.п.		Влагопрочность, Н (%)	
	К	Б	К	Б	К	Б	К	Б	К	Б
0	38	75	3,2	2,9	78	70	4	3	3 (3,8)	2 (2,9)
5	35	71	3,6	3,3	85	78	5	4	7 (8,2)	5 (6,4)
10	32	67	3,8	3,6	89	84	6	5	11 (12,4)	8 (9,5)
15	29	64	4,0	3,8	93	89	7	6	15 (16,1)	12 (13,5)
20	26	61	4,2	4,0	97	93	8	7	19 (19,6)	16 (17,2)
25	23	58	4,4	4,2	101	96	9	8	23 (22,8)	20 (20,8)
30	21	55	4,4	4,3	102	96	9	8	26 (25,5)	24 (25,0)
35	19	52	4,5	4,3	102	96	8	7	29 (28,4)	28 (29,2)
40	17	50	4,4	4,3	101	95	7	6	32 (32,0)	31 (32,6)
45	15	48	4,4	4,2	100	94	7	5	35 (35,0)	34 (36,1)
50	14	46	4,3	4,2	98	93	6	5	38 (38,8)	37 (39,8)
55	13	45	4,3	4,1	96	92	6	4	41 (42,7)	39 (42,4)
60	12	44	4,2	4,1	94	90	5	3	43 (45,7)	41 (45,6)

После изготовления образцы подвергались поверхностной обработке на лабораторной модели клеильного пресса, а после обработки дополнительно досушивались в сушильном шкафу при температуре 110 °С в течение 5 мин. Средние значения физико-механических показателей полученных образцов приведены в таблице.

С увеличением расхода олигомера значительно возрастают такие показатели, как гидрофобность, что характеризуется как уменьшение поверхностной впитываемости и сопротивление продавливанию. Сопротивление разрыву также увеличивается, но в меньшей степени. Наиболее интенсивное возрастание всех физико-механических показателей наблюдается при увеличении наноса олигомера до 25–30 кг/т. Это явление может быть объяснено так, что при относительно небольших расходах олигомер работает как классическое связующее, и при механическом воздействии на материал происходит в основном адгезионный разрыв (связь «волоконно-связующее»), либо разрыв самих волокон. При избытке олигомера (нанос более 30 кг/т)

разрыв в поверхностных слоях в основном когезионный, то есть происходит в толще отвержденного олигомера, характеризующегося при данных условиях повышенной хрупкостью. На основании полученных данных в качестве наиболее приемлемой величин

ны наноса олигомера можно рекомендовать 25 кг/т; при этом свойства полученного материала являются наилучшими.

Графические зависимости свойств бумаги и картона от расхода модифицированного КФО приведены на рис. 2.

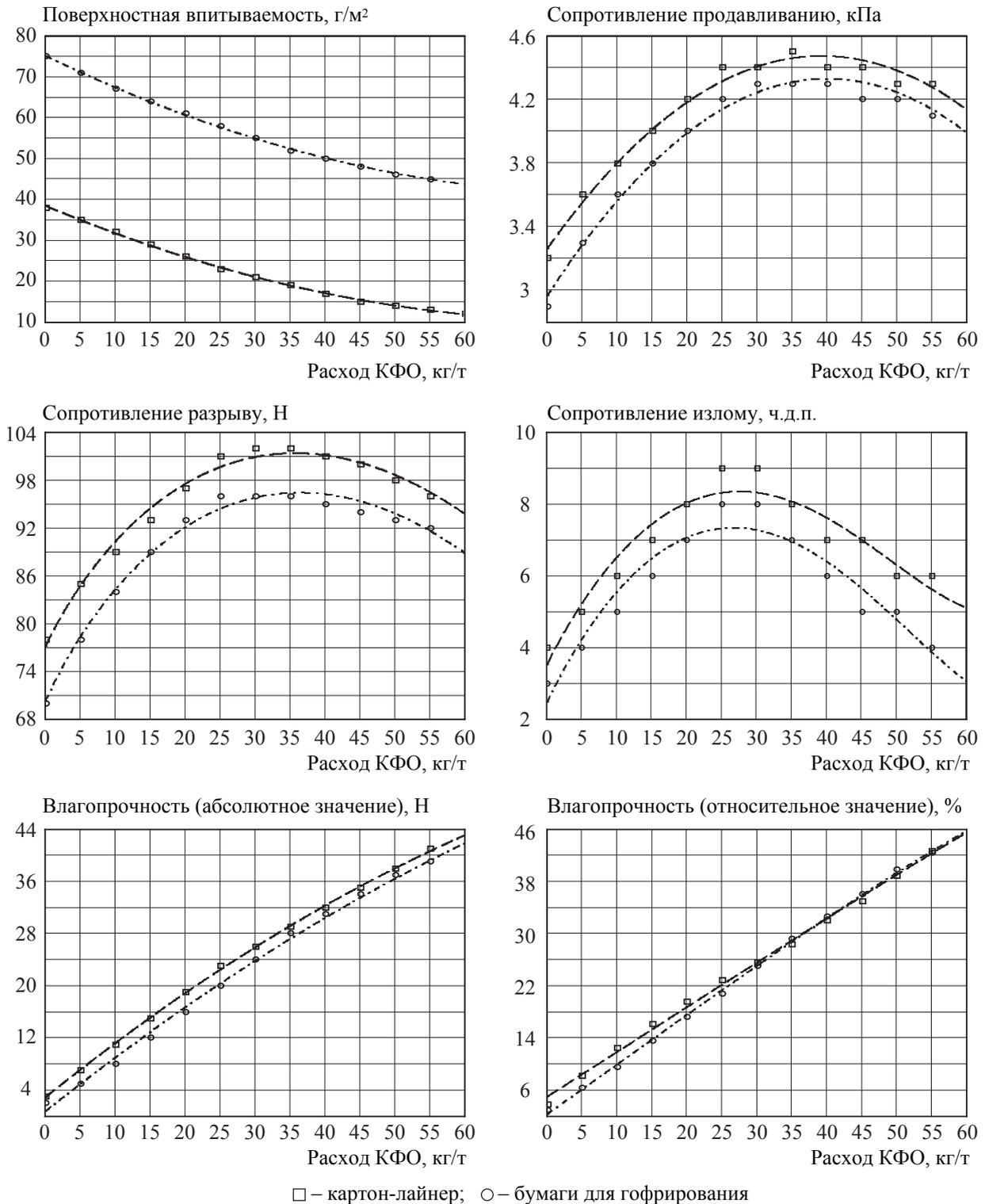


Рис. 2. Технические характеристики картона-лайнера и бумаги для гофрирования в зависимости от расхода модифицированного КФО

С помощью программного пакета *MathCAD* была выполнена аппроксимация данных, что позволило более наглядно установить характер зависимости изменений свойств бумаги и картона от расхода олигомера и выявить в отдельных случаях вероятные погрешности эксперимента.

Было установлено, что возрастание показателя абсолютной влагопрочности при увеличении расхода КФО имеет очень слабый экспоненциальный характер, близкий к линейному при расходах КФО до 30 кг/т, с некоторым замедлением его роста при дальнейшем увеличении расхода КФО. Это связано с тем, что при более высоких расходах КФО межволоконные пространства поверхности материала уже заполнены им и наряду с адгезионными связями «волокно–КФО–волокно», определяющими значение показателя абсолютной влагопрочности, образуются когезионные связи типа «КФО–КФО», не имеющие прямого влияния на этот показатель.

Возрастание же показателя относительной влагопрочности (отношение показателя абсолютной влагопрочности к показателю сопротивления разрыву, т.е. прочности в сухом состоянии) у гофробумаги происходит более интенсивно по сравнению с картоном-лайнерам при расходе КФО до 30 кг/т, что связано с более высокой прочностью картона в сухом состоянии. При расходах КФО более 30 кг/т значения этого показателя для обоих видов материала становятся практически одинаковыми.

На основании полученных статистических данных, а также экспериментального определения расходов ХВС было установлено, что при расходе КФО на поверхностную обработку 25 кг/т значительно сокращаются расходы других ХВС:

- расход гидрофобизатора (в данном случае канифольного мыла – укрепленного «клея-пасты») – в 1,5 раза;
- расход коагулянта (сернокислый глинозем) – в 1,3 раза;
- расход упрочняющего агента (катионный крахмал) – в 1,3 раза.

Если же в технологии используются современные дорогостоящие ХВС (димеры алкилкетенов или алкенилсукциновые ангид-

риды, полиэтиленимины, полиоксихлорид алюминия и др.), то их экономия в денежном выражении будет еще более значительной.

Если ставится задача получить материал с низкой влагопрочностью, который мог бы быть легко переработан вторично, то можно остановиться на легкой обработке материала разбавленными растворами КФО с нанесением 5–10 кг/т. В принципе имеется возможность вторично перерабатывать и влагопрочный материал, но это связано с повышением расходов. Для получения влагопрочного материала рекомендуется расход олигомера до 30 кг/т, более высокие его расходы нецелесообразны.

Таким образом, полученные данные показывают, что использование модифицированных КФО для поверхностной обработки бумажно-картонных материалов из вторичного волокнистого сырья дает возможность повышения физико-механических показателей последних, управления качеством продукции, снижения расхода дорогостоящих ХВС. На дальнейших этапах работы предполагается совершенствование разработанной методики синтеза модифицированных КФО, получение олигомеров с заданными свойствами и исследование технологических параметров их использования в производстве целлюлозных композиционных материалов.

### Библиографический список

1. Азаров, В.И. Повышение гидрофобных и прочностных свойств бумаги поверхностной обработкой полимерными композициями / В.И. Азаров, И.Н. Ковернинский, Н.П. Машута // Экономические проблемы использования лесосырьевых ресурсов в европейско-уральской зоне. – Тез. докл. всесоюз. науч. тех. совещ. – М. – 1986. – С. 84–86.
2. Крылатов, Ю.А. Проклейка бумаги / Ю.А. Крылатов, И.Н. Ковернинский. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 288 с.
3. Тарасов, С.М. Опыт использования модифицированных аминокформальдегидных олигомеров в производстве бумажно-картонных материалов / С.М. Тарасов, В.И. Азаров, Г.Н. Кононов и др. // Науч. тр. – Вып. 334 (7). – М.: МГУЛ, 2006. – С. 52–55.
4. Тарасов, С.М. Модификация карбамидоформальдегидных олигомеров различными видами катионного крахмала / С.М. Тарасов, В.И. Азаров и др. // Науч. тр. – Вып. 335. – М.: МГУЛ, 2006. – С. 71–74.
5. Papermaking Science and Technology. Book 7: Recycled Fiber and Deinking. – TAPPI Press, 1998.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БУМАГИ ДЛЯ СТРУЙНОЙ ПЕЧАТИ

О.С. МАРТЪЯНОВА, *асп. каф. химической технологии древесины и полимеров МГУЛ*,  
Г.Н. КОНОНОВ, *проф. каф. химической технологии древесины и полимеров МГУЛ, канд. техн. наук*,  
И.О. ГОВЯЗИН, *старший научный сотрудник НИИ*

*samart22@list.ru*

**В** настоящее время на рынке имеется много предложений бумаги для струйной печати (inkjet). Однако при избытии предложений у потребителя часто возникают проблемы с выбором бумаги необходимого качества по доступной цене. Учитывая это, мы в данной работе сделали попытку оценить бумагу для струйной печати с точки зрения эффективности ее применения и качества печати.

Бумага для струйной печати – высокотехнологичный продукт, свойства которого определяют качество изображения. Условно бумагу для струйной печати можно разделить на два класса: бумага без покрытия и с покрытием. В свою очередь бумага с покрытием варьируется по степени глянца от матовой до высокоглянцевой. Степень глянца зависит от состава покрытия, характеристики основы и обработки бумаги [1, 2].

Известно много факторов, влияющих на качество изображения при струйной печати, основные из них можно представить в виде общей модели, показанной на рис. 1.



Рис. 1. Общая модель бумаги для струйной печати

Наличие микропористой поверхности способствует быстрому впитыванию и закреплению чернил. Гидрофобный барьерный слой бумаги позволяет повысить устойчивость к воде, устранить коробление и пробивание чернил на обратную сторону. Хорошая смачиваемость поверхности печатными чер-

нилами улучшает качество изображения и цветопередачу. Бумага для струйной печати должна характеризоваться оптимальным соотношением этих свойств.

В данной работе было протестировано несколько образцов бумаги для струйной печати отечественных и зарубежных производителей, отобранных на основании случайной выборки. Для сравнения также испытали бумагу «Data Copy», которая позиционируется как универсальная (для печати на всех видах офисного оборудования). В табл. 1 приведены физико-механические показатели выбранных образцов бумаги.

Бумагу для струйной печати испытали со стороны, предназначенной для печати, а бумагу «Data Copy» – с двух сторон.

Для оценки печатных свойств выбранных образцов бумаги использовали тестовую шкалу.

В настоящее время известно много тестовых шкал для оценки качества печати струйных принтеров. Однако в основном они предназначены для тестирования принтеров разных производителей. В результате анализа существующих тестов составлена тестовая шкала, наиболее подходящая, на наш взгляд, для контроля качества бумаги, которая показана на рис. 2.

Шкала состоит из нескольких тестовых изображений.

Тестовое изображение А показывает воспроизведение на бумаге негативных и позитивных точечных элементов с линейным размером сторон от 0,1 мм до 1,3 мм.

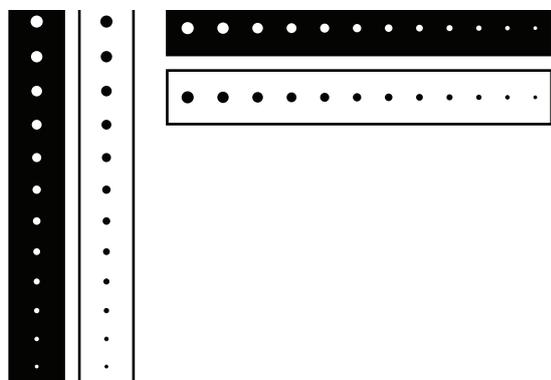
Тестовое изображение Б позволяет оценить граничную четкость белого и черного за счет определения отклонения толщины (%) позитивных и негативных колец от заданного значения.

Запечатывание шкалы проводили на струйном принтере HP Desk Jet 4163.

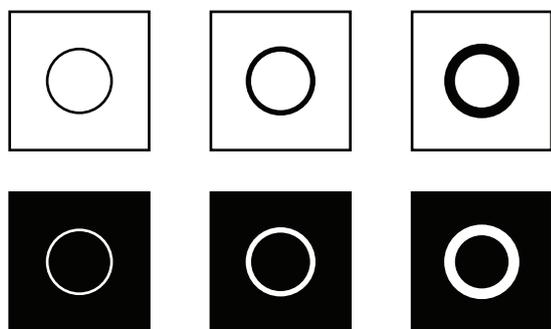
**Физико-механические показатели бумаги для струйной печати**

Наименование показателя	Методы испытания	Наименование бумаги					
		1	2	3	4	5	6
		Lomond Photo Quality Glossy paper гляnceвая односторонняя	Lomond Matte inkjet paper матовая односторонняя	Lomond Silk Photo Inkjet paper шелковисто-матовая односторонняя	Epson Photo Quality inkjet paper матовая односторонняя	Betankyr Photo Quality inkjet paper матовая односторонняя	DATA Copy
Масса 1 м <sup>2</sup> , г	ГОСТ 13199-88	130	90	105	102	120	80
Толщина, мкм	ГОСТ 27015-86	140	100	120	117	135	100
Плотность, г/см <sup>3</sup>	ГОСТ 27015-86	0,93	0,90	0,88	0,87	0,89	0,80
Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании (Кобб <sub>60</sub> ), г/м <sup>2</sup>	ГОСТ 12605-97 ИСО 535-91	54,0	31,5	68,5	66,5	40,5	34,5 *
Белизна, %	ГОСТ 30113-94 ИСО 2470-77	94,2	99,1	93,8	94,8	93,7	98,6*
Непрозрачность, %	ГОСТ 8874-80	96,1	93,0	96,0	97,1	98,3	94,5

\* – среднее по двум сторонам



Тестовое изображение А



Тестовое изображение Б

Рис. 2. Тестовая шкала

Анализ шкалы осуществили визуально, а также с использованием лупы с 10-кратным увеличением и системы получения и обработки изображений Video Scope (ООО Регула, Республика Беларусь) с программным обеспечением. Насыщенность изображения на разных образцах бумаги оценивали сравнением показателей оптической плотности цветных плашек.

Бумагу испытывали на высыхание чернил, отмарывание и стойкость к воде напечатанного изображения. Высыхание чернил оценивали визуально прижатием пальца к изображению сразу после выхода листа из принтера. Для оценки отмарывания чернил на напечатанное изображение сразу после выхода листа из принтера помещали стопу из 10 листов бумаги и дважды прокатывали резиновым валиком массой 1,5 кг. Стойкость к воде определяли визуально, нанося на изображение каплю воды и удаляя ее после 5 мин выдержки (табл. 2).

Максимальные значения оптической плотности (по красной и черной плашке) показывает «Lomond Silk Photo Inkjet paper» (вар. 3).

Результаты испытания качества бумаги для струйной печати

Наименование показателя		Наименование бумаги					
		1	2	3	4	5	6
		Lomond Photo Quality Glossy paper глянцевая односторонняя	Lomond Matte inkjet photo paper матовая односторонняя	Lomond Silk Photo Inkjet paper шелковисто-матовая односторонняя	Epson Photo Quality inkjet paper матовая односторонняя	Betankyr Photo Quality inkjet paper матовая односторонняя	DATA Copy
Тестовое изображение А	Минимально воспроизводимые точечные элементы, мм:						
	<u>позитив</u> вертикально	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
	горизонтально	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
	<u>негатив</u> вертикально	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3
	горизонтально	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Тестовое изображение Б	Отклонение толщины, %						
	<u>позитив</u> 0,5 мм	24,4	21,2	22,2	31,6	35,0	25,8
	1,0 мм	14,8	19,4	20,0	25,5	27,4	21,4
	2,0 мм	14,8	16,8	17,5	21,0	22,2	18,4
	<u>негатив</u> 0,5 мм	0,7	0,2	0,3	0,6	0,6	0,3
	1,0 мм	1,3	0,2	0,5	0,0	0,0	0,4
	2,0 мм	2,6	1,7	1,7	1,3	1,3	1,7
Оптическая плотность							
	Синий	1,02	0,97	1,00	0,95	1,01	0,89
	Голубой	0,64	0,59	0,63	0,65	0,65	0,63
	Красный	1,94	1,76	2,15	1,68	1,72	1,21
	Желтый	1,11	1,11	1,08	1,08	1,23	0,98
	Зеленый	1,12	1,16	1,11	1,11	1,24	0,98
	Черный	2,56	2,08	3,03	1,95	2,14	1,48
Высыхание чернил		+	+	+	+	+	+
Отмарывание чернил		-	-	-	-	-	-
Стойкость к воде		+	±	±	±	±	-

Далее по уменьшению оптической плотности расположились варианты 1, 2, 5, 4, 6. Это означает, что наиболее насыщенное изображение можно получить на бумаге «Lomond Silk Photo Inkjet paper». Как и следовало ожидать, бумага «Data Copy» (вар. 6), не предназначенная для печати на струйных принтерах с фотографическим качеством, показала худший результат. Анализ тестового изображения А показывает, что по минимально воспроизводимой величине точечных элементов наилучшие результаты дают бумаги «Lomond Matte inkjet photo paper» (вар. 2) и «Lomond Silk Photo Inkjet paper» (вар. 3). Бумага «Data Copy» демонстрирует в этом

случае средний результат и более высокую равномерность воспроизведения негативных и позитивных точечных элементов по вертикали и горизонтали.

При печати тестового изображения Б контролировалось расплывание колец. Анализ показал, что при воспроизведении позитивных колец наблюдается искажение контура. При воспроизведении негативных колец этого эффекта не было. Толщины колец рассчитывались по формуле

$$H = \sum_{i=1}^n H_i / n, n = 10,$$

где H – среднее значение десяти параллельных измерений толщины позитивного или негативного кольца, мм.

Полученная толщина сравнивалась с заданным значением, и рассчитывалось среднее отклонение от толщины (в процентах).

Наилучший результат при печати тестового изображения Б показала бумага «Lomond Matte Inkjet Photo paper» (вариант 2). Далее образцы расположились по вариантам в следующем порядке – 4, 6, 3, 5, 1.

При испытании на высыхание и отмарывание чернил все бумаги показали хороший результат.

При испытании изображения на стойкость к воде наилучший результат показала бумага «Lomond Photo Quality Glossy paper» (вариант 1). Вода не нанесла ущерба изображению, выполненному на этой бумаге. Образцы бумаги под вариантами 2, 3, 4, 5 также выдержали испытание, но после удаления воды на них остались заметные следы. На образце бумаги «Data Copy» (вариант 6) чернила размылись и проникли на обратную сторону.

Результаты проведенных исследований и испытаний, представленные в таблицах 1 и 2, позволяют сделать следующие выводы:

1) белизна исследованных образцов бумаги меняется в достаточно широком диапазоне, примерно, от 94 % до 99 %;

2) оптическая плотность цветной плашки у образцов бумаги с покрытием выше, чем у бумаги без покрытия («Data Copy»);

3) наиболее насыщенное изображение по оптической плотности получается на бумагах «Lomond Silk Photo Inkjet paper» и «Lomond Photo Quality Glossy paper»;

4) все бумаги, независимо от их гидрофобности, обеспечивают малое растекание и быстрое высыхание чернил;

5) образцы бумаги с повышенной гидрофобностью (Кобб<sub>60</sub> менее 40 г/м<sup>2</sup>) обеспечивают более высокую четкость изображения (например бумага «Lomond Matte Inkjet Photo paper»), чем образцы бумаги с более высоким показателем поверхностной впитываемости воды;

6) по точности и четкости воспроизведения печатных элементов наилучший результат показала бумага «Lomond Matte Inkjet Photo paper».

#### Библиографический список

1. Достоверная бумага, или постоянство для цветопробы // Курсив. – 2007. – № 6 – С. 36–37.
2. Булгаков, П. Насыщение! Струйная печать сегодня // Домашний компьютер. – 2005. – № 10. www.homepc.ru

## БИОТОПЛИВО ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

А.Н. ИВАНКИН, *проф. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, д-р. хим. наук,*  
А.Д. НЕКЛЮДОВ, *проф. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, д-р хим. наук,*  
Н.А. ГОРБУНОВА, *ВНИИМП им. В.М. Горбатова РАСХН, канд. техн. наук,*  
М.И. БАБУРИНА, *ВНИИМП им. В.М. Горбатова РАСХН, канд. биол. наук,*  
Д.Г. ГОРОХОВ, *асп. ВНИИМП им. В.М. Горбатова РАСХН*

*aivankin@mgul.ac.ru*

Стремительное сокращение запасов природных углеводов и постоянный рост цен на них требует широкого освоения альтернативных, возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Важной причиной, стимулирующей переход на альтернативные источники энергии, является проблема глобального изменения климата. Замена существующих энергоносителей на новые, отличающиеся от углеводородных существенно меньшей экологической нагрузкой, позволит уменьшить воздействие на окружающую среду вредных

факторов, улучшить экологию нашей планеты и выполнить рекомендации, записанные в «Киотском Протоколе к Рамочной конвенции ООН об изменении климата», который вступил в силу 16 февраля 2005 г. Доля возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе пока невелика. Но энергия, получаемая от этих энергоносителей, все шире используется на энергетическом рынке и уже сегодня находится в пределах 1,6 % от общеполучаемой энергии. Однако в промышленно развитых странах, давно

(10–15 лет) занимающихся этой проблемой, показатели более значительны. В частности, в Дании доля альтернативной энергетики превышает 12 %, Италии, Германии, Испании, Чили – 2,7 %, Великобритании, США и Швеции 2,2–2,5 %. В Северной Америке к 2020 г. объем выработки электроэнергии на базе ВИЭ предполагается в пределах 10–25 % от общего объема производства.

Существенное значение в плане возможности возмещения энергии играет растительная биомасса – прежде всего продукция лесного хозяйства. Глубокая биотехнологическая переработка древесных и других растительных отходов может стать в среднесрочной перспективе весьма значимой для регионов, богатых лесными и растительными сельскохозяйственными ресурсами. В структуре альтернативной энергетики мира энергия биомассы сегодня составляет около 13 % [1].

При мировом производстве энергии 10 млрд т нефтяного эквивалента (н.эк.) вклад биомассы в 2001 г. составил около 1,1–1,2 млрд т н.эк., а суммарный вклад всех видов ВИЭ – 1,36 млрд т н.эк. По прогнозам экспертов, к 2040 г. общее потребление энергии в мире достигнет 3,5 млрд т н.эк. (100 %), при этом вклад ВИЭ составит 6,44 млрд т н.эк. (47,7 %), а биомассы – 3,21 млрд т н.эк. (23,8 %).

На примере Европейского Союза заметен резкий рост производства возобновляемой электроэнергии по сравнению с другими новыми технологиями. Электроэнергия из возобновляемых источников составила за последнее десятилетие 30 % общего объема (газ – 48,5 %, уголь – 5,8 %), в то время как за период 1996–2000 гг. электроэнергии из ВИЭ производилось 11 % (газа – 33 %, угля – 9 %). Наиболее интенсивно процесс использования ВИЭ пошел после принятия в 2003 г. Европарламентом директивы «О мерах по стимулированию использования биологического топлива и других видов возобновляемого топлива в транспортном секторе», в которой заложена общая для ЕС цель – увеличить долю биотоплива до 5,75 % к 2010 г. Для достижения этой цели общие темпы роста производства биотоплива должны увеличиться с текущих 35 % за последние три года до 43 % в последующие годы [2–3].

В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2020 г.», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 28 августа 2003 г. № 1234-Р, технический потенциал ВИЭ составит около 4,6 млрд т н.эк., что в пять раз превысит объем потребления всех топливно-энергетических ресурсов России, а экономический потенциал определен в 270 млрд т н.эк. в год (немногим более 25 % годового внутреннего потребления энергоресурсов в стране). Имеющийся в России ресурсный потенциал биомассы для нужд биоэнергетики с учетом ее возобновляемости практически неисчерпаем. Его формируют значительные, не используемые на сегодняшний день резервы: в сельском хозяйстве – пашни (9 % от мировой), в лесном хозяйстве – запасы древесины (до 25 % мировых запасов).

Директивой ЕС от 8 мая 2003 г. № 2003/30 ES утверждены следующие термины и определения видов биотоплива (рис. 1):

**Биотопливо** – жидкое или газообразное топливо, производимое из биомассы.

**Дизельное биотопливо** – смесь метиловых эфиров жирных кислот с качеством дизельного топлива, производимая из масла растительного или животного происхождения и используемая в качестве биотоплива (химическая формула –  $C_{13...20}H_{24...48}O_2$ ). Дизельное биотопливо производят, обрабатывая липидное сырье метанолом в соотношении 1:1 при температуре кипения смеси в присутствии 1 % гидроксида натрия с последующим отделением глицерина и воды. Осушенная смесь эфиров добавляется в количестве 5–15 % в обычное автомобильное топливо.

**Биоэтанол** – этиловый спирт ( $C_2H_5OH$ ), производимый из биомассы и/или биологически разлагаемых отходов и используемый в качестве биотоплива.

Процесс получения биоэтанола из древесных или с/х отходов предусматривает обработку сырья острым паром в течение 1–3 ч в смеси с 1–30 % серной кислотой с последующей нейтрализацией гидролизата, содержащего 50–80 % сахаров (глюкозы) при последующем ферментативном сбраживании в присутствии микроорганизмов в этанол, который подвергают очистке ректификацией. В моторное топливо добавляют в количестве 20 % .

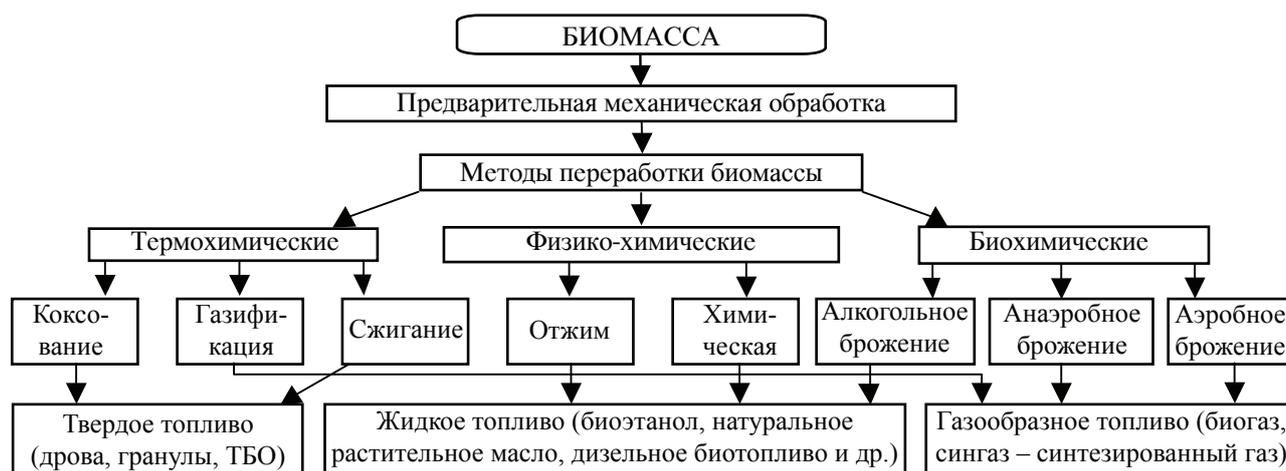


Рис. 1. Принципиальная схема переработки биомассы

**Биогаз** – топливный газ, производимый из биомассы и/или биологически разлагаемых компонентов отходов, который может подвергаться очистке для приобретения качества природного газа, используемого в качестве биотоплива или генераторного газа (химическая формула –  $\text{CH}_4$ ).

**Твердое биотопливо (пеллеты)** – гранулы, брикеты, производимые из растительной биомассы путем ее переработки и прессования и используемые в качестве печного топлива в быту для получения тепла или электроэнергии [4].

Современное производство любых видов продукции и человеческая деятельность в целом невозможны без образования отходов. Часть этих отходов утилизируется естественным путем за счет работы микро- и макроорганизмов, незначительная часть целенаправленно перерабатывается человеком, но достаточно большой объем отходов практически не используется и остается в виде разнообразного мусора, занимающего значительные территории

Проблема утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) актуальна прежде всего с точки зрения отрицательного воздействия на окружающую среду, а также потому, что это богатый источник вторичных ресурсов и «бесплатный» энергоноситель, так как промышленные и бытовые отходы – возобновляемое углеродсодержащее энергетическое сырье для топливной энергетики. В мировой практике нашли промышленное применение четыре метода переработки ТБО:

- термическая обработка (в основном сжигание);
- биотермическое аэробное компостирование (с получением удобрения или биотоплива);
- анаэробная ферментация (с получением биогаза);
- сортировка (с извлечением тех или иных ценных компонентов для вторичного использования, удалением балластных или вредных компонентов, выделением отдельных фракций, наиболее пригодных технически, экологически и экономически для переработки тем или иным методом, например сжиганием или компостированием).

Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, свои оптимальные области применения, зависящие главным образом от морфологического состава ТБО и региональных условий.

В нетрадиционной энергетике особое место занимает переработка биомассы (органических сельскохозяйственных и бытовых отходов) метановым брожением с получением биогаза, содержащего около 70 % метана.

Всего в мире в настоящее время используется около 60 разновидностей биогазовых технологий. Биогаз – это смесь метана и углекислого газа, образующаяся в процессе анаэробного сбраживания специальных реакторах – метантенках, устроенных и управляемых таким образом, чтобы обеспечить максимальное выделение метана.

При нормальной работе реактора получаемый биогаз содержит 60–70 % метана, 30–

40 % диоксида углерода, небольшое количество сероводорода, а также примеси водорода, аммиака и окислов азота. Наиболее эффективны реакторы, работающие в термофильном режиме при 43–52 °С. Энергия, получаемая при сжигании биогаза, может достигать 60–90 % энергии исходного материала. Получение биогаза (табл. 1) экономически оправдано и является предпочтительным при переработке постоянного потока отходов (стоки животноводческих ферм, скотобоен, растительные отходы и т.д.).

Годовая потребность в биогазе для обогрева жилого дома составляет около 45 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> жилой площади, суточное потребление при подогреве воды для 100 голов крупного рогатого скота равна 5–6 м<sup>3</sup>. Потребление биогаза при сушке сена (1 т) влажностью 40 % составит 100 м<sup>3</sup>, 1 т зерна – 15 м<sup>3</sup>, для получения 1 кВтч электроэнергии – 0,8 м<sup>3</sup>.

Россия имеет огромную сырьевую базу для развития биоэнергетики в виде ежегодно накапливаемых органических отходов лесопереработки, агропромышленного комплекса и ТБО городов [5] (рис. 2).

Ведущее место по производству биогаза занимает Китай. Начиная с середины 70-х гг. в этой стране ежегодно строилось около миллиона метантенков. В настоящее время их количество превышает 20 млн шт. КНР обеспечивает 30 % национальных потребностей в энергии за счет биогаза.

Т а б л и ц а

**Выход биогаза из различного сырья**

Исходное сырье	Выход биогаза из 1 кг сухого вещества, л/кг	Содержание метана в газе, %
Трава	630	70
Древесная листва	220	59
Сосновая игла	370	69
Ботва картофельная	420	60
Стебли кукурузы	420	53
Мякина	615	62
Солома пшеничная	340	58
Солома льняная	360	59
Шелуха подсолнечника	300	60
Навоз КРС	200...300	60
Конский навоз с соломой	250	56...60
Домашние отходы и мусор	600	50
Фекальные осадки	250...310	60
Твердый осадок сточных вод	570	70

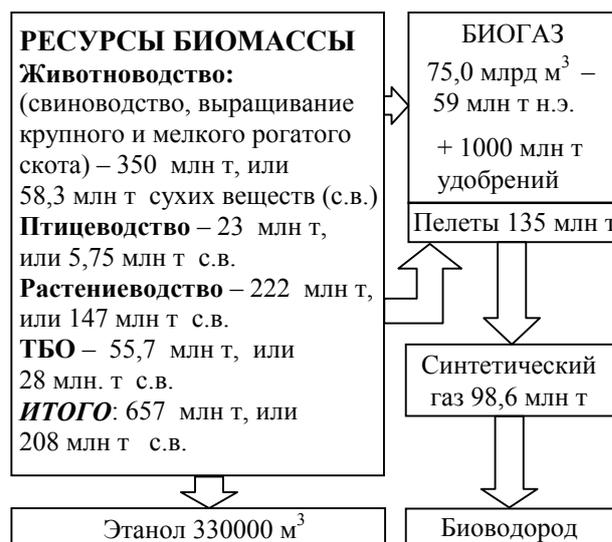


Рис. 2. Потенциальные возможности получения биотоплива в России из отходов сельскохозяйственного производства и ТБО

Второе место в мире по производству биогаза занимает Индия, в которой еще в 30-е годы была принята первая в мире программа по развитию биогазовой технологии. На конец 2000 г. в сельских районах Индии было построено свыше 1 млн метантенков. Сегодня ежедневное производство биогаза в Индии составляет 2,5–3 млн м<sup>3</sup>.

Биогазовые установки успешно работают в восьми животноводческих хозяйствах Японии. В США в настоящее время объем производства биогаза составляет 500 млн м<sup>3</sup>/г. Значительная часть биогаза поступает на электростанции, работающие на газообразном топливе. Суммарная электрическая мощность установок, работающих на биогазе, составляет около 200 МВт. Великобритания производит около 200 млн м<sup>3</sup>/г. биогаза. Суммарная мощность БиоТЭС Великобритании составляет около 80 МВт. Во Франции добывается около 40 млн м<sup>3</sup>/г. биогаза. На одной из свалок вблизи Парижа была построена БиоТЭС, использующая биогаз, эмиссия которого составляет 1500 м<sup>3</sup>/сут.

В России на сегодняшний день только в сельском хозяйстве существует потенциальная возможность производства биогаза в объеме около 58 млн м<sup>3</sup>/год, что может составить до 0,015 % от общего потребления газа в стране. Однако до настоящего времени в России нет национальной программы поддержки

строительства биогазовых установок и ни одного централизованного биогазового завода.

Рост тарифов на традиционные виды топлива мотивирует активное внедрение альтернативных видов топлива, одним из которых стали топливные или древесные гранулы (пеллеты), завоевавшие прочное место на мировом рынке биотоплива. Пеллеты представляют собой прессованные цилиндры диаметром 4–10 мм, длиной 2–5 см, переработанные из высушенных остатков отходов лесоперерабатывающего производства: древесные опилки, стружка, кора, сучки, ветки и т.д. Содержание энергии в одном килограмме древесных гранул соответствует 0,5 л жидкого топлива. Кроме экономического эффекта, использование пеллет способствует снижению вредных выбросов в атмосферу.

Технология производства пеллет предусматривает механическое измельчение высушенного древесного растительного сырья с последующим прессованием при температуре выше 200–250 °С и давлении 100–400 МПа, обеспечивающими прочное слипание частиц сырья, и гранулированием. Гранулы влажностью не выше 5–6 % и плотностью 680–700 кг/м<sup>3</sup> обладают сопротивлением к истираемости и применяются в качестве твердого топлива. Цена на промышленные пеллеты составляет в среднем 85 евро/т при средней стоимости опилок 50 %-й влажности 10 евро/т.

Другим перспективным альтернативным видом топлива является биодизель [6, 7].

Биодизель – это экологически чистое топливо для дизельных двигателей, получаемое путем химической обработки растительных масел или животных жиров, которое может служить добавкой к дизельному топливу или полностью заменять его. Среднеевропейская цена на биодизель составляет 500–600 евро за тонну (мазут – 200 евро).

Биодизель может использоваться в различных целях. Его можно применять в качестве смазывающей добавки (1–2 %) к дизельному топливу (ДТ), а смесь 20 % биодизеля с 80 % дизельного топлива (B20) обычно служит заменой ДТ, которым, согласно стандарту ASTM, могут быть ДТ1, ДТ2, авиационный керосин и др. При соответствующей подготовке можно использовать в двигателе и чистый биодизель (B100).

В мировом производстве биодизеля ведущую роль играет Европа, выпустившая более 1,6 млн т в 2002 г. и способная изготавливать его в количестве более 2,1 млн т/год.

По сравнению с Европой рынок биодизеля США находится все еще в начальной стадии развития. В Европе в 2005 г., в основном в Германии, было произведено 800 млн галлонов (3200 млн л), а в США – всего 10 % этого количества.

Пятая в мире частная нефтяная компания ConocoPhillips и Tyson Foods, крупнейшая в мире мясоперерабатывающая компания, разработали совместный проект производства дизтоплива из животного жира. Проект предусматривает, что компания Tyson Foods, ежегодно производящая 1,3 млн т животного жира в результате переработки говядины, свинины и мяса птицы, будет направлять почти 60 % этого объема на нефтеперерабатывающие заводы ConocoPhillips, где к концу 2009 г. объем выпуска нового биодизеля планируется довести до 660 тыс. т/год.

Канадский сектор производства биодизеля (согласно данным Канадского Совета Канолы) может получить колоссальные прибыли в связи с тем, что к 2015 г. использование биодизеля должно увеличиться до 5 % от общего объема использованного дизельного топлива на территории Канады. Канада поставила перед собой цель достичь производства 500 млн л биодизеля к 2010 г.

Корпорация Repsol YPF, одна из крупнейших в мире нефтяных компаний, инвестировала строительство фабрики по производству биодизеля в городке Розарио, провинция Санта-Фе, став крупнейшим в Аргентине производителем биодизеля.

В России основным законом, регулирующим отношения в сфере использования энергетических ресурсов и энергосбережения, является Федеральный Закон, принятый в апреле 1996 г. № 28-ФЗ «Об энергосбережении». В нем дается понятие возобновляемых источников энергии и альтернативных видов топлива и лишь упоминаются такие виды биотоплива, как биогаз и продукты переработки биомассы.

Сферу биоэнергетики затрагивает и другой документ: «Энергетическая стратегия России на период до 2020 г.», утвержденная

Распоряжением Правительства РФ от 28 августа 2003 г. №1234, в которой есть ряд предложений, но нет конкретных мер по развитию биоэнергетики.

В России не существует единой государственной программы развития биодизельного топлива, но создаются региональные программы, например Алтайская краевая целевая программа «Рапс–биодизель». В Липецкой области создана Ассоциация производителей рапсового масла. Планируется строительство заводов по производству биодизеля в Липецкой области, Татарстане, Алтайском крае, Ростовской, Волгоградской, Орловской областях, Краснодарском крае.

Нельзя не отметить, что проблема производства и использования биотоплива представляется не вполне однозначной. Продовольственные потребности человечества по-прежнему имеют преимущественное значение по сравнению с энергетическими. Следует отметить неоднозначную реакцию пищевой промышленности ЕС на стимулирование развития биотоплива. Представители отрасли выражают опасение, что рост производства биодизельного топлива может вызвать удорожание исходного сырья. В результате, как полагают представители многонационального пищевого концерна «Unilever», пищевая и кормовая отрасли столкнутся с дефицитом сырья и неконтролируемым ростом цен. По мнению генерального директора компании Global Commodities Грега Смита (Greg Smith), увеличение использования сельскохозяйственной продукции для производства

биотоплива может привести к серьезным негативным последствиям, поскольку возникнет ситуация, когда пищевая отрасль будет вынуждена конкурировать за сырье с производителями биогорючего.

В то же время интенсивное животноводство и последующая переработка мясного сырья приводит к накоплению значительного количества жиросодержащего сырья и отходов. Этот ресурс может быть задействован с целью дополнительного решения энергетических проблем для производства биодизеля.

### Библиографический список

1. Неклюдов, А.Д. Переработка органических отходов: монография / А.Д. Неклюдов, А.Н. Иванкин. – М.: МГУЛ, 2006. – 380 с.
2. Аронов, Э.Л. Производство и применение биодизельного топлива (с рапсовым маслом) в сельском хозяйстве / Э.Л. Аронов // Техника и оборудование для села. – 2007. – № 3. – С. 39–41.
3. Смирнова, Т.Н. Биодизель – альтернативное топливо для дизелей / Т.Н. Смирнова, В.М. Подгаецкий // Двигатель. – 2007. – № 2 (50). – С. 100.
4. Давыдова, Е.М. Развитие топливного рынка ЕС: биодизельное топливо – возобновляемый энергетический ресурс / Е.М. Давыдова, Н.Н. Пасхин // Масложировая промышленность. – 2005. – № 4. – С. 77–80.
5. Митин, С.Г. Состояние и перспективы развития бионенергетики в РФ / С.Г. Митин, В.Ф. Федоренко, Е.А. Усачев // Техника и оборудование для села. – 2007. – № 3. – С. 3–7.
6. Sobolik J. Eu doubles biodiesel production in two years // Biodiesel magazine.– 2007.– № 9. /http://engine.aviaport.ru/issues/50/page32.html
7. Лисицын, А.Н. Биотопливо, его получение и использование/ А.Н. Лисицын, В.В. Ключкин и др. // Масложировая промышленность. – 2007.– № 2. – С. 40–45.

## О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.И. ЗАПРУДНОВ, *проф. каф. геодезии и строительного дела МГУЛ, д-р техн. наук*

*zaprudnov@mgul.ac.ru*

Свойства древесно-цементного материала, сочетающие такие качества, как высокая прочность, низкая деформированность, малая средняя плотность, трещиностойкость и другие, определяются его структурой [1].

Прогнозирование физико-механических свойств древесно-цементного композита позволяет свести к минимуму эксперимен-

тальные работы по выбору оптимального состава компонентов и геометрических параметров структуры. Для этого модель механической смеси древесно-цементного композита представляется как многокомпонентное образование, на границе компонентов которого выполняется условие непрерывности усилий и перемещений. Если свойства каждого

компонента известны, то, пользуясь уравнениями механики деформируемого твердого тела, можно в принципе определить распределение напряжений и деформаций в древесно-цементном материале и его эффективные или макроскопические свойства.

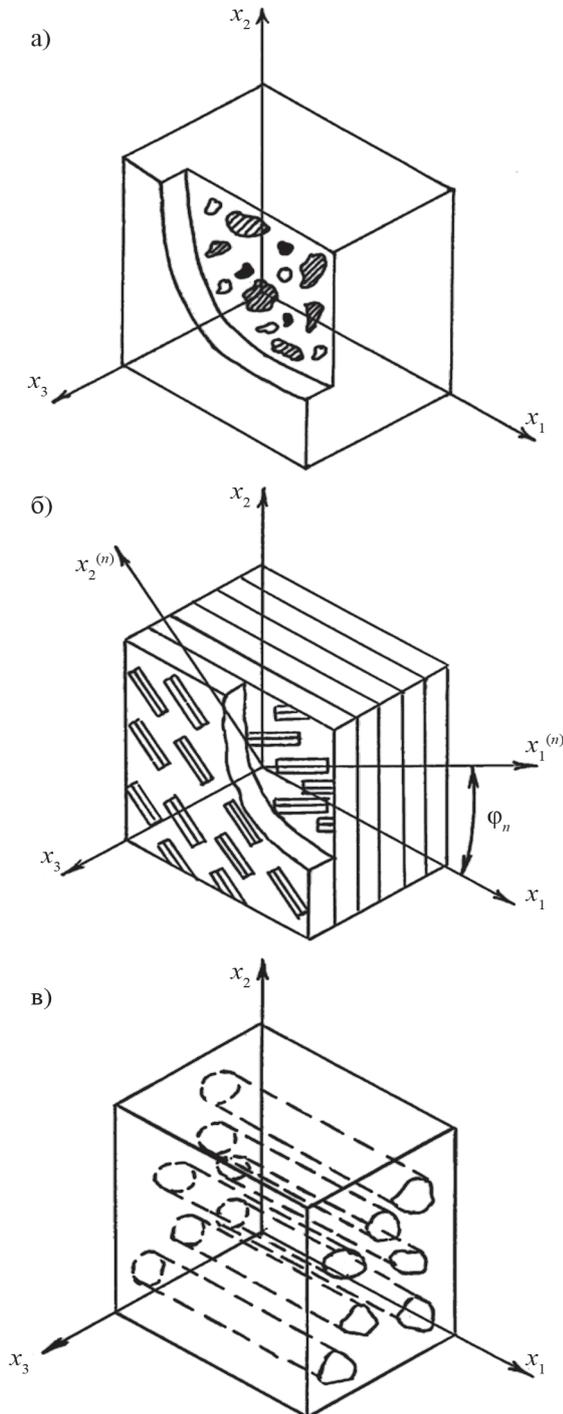


Рисунок. Схема механической модели структуры древесно-цементного материала: а – с минеральным наполнителем; б – с разориентированными частицами; в – с однонаправленными (ориентированными) частицами

Однако практическое решение указанной задачи связано с серьезными математическими трудностями.

Древесно-цементный композит имеет случайную или стохастическую структуру, характерными особенностями которой являются дискретность включений частиц древесного заполнителя, цементного камня и пор, их хаотичное расположение в пространстве, а также случайная форма. Поэтому для адекватного описания напряженно-деформированного состояния в древесно-цементном материале необходимо привлекать методы теории случайных функций.

Определить эффективные линейно-упругие постоянные древесно-цементного композита с учетом геометрических параметров, формы поперечного сечения органического заполнителя и его расположения позволяет применение метода условных моментов.

Схемы механических моделей структуры древесно-цементного материала представлены на рисунке.

**Исходные представления.** Точное описание механического поведения упругого тела из древесно-цементного материала в линейной постановке сводится к уравнениям сохранения импульса

$$\sigma_{ij,j} + F_i = \rho \cdot \ddot{u}_i; \quad (1)$$

соотношениям упругости

$$\sigma_{ij} = \lambda_{ijmn} \cdot \varepsilon_{mn}; \quad (2)$$

и Коши

$$\varepsilon_{ij} = u_{(i,j)} \equiv 1/2(u_{i,j} + u_{j,i}). \quad (3)$$

где  $\sigma_{ij}$  – тензор напряжений, Па;

$\varepsilon_{ij}$  – тензор деформаций;

$\lambda_{ijmn}$  – тензор упругих модулей четвертого ранга, Па;

$F_i$  – вектор объемных сил, Н/м<sup>3</sup>;

$u_i$  – вектор перемещений;

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>.

Уравнения (1–3) и входящие в них параметры относятся к микроточкам, т.е. элементарным объемам и площадкам, размеры которых значительно меньше характерных размеров структурных параметров.

Характеристики  $\lambda_{ijmn}$ ,  $\rho$  древесно-цементного материала являются регулярными или случайными функциями координат в зависимости от характера расположения структурных элементов. При этом внутренняя

энергия в микроточке определяется выражением

$$U = 1/2 \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} = 1/2 \lambda_{ijmn} \varepsilon_{ij} \varepsilon_{mn} = 1/2 s_{ijmn} \sigma_{ij} \sigma_{mn}, \quad (4)$$

где  $s_{ijmn} = \lambda_{ijmn}^{-1}$  – тензор упругих податливостей.

Решение уравнений (1–3) в общем случае связано с серьезными математическими трудностями. Однако для практической задачи, в которой изучается изменение напряжений и деформаций в древесно-цементном материале на расстояниях, значительно превышающих размеры структурных элементов, но достаточно малых в сравнении с размерами тела, можно ввести макронапряжения, макродеформации и макроперемещения, т.е. средние по элементарным макрообъемам и макроплощадкам от соответствующих параметров. При этом исходим из того, что размеры элементарных макрообъемов и макроплощадок значительно больше размеров структурных элементов и их можно рассматривать как микроточки. Тогда соответствующие уравнения относительно макроскопических параметров имеют вид

$$\langle \sigma_{ij} \rangle_j + \langle F_i \rangle = \langle \rho \rangle \langle \ddot{u}_i \rangle; \quad (5)$$

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \lambda_{ijmn}^* \langle \varepsilon_{mn} \rangle; \quad (6)$$

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle = \langle u_{(i,j)} \rangle. \quad (7)$$

При этом внутренняя энергия в микроточке определяется формулой

$$\langle U \rangle = 1/2 \langle \sigma_{ij} \rangle \langle \varepsilon_{ij} \rangle = 1/2 \lambda_{ijmn}^* \langle \varepsilon_{ij} \rangle \langle \varepsilon_{mn} \rangle = 1/2 s_{ijmn}^* \langle \sigma_{ij} \rangle \langle \sigma_{mn} \rangle, \quad (8)$$

где  $\lambda_{ijmn}^*$ ,  $s_{ijmn}^* = \lambda_{ijmn}^{-1}$  – соответственно тензоры эффективных модулей упругости и упругих податливостей.

Согласно уравнениям (5–8) эффективные постоянные упругого древесно-цементного композитного материала могут быть определены на основе решения простейшей задачи о напряженно-деформированном состоянии в микроточках макрообъема при условии, что он находится в условиях однородного статического нагружения, т.е.  $\langle \sigma_{ij} \rangle = \text{const}$ ,  $\langle \varepsilon_{ij} \rangle = \text{const}$ .

В этом случае уравнение сохранения импульса (5) удовлетворяется тождественно, а при условии, что жесткое перемещение и вращение равны нулю, из соотношений Коши (7) следует

$$\langle u_i \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j. \quad (9)$$

**Постановка задачи.** Пусть макрообъем линейно-упругого древесно-цементного композитного материала стохастической структуры находится в условиях заданных однородных макронапряжений  $\langle \sigma_{ij} \rangle$  или макродеформаций  $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$ . Задача о напряженно-деформированном состоянии в микроточках тела сводится к уравнениям равновесия

$$\sigma_{ij,j} = 0; \quad (10)$$

соотношениям упругости

$$\sigma_{ij} = \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn}; \quad (11)$$

и соотношениям Коши

$$\varepsilon_{ij} = u_{(i,j)}, \quad (12)$$

где тензор упругих модулей  $\lambda_{ijmn}$  является заданной случайной функцией координат.

В уравнениях (10–12) по повторяющимся индексам ведется суммирование, а индекс после запятой означает дифференцирование по соответствующей координате.

Подставляя (11), (12) в (10), приходим к стохастическим дифференциальным уравнениям относительно перемещений

$$(\lambda_{ijmn} u_{m,n})_j = 0, \quad (13)$$

при этом граничные условия на поверхности макрообъема при условии, что жесткое перемещение и вращение равны нулю, имеют вид

$$u_i|_s = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j. \quad (14)$$

Из соотношений Коши (3) следует уравнение совместности микродеформаций

$$e_{ijp} e_{mnq} \varepsilon_{jn,pq} = 0, \quad (15)$$

где  $e_{ijp}$  – единичный антисимметричный тензор.

Если соотношения (11) подставить в уравнение совместности деформаций (15), то приходим к стохастическим дифференциальным уравнениям относительно напряжений

$$e_{ijp} e_{mnq} (s_{jnrs} \sigma_{rs})_{,pq} = 0, \quad (16)$$

удовлетворяющим граничным условиям

$$\sigma_{ij} n_j|_s = \langle \sigma_{ij} \rangle n_j, \quad (17)$$

где  $n_j$  – направляющие косинусы нормали к поверхности.

Тензорное поле модулей упругости  $\lambda_{ijmn}$  принимаем статистически однородным, поэтому макронапряжения  $\sigma_{ij}$  и микродеформации  $\varepsilon_{ij}$  будут также статистически однородными. Так как масштаб корреляции случайных полей  $\lambda_{ijmn}$ ,  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  пренебрежимо мал по сравнению с размерами макрообъема, то они удовлетворяют свойству эргодичности, т.е. осреднение случайных полей по области определения совпадает со статисти-

ческим осреднением по ансамблю реализации. В этом случае выполняются равенства

$$\begin{aligned} \langle \lambda_{ijmn}^{(1)} \rangle &= \langle \lambda_{ijmn} \rangle; \langle \sigma_{ij}^{(1)} \rangle = \langle \sigma_{ij} \rangle; \\ \langle \varepsilon_{ij}^{(1)} \rangle &= \langle \varepsilon_{ij} \rangle; \langle \lambda_{ijmn}^{(1)} \varepsilon_{pq}^{(1)} \rangle = \langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{pq} \rangle; \\ \langle s_{ijmn}^{(1)} \sigma_{pq}^{(1)} \rangle &= \langle s_{ijmn} \sigma_{pq} \rangle. \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь слева – статистические средние в точке, справа – статистические средние по макрообъему. Следует отметить, что ансамбль реализаций представляет собой совокупность полей для большого количества макрообъемов, находящихся в одинаковых условиях внешнего воздействия и имеющих один и тот же вид структуры.

Методы решения краевых задач (13), (14), (16–18) идентичны, поэтому рассмотрим задачу в перемещениях. Представим случайные поля  $\lambda_{ijmn}$ ,  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  в виде сумм математических ожиданий и флуктуаций

$$\begin{aligned} \lambda_{ijmn} &= \langle \lambda_{ijmn} \rangle + \lambda_{ijmn}^0, \quad \sigma_{ij} = \langle \sigma_{ij} \rangle + \sigma_{ij}^0, \\ \varepsilon_{ij} &= \langle \varepsilon_{ij} \rangle + \varepsilon_{ij}^0. \end{aligned} \quad (19)$$

Тогда, проводя статистическое осреднение соотношений упругости (11) и учитывая равенства (18), получаем

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \langle \lambda_{ijmn}^{(1)} \varepsilon_{mn}^{(1)} \rangle = \langle \lambda_{ijmn} \rangle \langle \varepsilon_{mn} \rangle + \langle \lambda_{ijmn}^{0(1)} \varepsilon_{mn}^{0(1)} \rangle. \quad (20)$$

Из (20) следует, что для определения эффективных упругих постоянных необходимо из краевой задачи (13), (14) найти одноточечные моменты второго порядка  $\langle \lambda_{ijmn}^{(1)} \varepsilon_{mn}^{(1)} \rangle = \langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn} \rangle$  или  $\langle \lambda_{ijmn}^{0(1)} \varepsilon_{mn}^{0(1)} \rangle = \langle \lambda_{ijmn}^0 \varepsilon_{mn}^0 \rangle$  как функции математических ожиданий деформаций  $\langle \varepsilon_{ij}^{(1)} \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle$ .

Представляя вектор перемещений в виде суммы математического ожидания и флуктуации

$$u_i = \langle u_i \rangle + u_i^0, \quad (21)$$

и учитывая, что для статистически однородных деформаций имеет место равенство

$$\langle u_i \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j, \quad (22)$$

получаем

$$u_i = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j + u_i^0. \quad (23)$$

Подставляя (23) в уравнение (13), приведем его к виду

$$\lambda_{ijmn}^c u_{m,nj}^0 + [(\lambda_{ijmn} - \lambda_{ijmn}^c) \cdot \varepsilon_{mn}]_j = 0. \quad (24)$$

Здесь  $\lambda_{ijmn}^c$  – некоторый тензор модулей упругости с независимыми от координат компонентами, называемый тензором модулей упругости тела сравнения.

Из соотношений (14), (23) следует, что на границе макрообъема флуктуации перемещений должны обращаться в нуль

$$u_i^0|_s = 0. \quad (25)$$

Поскольку макрообъем древесно-цементного композитного материала существенно превосходит размеры структурных элементов, то занимаемую им область можно рассматривать как бесконечную. Поэтому задача о напряженно-деформированном состоянии макрообъема древесно-цементного композитного материала сводится к решению стохастического дифференциального уравнения (24) для бесконечной области при условии, что на бесконечности выполняется условие

$$u_i^0|_{\infty} = 0. \quad (26)$$

Если воспользоваться тензорной функцией Грина, удовлетворяющей дифференциальному уравнению

$$\lambda_{ijmn} G_{mk,jn}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) + \delta(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \delta_{ik} = 0, \quad (27)$$

то, подставляя (25), (27) в соотношение взаимности Бетти, приходим к интегральному соотношению

$$u_i^{0(1)} = \int_{\nu^2} G_{ip}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) (\lambda_{pqmn}^{(2')} \varepsilon_{mn}^{(2)})_q d\nu^{(2)}; \quad \lambda_{pqmn}^{(2')} = \lambda_{pqmn}^{(2)} - \lambda_{pqmn}^c. \quad (28)$$

Подставим (28) в соотношения Коши (12) и проведем интегрирование по частям. Тогда получим стохастические интегральные уравнения относительно деформаций

$$\varepsilon_{ij}^{(1)} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \lambda_{pqmn}^{(2)} \varepsilon_{mn}^{(2)}, \quad (29)$$

или флуктуаций деформаций

$$\varepsilon_{ij}^{0(1)} = K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) (\langle \varepsilon_{mn} \rangle + \varepsilon_{mn}^{0(2)}). \quad (30)$$

Здесь действие интегрального оператора  $K_{ijpq}$  определяется равенством

$$\begin{aligned} K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} &= \int_{\nu^{(2)}} G_{(ip,j)q}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} d\nu^{(2)} + \\ &+ \int_{s^2} G_{(ip,j)}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) n_q^{(2)} \varphi^{(2)} ds^{(2)}, \end{aligned} \quad (31)$$

где  $s$  – бесконечно удаленная граница области  $\nu$ ;  $n_q$  – направляющие косинусы нормали к ней.

Если учесть, что интегрирование по бесконечно удаленной границе вследствие эргодичности поля деформаций эквивалентно статистическому осреднению, то соотношение (31) можно привести к виду

$$\begin{aligned} K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} &= \int_{\nu^{(2)}} G_{(ip,j)q}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} d\nu^{(2)}, \\ \varphi^{0(2)} &= \varphi^{(2)} - \langle \varphi \rangle. \end{aligned} \quad (32)$$

### Библиографический список

1. Запруднов, В.И. Трехслойные конструкции с древесно-цементными теплоизоляционными слоями: Монография – 2-е изд. / В.И. Запруднов. – М.: МГУЛ, 2006. – 322 с.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОПЕРЕДАЧ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

В.В. ЛОЗОВЕЦКИЙ, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,

А.А. ШАДРИН, проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук,

К.А. АБАСОВ, доц., канд. техн. наук,

А.Н. КОМЯКОВ, доц. каф./ транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук

*lozovetskiy@mgul.ac.ru*

Гидрообъемные и гидродинамические передачи являются важным составным звеном привода трансмиссии автотранспортных средств и рабочих систем транспортно-технологических машин. Применение этих гидропередач позволяет создать надежные и безопасные автотранспортные средства с автоматическим управлением. По сравнению с механическими гидравлические объемные и динамические передачи обладают рядом преимуществ. Однако, как показывает анализ результатов эксплуатации и исследований динамики привода с этим типом передач, они не всегда обеспечивают надежную и долговечную работу машин. Расчет параметров гидропривода машин производится в основном без учета динамических характеристик, которые в условиях действия пульсирующих нагрузок в рабочем органе машин оказывают решающее влияние на долговечность и эффективность функционирования этого типа привода.

Анализ многочисленных экспериментальных исследований оказывает, что, в общем случае, нагрузки, действующие на рабочие органы многих машин, можно рассматривать как стационарные, случайные процессы, к которым для определения вероятностных характеристик применимы методы и формулы теории случайных функций. Основными характеристиками этих функций, позволяющими производить анализ их влияния на динамические системы, являются математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция.

Если известна корреляционная функция нагрузочной диаграммы трансмиссии автотранспортного средства  $K(\tau)$ , то спектральная плотность может быть определена по формуле

$$S_{\text{вх}}(\omega) = 1/2\pi \int_{-\infty}^{\infty} K(\tau) e^{-i|\omega|\tau} d\tau. \quad (1)$$

По известной спектральной плотности нагрузок на входе  $S_{\text{вх}}(\omega)$  для линейной системы, уравнения движения которой известны, можно определить спектральную плотность на выходе системы  $S_{\text{вых}}(\omega)$  из выражения

$$S_{\text{вых}}(\omega) = |W(i\omega)|^2 S_{\text{вх}}(\omega). \quad (2)$$

Дисперсия нагрузок в приводе, характеризующая величину амплитуды переменной составляющей выходного параметра (давления или числа оборотов) гидрообъемного привода, может быть вычислена по формуле

$$D = \int_{-\infty}^{\infty} |W(i\omega)|^2 S_{\text{вх}}(\omega) d\omega, \quad (3)$$

где  $W(i\omega)$  – частотная характеристика привода.

Анализ уравнений спектральной плотности (1) и дисперсии (3) показывает, что на дисперсию нагрузок в приводе наиболее существенное влияние оказывают частотная характеристика привода и характеристика нагрузочной диаграммы трансмиссии. При исследовании динамических свойств гидропередач необходимо иметь в виду, что амплитудно-частотные и амплитудно-фазовые характеристики полностью описывают только линейные системы.

Проведенные исследования ряда авторов показали, что характеристики привода в рабочей зоне практически линейны. Поэтому изучение динамических свойств по амплитудно-частотным и амплитудно-фазовым характеристикам правомерно. Исследование динамики объемного гидропривода базируется на рассмотрении общего уравнения движения системы. Амплитудно-частотная характеристика в этом случае может быть представлена выражением

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{d_m/2\pi\sqrt{E/VJ}}\right)^2\right]^2 + \left[\frac{J(k_n + k_m)\omega}{(d_m/2\pi)^2}\right]^2}}, \quad (4)$$

а квадрат модуля характеристики будет иметь вид

$$[W(i\omega)]^2 = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{d_m/2\pi} \sqrt{\frac{E}{VJ}}\right)^2\right]^2 + \left[\frac{J(k_n + k_m)\omega}{(d_m/2\pi)^2}\right]^2}, \quad (5)$$

где  $J(k_n + k_m)\omega / (d_m / 2\pi) = \xi$  – коэффициент, характеризующий декремент затухания.

Анализ выражения (4) показывает, что на амплитудно-частотную характеристику объемного гидропривода вращательного движения значительное влияние оказывает объемная постоянная гидромотора  $d_m$ , коэффициент утечек насоса и гидромотора  $k_n$  и  $k_m$ , эквивалентный модуль упругости жидкости и трубопровода  $E$ , полный момент инерции  $J$ .

Установлено, что для автотранспортных средств транспортно-технологических машин полученные экспериментальные кривые корреляционных функций с достаточной для практических расчетов точностью аппроксимируются выражениями

$$K(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|}, \quad (6)$$

$$K(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta \tau. \quad (7)$$

Для корреляционной функции нагрузки вида  $K(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|}$  дисперсия может быть представлена в развернутом виде зависимостью

$$D = \frac{\sigma^2 [\alpha + (k_n + k_m)E/V]}{(k_n + k_m) \frac{E}{V} \left[ 1 + \alpha \frac{J(k_n + k_m)}{(d_m/2\pi)^2} + \frac{\alpha^2}{(d_m/2\pi)^2 E/VJ} \right]}. \quad (8)$$

Собственная круговая частота гидропривода вращательного действия определяется зависимостью

$$\omega_c = \frac{d}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{VJ}}. \quad (9)$$

Для корреляционной функции нагрузки вида  $K(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta \tau$  дисперсия может быть определена из выражения

$$D = \sigma^2 (\omega_c/2\xi) \times [\alpha A^2 + 4\alpha^2 \xi \omega_c + \alpha(4\xi + 1)\omega_c^2 + 2\xi \omega_c] / [A^4 + 4\alpha \xi A^2 \omega_c + (4\alpha^2 + 4\xi^2 A^2 - 2A^2)\omega_c^3 + \omega_c^4]. \quad (10)$$

Выражения (8), (10) позволяют установить дисперсию на выходе системы в зависимости от параметров привода и от характеристики нагрузочной диаграммы рабочего

органа, определяемой корреляционной функцией. Показатели корреляционной функции  $\alpha$  и  $\beta$ , а также спектральная плотность нагрузок могут быть определены на основании осциллографических записей рабочего процесса автотранспортного средства. Так как дисперсия характеризует величину амплитуды переменной составляющей выходного параметра, то, используя выражения (8) и (10), можно найти такие параметры привода, при которых дисперсия была бы наименьшей. Анализ уравнения (3) показывает, что на дисперсию выходного параметра существенное влияние оказывает частотная характеристика привода, которая, как следует из наших исследований, в свою очередь определяется в основном параметрами, представленными в уравнении (5). Используя выражения дисперсии (8), (10) и задаваясь различными значениями параметров объемного гидропривода в виде постоянных времени, собственной частоты, декремента затухания или других параметров, определяющих частотную характеристику объемного гидропривода и вычисляя для них дисперсии нагрузок в элементах привода для корреляционных функций вида (6) или (7), строят в виде графиков зависимости  $D = f(k_n, k_m, d_n, d_m, E, V, J, \omega_c, \xi$  и т. д.). Далее из этих графиков определяется минимальное значение дисперсии  $D$ , принимаемое за основу при проектировании гидропривода. Они позволяют выбрать такие параметры, которые обеспечивают работу привода, наиболее полно удовлетворяющую эксплуатационным требованиям, в части улучшения динамики, при переменных нагрузках рабочих органов машин. При определении частотной характеристики объемного гидропривода с высокомоментным гидромотором исходными параметрами, как следует из уравнения (8), являются объемная постоянная гидромотора, коэффициенты утечек насоса и гидромотора, эквивалентный модуль упругости жидкости и трубопровода, объем жидкости, находящейся в нагнетательной магистрали, приведенный момент инерции привода. Статические характеристики гидромотора ВГД-210 при разных  $\tau$  с одновременным нанесением кривых постоянной мощности и КПД изображены на рис. 1.

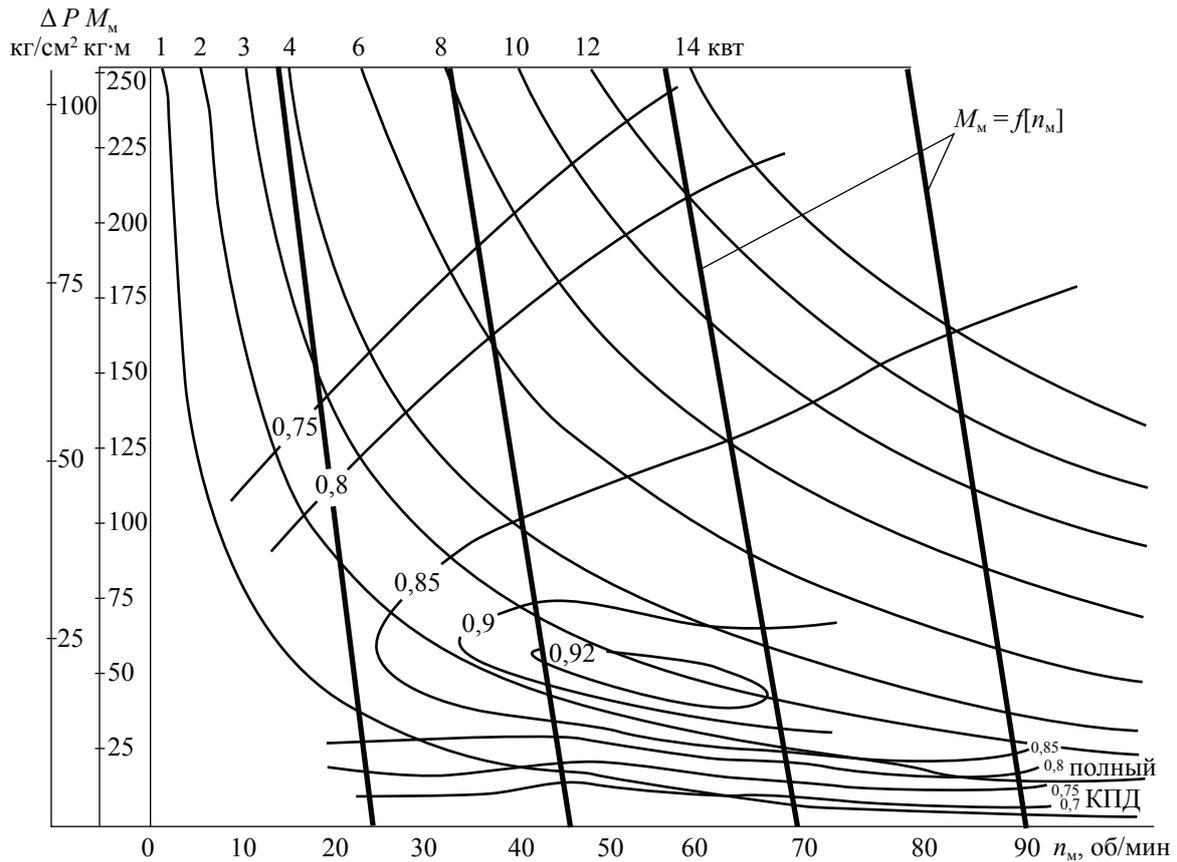


Рис. 1. Характеристики гидромотора ВГД-210 при работе на масле «АУ» с температурой (55÷65) °С

Анализ указанных характеристик позволяет установить, что по регулировочным, маневренным свойствам, а также по своим энергетическим показателям гидромотор ВГД-210 удовлетворяет требованиям, предъявляемым к приводу автотранспортных средств. Коэффициент утечек гидромотора может быть рассчитан по формуле

$$k_m = Q_m (1 - \eta_{об}) / \Delta p,$$

где  $Q_m$  – расход гидромотора;

$\Delta p$  – перепад давления на гидромоторе;

$\eta_{об}$  – объемный КПД гидромотора.

Расчеты, проведенные с использованием статических характеристик регулируемого насоса типа ПД №20, показали, что коэффициент утечек данного насоса (для масла «веретенного» АУ) может быть принят в тех же пределах, что и для гидромотора ВГД. Динамические свойства объемного гидропривода оцениваются частотной характеристикой, к исходным данным для определения которой, а также для расчета привода в режиме неустановившейся нагрузки, согласно уравнениям (8) и (10), относится собственная частота и коэффициент демпфирования.

С использованием частотного и метода переходного процесса определены величины собственной частоты колебаний и коэффициент демпфирования объемного гидропривода с высокомоментным гидромотором ВГД-210. Данные экспериментов показали, что при действии на объемный гидропривод с насосом ПД № 20 и гидромотором ВГД-210 периодических нагрузок в условиях резонанса, степень усиления давления значительно больше степени усиления оборотов. Исходя из вышеизложенного, в качестве оценочного критерия работы объемного гидропривода нами была принята степень неравномерности колебания давления, собственная частота колебаний привода определялась при этом экспериментально с использованием частотного метода. При заданной частоте с периодом  $T^* = 0,115$  с величины усиления давления и крутящего момента вала гидромотора были наибольшими, а период соответствовал условиям резонанса, и собственная частота исследуемого объемного гидропривода определялась из выражения

$$\omega_c^* = 2\pi/T^* = 54,5 \text{ рад/с } (f_c^* = 8,8 \text{ Гц}).$$

С ростом задающей частоты происходит усиление выходного сигнала давления до совпадения с собственной частотой системы, а при дальнейшем увеличении выходной сигнал ослабляется. Колебания переходного процесса происходят с периодом затухающих колебаний, равным  $T^* = 0,12$  сек. Это указывает на то, что испытуемый гидрообъемный привод имеет собственную частоту затухающих колебаний, равную

$$\omega_c^* = 2\pi/T^* = 52,2 \text{ рад/с} \quad (f_c = 8,33 \text{ герц}).$$

Связь между периодом затухающих колебаний  $T^*$  и периодом свободных колебаний системы при отсутствии сопротивления определяется из равенства

$$T^* = \frac{2\pi}{\omega_c^* \sqrt{1-2\xi^2}} = \frac{T}{\sqrt{1-2\xi^2}},$$

где

$$\omega_c = \frac{\omega_c^*}{\sqrt{1-2\xi^2}}$$

– частота собственных колебаний при отсутствии сопротивления;

$\xi$  – коэффициент затухания.

Коэффициент затухания можно определить по экспериментальной кривой переходного процесса с помощью метода логарифмического декремента затухания. С использованием осциллограммы переходного процесса коэффициент демпфирования был подсчитан по формуле

$$\xi = \sqrt{\frac{1}{(\pi/D)^2 + 1}} = 0,25,$$

где  $D = \ln(A_1 / A_2)$  логарифмический декремент затухания;

$A_1$  – амплитуда первого скачка;

$A_2$  – амплитуда второго скачка.

Частота собственных колебаний при отсутствии сопротивления была определена из вышеприведенного равенства и составляла  $\omega = 56$  рад/с.

Для сравнения результатов экспериментов, полученных частотным методом и методом переходных процессов, был произведен аналитический расчет динамических параметров  $\omega_c$  и  $\xi$  гидрообъемного привода.

Ниже приведены величины  $\omega_c$  и  $\xi$ , полученные различными методами:

– частотный метод  $\omega_c = 54,5$  рад/с;  
 $\xi = 0,25$

– метод переходного процесса  $\omega_c = 56$  рад/с,  $\xi = 0,25$

– аналитический расчет  $\omega_c = 60,5$  рад/с,  $\xi = 0,27$ .

Таким образом, расчетные собственная частота и коэффициент демпфирования хорошо согласуются с результатами, полученными экспериментальным путем. Так как специфика объемного гидропривода позволяет сравнительно легко варьировать многие параметры, было проведено исследование с целью определения возможных значений  $\omega_c$  и  $\xi$  при изменении длины нагнетательного трубопровода для некоторых величин  $J$  и суммарного коэффициента утечек гидропривода  $k_y$ . Результаты исследований представлены в виде графиков на рис. 2.

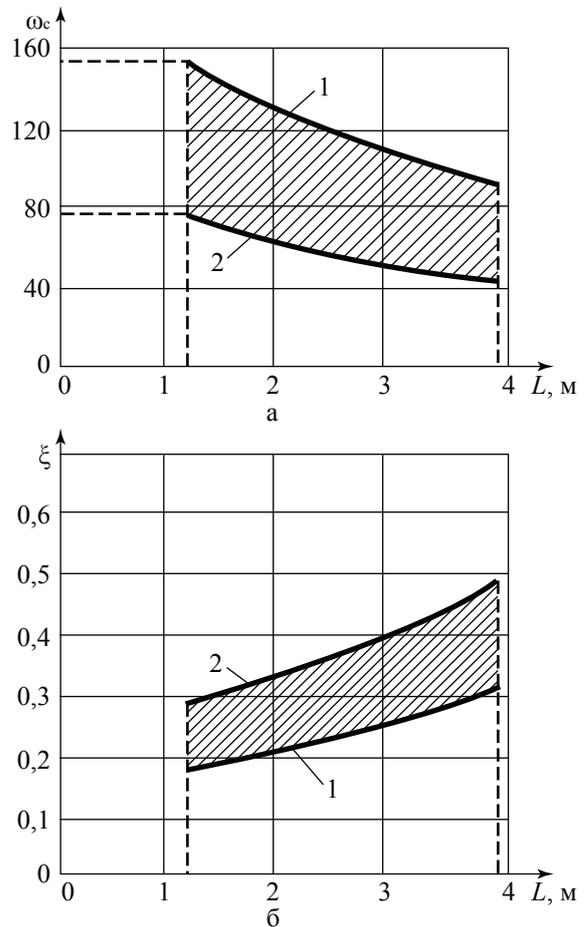


Рис. 2. Параметры, характеризующие работу объемного гидропривода: а) – зависимость амплитудно-частотных характеристик  $\omega_c$  объемного гидропривода с высокомоментным гидромотором от длины нагнетательного трубопровода  $L$ : 1 –  $J = 0,25$  кгм<sup>2</sup>, 2 –  $J = 0,92$  кгм<sup>2</sup>; б) – зависимость  $\xi$  от длины нагнетательного трубопровода  $L$ : 1 –  $K_y = 3$  см<sup>5</sup>/(кгс<sup>2</sup>), 2 –  $K_y = 6$  см<sup>5</sup>/(кгс<sup>2</sup>)

Наибольшее значение усиления в системе при частоте внешней нагрузке, совпадающей с собственной частотой колебания привода, для различных длин нагнетательного трубопровода изменилось от 2,5 до 1,67 (при  $J = 0,92 \text{ кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$  и  $k_y = 6 \text{ см}^5/\text{кг}\cdot\text{с}^2$ ). Полученные результаты показывают, что для объемных гидроредукторов автотранспортных средств величины коэффициента демпфирования и собственной частоты колебаний могут быть получены в широких пределах, в том числе и за счет изменения длины нагнетательного трубопровода. Это позволяет при проектировании выбирать такие параметры объемного гидропривода, которые обеспечат работу автотранспортных средств с улучшенной динамикой.

Аналитические исследования привода машин с турбомуфтой позволили получить уравнение динамической характеристики гидромуфты при работе ее до величины, не превышающей критического значения ( $S < S_{кр}$ ), в виде

$$S = v_r(M + T_r(dT/d\tau)), \quad (11)$$

где  $S = (\omega_1 - \omega_2) / \omega_1$  – скольжение турбомуфты;

$T_r = L / k_n Fg$  – гидравлическая постоянная времени при работе на рабочей части механической характеристики турбомуфты;

$v_r = K_n \rho / K_m F$  – коэффициент крутизны статической характеристики турбомуфты;

$K_m = M / Q$  – коэффициент момента;

$K_n = H / Q$  коэффициент напора;

$H$  – создаваемый напор;

$Q$  – расход жидкости в круге циркуляции;

$\rho$  – плотность жидкости;

$L$  – длина средней струйки жидкости в меридианальной плоскости;

$F$  – площадь сечения циркуляционного потока.

Уравнение движения привода турбомуфты запишем в виде

$$M = M(\tau) - J(dS/d\tau)\omega_r. \quad (12)$$

Решив уравнения (11) и (12), после ряда преобразований получим выражения амплитудно-частотной характеристик как отношение амплитуды момента, передаваемой турбомуфтой, к амплитуде момента сопротивления как функции частоты возбуждения  $\varpi$

$$\varpi = AM / AM_c = \frac{1}{\sqrt{(1 - T_{гм} T_r \omega^2) + \omega^2 T_{гм}}}, \quad (13)$$

где  $T_{гм} = V_r J_{пр} \omega_1$  – гидромеханическая постоянная времени.

Полученные выражения амплитудно-частотных характеристик позволяют оценить влияние на привод гидравлических переходных процессов в гидромуфтах при циклической нагрузке на основе физических параметров, приведенных в выражении (13).

Сравним динамические свойства привода с турбомуфтой и электромеханического привода, имеющего электромагнитную постоянную времени  $T_э = 0,0485 \text{ с}$  и общий приведенный момент инерции  $J_{пр.эм} = 0,975 \text{ м}^4$ , используемых для привода одинаковой нагрузки.

Электродвигатель типа КОФ-22/4 имеет номинальную мощность 22 кВт и частоту вращения  $n_{эд} = 1475 \text{ об/мин}$ . Отношение электромагнитной постоянной нагрузки к электромеханической постоянной электропривода, равной  $T_{мэ} = 0,0178 \text{ с}$ , составляет 2,725.

Для привода с турбомуфтой ТП-345 момент инерции турбинного колеса и части жидкости турбомуфты равен  $J_{гж} = 0,19816 \text{ м}^4$ . В результате экспериментальных исследований было определено, что турбомуфта ТП-345 при наполнении  $V_r = 9,5 \text{ л}$  имеет коэффициент крутизны статической характеристики  $v_r = 0,0004073$  и гидравлическую постоянную времени  $T_r = 0,058 \text{ с}$ . Гидромеханическая постоянная времени для привода с турбомуфтой равна  $T_{гм} = v_r J_{об.г} \omega_c = 0,0292 \text{ с}$ . Отношение гидравлической постоянной времени  $T_r$  к гидромеханической постоянной времени  $T_{гм}$  привода с турбомуфтой равно 1,98.

Собственная круговая частота незатухающих колебаний равна:

а) для электромеханического привода конвейера

$$\omega_{эс} = \frac{1}{\sqrt{T_э T_{мэ}}} = \frac{1}{\sqrt{0,0485 \cdot 0,0178}} = \frac{1}{0,0294} = 34 \text{ рад/сек или } f_{эс} = \omega_{эс} / 2\pi = 5,4 \text{ Гц};$$

б) для привода с турбомуфтой

$$\omega_{го} = \frac{1}{\sqrt{T_r T_{гм}}} = \frac{1}{\sqrt{0,058 \cdot 0,0292}} = \frac{1}{0,041} = 24,4 \text{ рад/сек или } f_{го} = 24,4 / 2\pi = 3,8 \text{ Гц}.$$

В частности, при частоте колебаний нагрузки, равной  $\omega = 50$  рад/с, отношение коэффициентов усиления привода с асинхронным двигателем в 2,4 больше, чем привода с турбомуфтой. Сравнение динамических усилий свидетельствует о том, что в случае привода с турбомуфтой колебания усилий снижаются в  $(1,25 \div 2)$  раза, по сравнению с электроприводом от асинхронного двигателя при прочих равных условиях. Было установлено, что тип привода определяет степень неравномерности движения нагрузки.

Для проверки полученных зависимостей, характеризующих динамические свойства системы, с турбомуфтой и с приводом от асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, были проведены экспериментальные исследования частотных характеристик привода с предохранительной турбомуфтой ТМ-5 и электропривода с асинхронным приводом типа МА-94 Ф 22/4 мощностью  $N_s = 22$  кВт на специально спроектированном и изготовленном стенде.

На рис. 3 приведены амплитудно-частотные характеристики привода с турбомуфтой и без нее при частоте нагрузок 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10; 15; 25 Гц. При использовании турбомуфты амплитудно-частотная характеристика привода меняется. В частности, существенно уменьшается амплитуда колебания момента ведущего вала турбомуфты  $M_{1A}$  при частоте нагружения 8 Гц, а при частоте более 10 Гц отношение амплитуд  $M_{1A}/M_{2A}$  стремится к нулю.

Для привода без турбомуфты отношение амплитуд  $M_{1A}/M_{2A}$  при неограниченном возрастании частоты нагружения стремится к нулю, но при частотах до 25 Гц составляет значительно большую величину, чем для привода с гидромуфтой. Наибольшее значение отношение  $M_{1A}/M_{2A}$  имеет место при частоте внешней нагрузки, совпадающей с собственной частотой колебания системы.

Для создания высокопроизводительных и долговечных машин необходимо применение регулируемых гидроредукторов как гидродинамических, так и гидрообъемных. Такие системы обладают минимальной инерционностью, большой перегрузочной способностью по статическому моменту и

внешней характеристикой, обеспечивающей оптимальный режим работы за счет изменения силовых и скоростных параметров по гиперболическому или близкому к нему закону при постоянной мощности. Представляет интерес гидротрансформатор с «непрозрачной» характеристикой, обеспечивающий автоматическую работу привода при постоянной мощности в диапазоне экономичного регулирования 1:2,7.

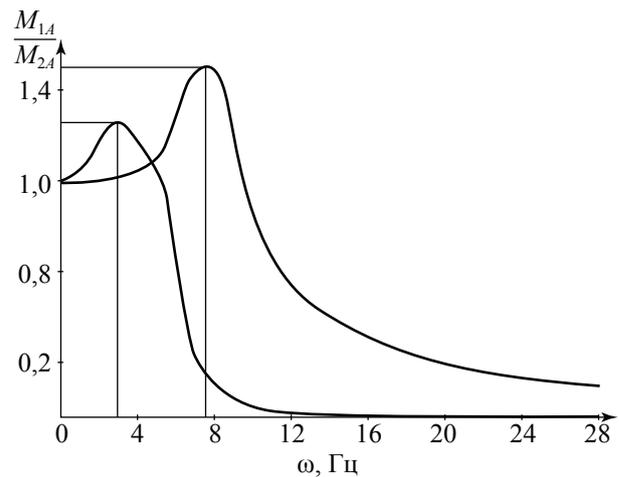


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики приводов: 1 – с турбомуфтой и 2 – с асинхронным двигателем

Установка гидротрансформатора повышает перегрузочную способность привода, и поэтому при такой схеме возможно уменьшение мощности двигателя без ухудшения эксплуатационных характеристик машины.

На основе статистической обработки большого количества осциллограмм получены графики плотности распределения (частности) по максимальным и минимальным усилиям, по размаху усилий для привода с гидротрансформатором и с асинхронным двигателем, из которых следует, что гидротрансформатор обладает естественно мягкой внешней механической характеристикой при моменте инерции турбинного колеса в 4–5 раз меньше момента инерции ротора электродвигателя, что позволяет существенно улучшить динамику системы.

Колебания внешней нагрузки, действующей на турбинный вал гидротрансформатора в широком спектре частот и амплитуд, совершенно не передаются на насосный вал

гидротрансформатора и, следовательно, на вал приводного электродвигателя.

Анализ экспериментальных данных показал, что динамический момент на турбинном валу гидротрансформатора от неустановившегося движения рабочей жидкости превышает статический момент примерно на 10 %, что необходимо учитывать при расчете трансмиссии на прочность. Также установлено, что момент на ведущем валу гидротрансформатора  $M_{\text{н}}$  практически остается постоянным и не изменяется, несмотря на значительные колебания момента на ведомом валу гидротрансформатора  $M_{\text{т}}$ .

Следовательно, амплитудно-частотная характеристика гидротрансформатора типа МРЭ (Б0-16) сливается с осью абсцисс. Статическая характеристика «непрозрачного» гидротрансформатора весьма близка к его динамической характеристике в диапазоне 1–100 герц.

Экономическое значение снижения амплитудно-частотных характеристик гидродинамического привода определяется их влиянием на продолжительность межремонтного времени, снижением энергетических затрат и повышением надежности и производительности машин.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ

О.Н. БУРМИСТРОВА, *Ухтинский ГТУ д-р техн. наук,*  
Н.Р. ШОЛЬ, *Ухтинский ГТУ канд. техн. наук,*  
Н.Н. ТРАВИН, *аспирант Ухтинский ГТУ*

*vsoldatenkov@ugtu.net*

Экспериментальные исследования лесосечных машин подразделяются на лабораторные и производственные.

Наиболее достоверную информацию дают производственные экспериментальные исследования с применением тензометрической аппаратуры. Однако во многих случаях трудоемкие производственные исследования частично или полностью могут быть заменены лабораторными. В то же время при проведении лабораторных экспериментальных исследований необходимо обеспечить условия работы, адекватные или близкие к производственным.

Необходимо также учитывать и то, что при работе лесосечных машин их нагруженность во многом зависит от квалификации оператора. Поэтому для проведения экспериментальных исследований лесосечных машин необходимы опытные операторы.

Задачи экспериментальных исследований нагруженности валочно-пакетирующих машин (ВПМ) при разборе завалов леса после ветровалов можно свести к следующим:

1. Выявить реальные динамические характеристики и произвести оценку нагру-

женности ВПМ в процессе разбора завалов леса после ветровалов.

2. Проверить корректность принятых гипотез и допущений при математическом моделировании.

3. Разработать рекомендации по применению математического моделирования в инженерных расчетах.

4. Разработать рекомендации по использованию ВПМ на разборке завалов леса.

Исследования валочно-пакетирующих машин связаны с изменением изучаемых характеристик во времени, что вызывает необходимость фиксирования их на записывающем устройстве – осциллографе.

Выбор систем измерительных приборов зависит от характера регистрируемых процессов и типа электрических преобразователей сигналов в системах датчиков.

К аппаратуре и источникам питания при записи динамических процессов предъявляются следующие основные требования:

- безынерционность измерительной аппаратуры;
- безотказность в работе воспринимающих элементов;

– погрешность измерений не должна превышать  $\pm 5\%$ ;

– частные характеристики датчиков должны находиться в соответствии с продолжительностью действия нагрузок и их величиной;

– измерительная и регистрирующая аппаратура не должны оказывать существенного влияния на параметры исследуемой машины и оператора;

– напряжение источников питания осциллографа и датчиков должно быть постоянным;

– собственная частота колебаний регистрирующего прибора должна быть не менее чем в 10 раз выше частоты вынужденных колебаний;

– аппаратура должна работать надежно и устойчиво;

– все элементы аппаратуры и источники питания должны быть защищены от влаги, пыли и механических повреждений.

В подготовительные работы входит: проектирование и изготовление датчиков; тарирование датчиков; монтаж датчиков и аппаратуры на машине; подсоединение датчиков и регистрирующей аппаратуры к общей схеме; настройка аппаратуры; получение пробных осциллограмм и их анализ.

Последовательность проведения экспериментальных исследований:

1) Определение необходимого числа опытов по пробным осциллограммам. Необходимое число опытов можно определить по формуле [1]

$$N = (xV)^2 / \varepsilon^2, \quad (1)$$

где  $x$  – коэффициент, равный 1,96 для принятой вероятности  $P(x) = 0,95$ ;

$V$  – мера изменчивости;

$\varepsilon$  – показатель точности исследований.

Мера изменчивости  $V$  и показатель точности исследования  $\varepsilon$  определяются по выражениям

$$V = (\bar{\delta} / \bar{x}) \cdot 100\% \text{ и } \varepsilon = \delta_x / x \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $\bar{\delta}$  – основное отклонение;

$\delta_x$  – основная ошибка;

$\bar{x}$  – среднее значение измеряемой величины.

Вышеперечисленные параметры определяются по формулам

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}}; \delta_x = \frac{\bar{\delta}}{\sqrt{\sum_{i=1}^k n_i}}; \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (3)$$

где  $x_i$  – значение измеренной величины;

$n_i$  – количество измерений.

2) Фиксируемые параметры. При исследовании динамической нагруженности силовых установок валочно-трелевочных и валочно-пакетирующих машин в режиме разгона и стопорения при разборе завалов леса после ветровала основной задачей является определение динамических моментов в приводе «силовая установка – манипулятор» и «силовая установка – платформа с манипулятором» в зависимости от объемов пакетируемых деревьев и форсирования пусковых и тормозных (стопорящихся) режимов.

С этой целью целесообразно в процессе исследований указанных режимов фиксировать давление в гидролиниях привода элементов манипулятора, ЗСУ и платформы, что позволяет осуществить переход от давлений к моментам, воспринимаемым силовой установкой или манипулятором. Одновременно в целях установления связи между внешней нагрузкой, давлением в гидроприводе и частотой вращения вала силовой установки необходимо фиксировать и частоту вращения гидронасосов или гидромоторов машин. Кроме записи перечисленных параметров для расшифровки осциллографических записей и контроля скоростных характеристик элементов технологического оборудования необходимо замерить угловые перемещения манипулятора и платформы.

В тех случаях, когда в процессе проведения лабораторного эксперимента величина вылета манипулятора и высота подъема облома над поверхностью земли постоянны и полностью определяют положение груза, стрелы и рукояти относительно друг друга, в непрерывном фиксировании необходимости нет. При одновременном перемещении нескольких элементов манипулятора целесообразно фиксировать все угловые перемещения.

## ВЫПОЛНЕНИЕ ТРЕЛЕВКИ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОГО И НЕПРЕРЫВНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

Ф.В. ПОШАРНИКОВ, *проф. каф. технологии и оборудования лесозаготовительного производства ВГЛТА, д-р техн. наук,*  
В.В. АБРАМОВ, *ассистент каф. технологии и оборудования лесозаготовительного производства ВГЛТА*

*vglta@vglta.vrn.ru*

**В** настоящее время главные принципы ведения лесного хозяйства и лесозаготовки – постоянное, непрерывное и неистощимое лесопользование. При этом эффективность проведения рубок в значительной степени определяет трелевка, являющаяся самой затратной операцией на лесосеке. При ее совершенствовании, особенно на рубках ухода за насаждением, одновременно с обеспечением наибольшего производственно-экономического эффекта важно избежать снижения лесоводственного результата, а также уменьшить негативные экологические последствия в виде повреждений оставляемого древостоя. Такой комплексный подход в оценке эффективности выполнения трелевки остается проблемным вопросом по причине отсутствия на сегодняшний день критерия качества, позволяющего совершенствовать операцию по следующим противоречивым направлениям: рост производительности труда, уменьшение негативных лесоводственно-экологических последствий, снижение потерь древесины, уменьшение материальных и трудовых затрат. В связи с этим предлагается следующий критерий оценки эффективности

$$C = C_{\text{пр}} + C_{\text{к}} + C_{\text{д}} = (C_{\text{м-см}} M_i / \Pi_{\text{см}}) + Z_{\text{ср}} S_{\text{н}} \Delta_{\text{тек}} T + S_{\text{н}} C_{\text{п.в.}}, \quad (1)$$

где  $C$  – общие затраты на выполнение трелевки, руб;

$C_{\text{пр}}$  – прямые затраты на выполнение трелевки, руб;

$C_{\text{к}}$  – косвенные затраты на выполнение трелевки, руб;

$C_{\text{д}}$  – дополнительные затраты на выполнение трелевки, руб;

$C_{\text{м}}$  – себестоимость содержания машинокомплекса трелевочной техники, руб;

$M_i$  – вырубемый объем древесины на лесосеке в  $i$ -й прием рубок;  $\text{м}^3$ ;

$\Pi_{\text{см}}$  – сменная производительность трелевочной техники,  $\text{м}^3$ ;

$Z_{\text{ср}}$  – средняя цена заготавливаемой древесины, руб/ $\text{м}^3$ ;

$S_{\text{н}}$  – непродуцирующие площади на лесосеке, га;

$\Delta_{\text{тек}}$  – годичный прирост древесины,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

$T$  – интервал между приемами рубок, лет;

$C_{\text{п.в.}}$  – себестоимость подготовки 1  $\text{м}^2$  технологических площадей, руб/ $\text{м}^2$ .

Прямые затраты представляют собой стоимость трелевки всей заготавливаемой на лесосеке в  $i$ -й прием рубок древесины. К косвенным затратам относится стоимость потерь в приросте от технологических площадей на лесосеке. Дополнительные затраты выражают собой стоимость подготовки транспортной сети для трелевочной техники. Представленный критерий позволяет совершенствовать трелевку по пути снижения ее себестоимости за счет роста производительности; снижения денежных потерь путем уменьшения доли непродуцирующих технологических площадей. В связи с этим представляется целесообразным общие затраты на выполнение трелевки  $C$  принять за основную целевую функцию, а остальные, необходимые для более полной и глубокой оценки эффективности, считать дополнительными. В качестве дополнительных критериев к основному предлагаются прямые  $C_{\text{пр}}$ , косвенные  $C_{\text{к}}$  и дополнительные  $C_{\text{д}}$  затраты на трелевку, которые входят в основную критерий  $C$ , а также затраты труда

$$C_{\text{тр}} = n_p M_i / \Pi_{\text{см}}, \quad (2)$$

где  $n_p$  – количество задействованных в технологическом процессе рабочих и показатель повреждаемости оставляемых деревьев

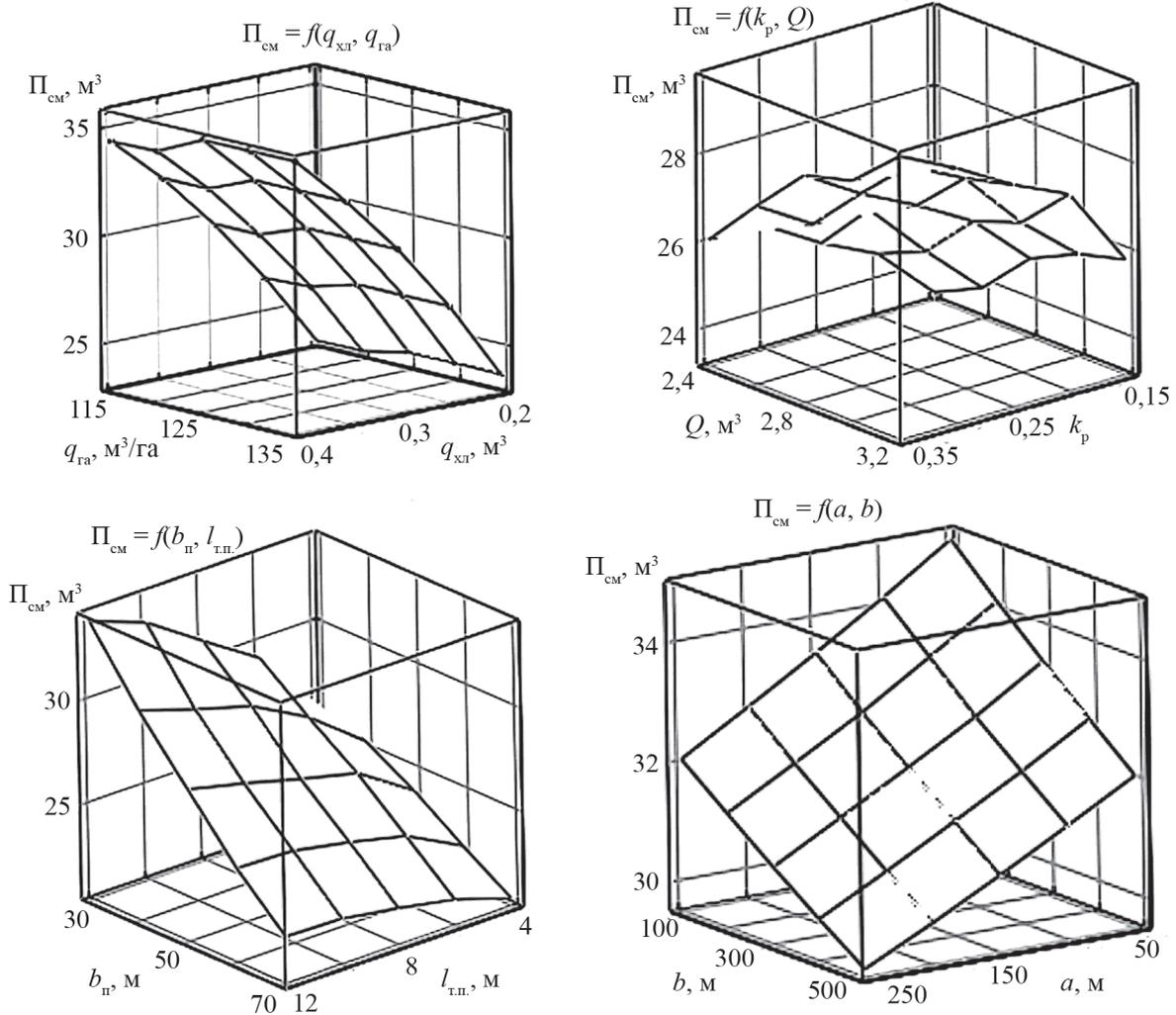


Рисунок. Зависимости сменной производительности МТЗ-82 + ЛТП-2 от основных факторов влияния

$$W_{\text{повр.}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{j=1}^m x_j}, \quad (3)$$

где  $P_i$  – вероятность повреждения оставляемых деревьев на лесосеке;

$x$  – количество прогнозируемых повреждений.

Таким образом, задача оптимизации трелевки становится многокритериальной, при этом основной критерий  $C$  является функцией дополнительных критериев  $C = (C_{\text{пр}}, C_{\text{к}}, C_{\text{д}}, C_{\text{тр}})$  и лишь один из дополнительных критериев  $W_{\text{повр.}}$  непосредственно математически не связан с основным критерием  $C$ .

Анализ отдельных критериев оптимизации позволяет сделать однозначные выводы об эффективности процесса трелевки, однако полное решение оптимизационной задачи требует рассмотрения взаимодействия допол-

нительных критериев и их совокупности. Это задача векторной оптимизации. Для перехода от векторного критерия к скалярному можно использовать метод комплексного критерия. Для этого необходимо, применяя так называемый способ свертки критериев, определить вес каждого из них. Рекомендуется этот вес устанавливать исходя из опыта и знаний исследователя, если предварительно накоплены сведения об оптимизируемом объекте. В этом случае отпадает необходимость прибегать к экспертной оценке, методу последовательных уступок, отбору критериев по методу множества Парето и другим приемам.

Для формирования обобщенного критерия используем способ его выражения в виде дроби, где в числителе будет сумма всех частных критериев, которые надо минимизировать, а в знаменателе – максимизируемых критериев. Необходимым условием свертки

критериев в виде дроби является их одинаковая размерность. Предложенные нами критерии  $C$ ,  $C_k$ ,  $C_d$ ,  $C_{тр}$  этому условию не соответствуют, поэтому приведем их к безразмерной величине

$$\begin{aligned} q_1 &= 1 - (C_{\max} - C_{\min}) / C_{\max}; \\ q_2 &= 1 - (C_{пр.\max} - C_{пр.\min}) / C_{пр.\max}; \\ q_3 &= 1 - (C_{к.\max} - C_{к.\min}) / C_{к.\max}; \\ q_4 &= 1 - (C_{д.\max} - C_{д.\min}) / C_{д.\max}; \\ q_5 &= 1 - (C_{тр.\max} - C_{тр.\min}) / C_{тр.\max}; \\ q_6 &= 1 - W_{повр.\min} \end{aligned} \quad (4)$$

где  $C_{\max}$ ,  $C_{\min}$ ,  $C_{пр.\max}$ ,  $C_{пр.\min}$ ,  $C_{к.\max}$ ,  $C_{к.\min}$ ,  $C_{д.\max}$ ,  $C_{д.\min}$ ,  $C_{тр.\max}$ ,  $C_{тр.\min}$ ,  $W_{повр.\min}$  – максимальные и минимальные значения результатов оптимизации по каждому критерию в отдельности.

По мнению большинства экспертов [4–6], значимость критерия качества проведения рубок несколько превосходит их экономическую целесообразность и затраты труда. В связи с этим, приняты следующие весовые коэффициенты:  $\lambda_1 = 0,1$ ;  $\lambda_2 = 0,1$ ;  $\lambda_3 = 0,1$ ;  $\lambda_4 = 0,1$ ;  $\lambda_5 = 0,1$ ,  $\lambda_6 = 0,5$ . Таким образом, единый обобщенный критерий можно определить на основании взвешивания каждого отдельного критерия следующим образом

$$Q = (\lambda_1 q_1 + \lambda_2 q_2 + \lambda_3 q_3 + \lambda_4 q_4) / (\lambda_5 q_5 + \lambda_6 q_6), \quad (5)$$

где  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_5$ ,  $q_6$  – показатели общих, прямых, косвенных, дополнительных, трудовых затрат на трелевку и повреждаемости древостоя в безразмерном виде.

Для выполнения оптимизации процесса трелевки предложенным комплексным критерием на основе теоретических и экспериментальных исследований были разработаны имитационные модели по определению производительности работы трех типов трелевочной техники (МТЗ-82 + ЛТП-2; МТЗ-82 + ЗТЛ-2; ЛТЗ-55 + ЛТН-1 + ТТР-401), наиболее предпочтительной для рубок ухода. Разработанные модели, отражающие взаимосвязь параметров технических средств с природно-производственными условиями их эксплуатации (рисунок), успешно прошли производственную проверку на адекватность сопоставлением результатов компьютерного и натурного эксперимента, проведенного в Левобережном лесничестве

Учебно-опытного лесхоза ВГЛТА, что позволяет не только достоверно прогнозировать показатели функционирования техники в различных условиях, но и использовать их внутри предложенного комплексного критерия оптимизации.

В результате предлагаемая оптимизационная модель позволяет для конкретных условий производства и природной среды (запас на гектаре –  $q_{га}$ , средний объем заготавливаемого хлыста –  $q_{хл}$ , длина лесоматериала –  $l_1$ , удаленность лесоматериала на пасеке от трелевочного волока  $l_2$ , густота древостоя –  $\nu$ ) выбирать основные наиболее существенные факторы влияния (ширина пасеки –  $b_{п}$ , ширина ленты –  $l_{т.п.}$ , ширина волока –  $b_v$  и ширина –  $b_{вз}$  визира, оттягивание собирающего троса трелевочной техники на пасечном волоке –  $l_{т.о.}$ , интенсивность рубки –  $k_p$ , угол между визиром (лентой) и пасечным волоком –  $\alpha$ , рейсовая нагрузка трелевочного средства –  $Q$ , ширина –  $b$  и глубину –  $a$  разрабатываемой делянки) и обосновывать их оптимальные параметры.

#### Библиографический список

1. Пошарников, Ф.В. Трелевка леса в малолесных районах России / Ф.В. Пошарников, В.В. Абрамов. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – 63 с.
2. Пошарников, Ф.В. Анализ состояния и перспектив развития техники для выполнения переместительных операций на рубках промежуточного пользования по хлыстовой и сортиментной технологиям / Ф.В. Пошарников, В.В. Абрамов // Технологии, машины и производство лесного комплекса будущего: материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – Ч. II. – С. 122–126.
3. Пошарников, Ф.В. Моделирование и оптимизация процессов в лесном комплексе: учеб. пособие / Ф.В. Пошарников. – Воронеж: ВГЛТА, 2002. – 270 с.
4. Герасимов, Ю.Ю. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок: учеб. пособие / Ю.Ю. Герасимов, В.С. Сюнев. – Йоэнсу, 1998. – 178 с.
5. Гильц, Н.Р. Совершенствование лесозаготовок в лесах I группы / Н.Р. Гильц, К.К. Демин, В.М. Емельянов. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – № 7. – С. 8–9.
6. Гильц, Н.Р. Несплошные рубки леса: учеб. пособие / Н.Р. Гильц, В.В. Федоров, В.А. Васюков и др. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 192 с.

## СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ НА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Л.А. ДЕГТЯРЕВА, асп. каф. экономики и организации л/х и л/н МГУЛ,

Т.В. РЫЖКОВА, доц. каф. экономики и организации л/х и л/н МГУЛ, канд. экон. наук

*caf-elh@mgul.ac.ru*

**В**ыбор системы технического обслуживания и ремонта машин (ТО и Р) влияет на эффективность использования оборудования, работы у предприятия и представляет собой очень сложный и наукоемкий процесс.

Системы ТО и Р оказывают колоссальное влияние на эффективность использования оборудования. Раньше при конструировании и создании новых лесных отечественных машин основное внимание было сосредоточено на повышении надежности оборудования, а вопросам ремонтпригодности уделялось недостаточно внимания. При этом важной характеристикой качества и надежности являются именно затраты на эксплуатацию и ремонт. Исследованиями ГОСНИТИ установлено, что доля затрат на технический сервис достигает 20–25 % от балансовой стоимости оборудования. В целом только ежегодные затраты на техническое обслуживание и ремонт машин составляют около 8 % стоимости валовой продукции лесозаготовительных предприятий. Примерно 50 % составляет стоимость запасных частей. 38–40 % от всех затрат на ТО и Р приходится на устранение последствий отказов и текущий ремонт. Поэтому одной из первостепенных задач, стоящих перед лесозаготовительными предприятиями, является снижение данных затрат.

С переходом на рыночные отношения в нашей стране переменились все производственно-экономические отношения. И это привело к тому, что перед лесозаготовительными предприятиями (ЛЗП) встали две существенные проблемы.

Первая заключается в том, кто должен заниматься вопросами обслуживания и ремонта техники. До начала реформ каждое предприятие лесопромышленного комплекса имело собственную хорошо развитую систему жизнеобеспечения, практически не свя-

занную с производителем техники ни организационно, ни экономически. То есть раньше машиностроительные заводы занимались только изготовлением оборудования, а сейчас ситуация совсем другая – производители лесной техники вынуждены решать полный комплекс задач по обеспечению всего жизненного цикла выпускаемых ими машин. В число этих задач входит также целый комплекс работ по техническому обслуживанию и ремонту. Такая фирменная система жизнеобеспечения машин, которая законодательно закрепляет за производителем ответственность за качество выпускаемой продукции в течение всего жизненного цикла, уже давно применяется во всем мире. В России же она только формируется. Поэтому в последние годы предприятия стали переходить на такую фирменную систему ТО и Р. Этому также способствовали произошедшие в последнее время перемены: во-первых, существенно снизился кадровый потенциал ремонтных служб ЛЗП, а во-вторых, они не всегда могут получить ремонтную документацию в полном объеме. Поэтому такой подход к ремонту основан на экономической заинтересованности ЛЗП, так как они не формируют у себя ремонтное производство, а пользуются квалифицированными услугами специалистов.

Вторая сторона проблемы заключается в том, как будут организованы процессы реализации системы обслуживания и ремонта машины на предприятиях. Изменение формы собственности предприятий лесного комплекса, ослабление рычагов государственного управления предприятиями и изменение подхода к вопросам организации и технологии ремонта привели к тому, что система поддержания технического состояния распалась на многочисленные стратегии, которые иногда не подкрепляются научными разработками. С учетом колоссальной роли и влияния мето-

дов проведения технического обслуживания и ремонта на эффективность использования техники экономическое обоснование новых систем обслуживания и ремонта машин и оборудования на лесозаготовительных предприятиях при сложившихся условиях является весьма острой проблемой.

В настоящее время используются три основные стратегии ремонта:

- планово-предупредительная ( $C_1$ ), которая предполагает проведение строго регламентированных работ в зависимости от наработки и срока службы;

- по потребности ( $C_2$ ), которая предусматривает ремонт после достижения предельного состояния;

- проведение ремонтных работ по фактическому состоянию машины, которое определяется в процессе постоянного диагностирования и контроля ( $C_3$ ).

Поскольку стратегия ремонта объединяет такие этапы, как проектирование, эксплуатация и ремонт машины, то участниками системы ремонта являются и производители лесной техники, которые формируют конкретную систему ТО и Р, и ЛЗП, которые реализуют предложенную систему и обеспечивают поддержание или восстановление работоспособности машины.

Стратегия ремонта формируется на этапе проектирования и реализуется при эксплуатации при проведении ТО и Р.

Планово-предупредительная стратегия ТОиР используется уже почти два века. Ее основоположниками явились английские и немецкие станкостроители, которые уже в конце прошлого века сформировали фирменную систему жизнеобеспечения станочного оборудования. Использованию планово-предупредительной стратегии ТО и Р способствовала высокая концентрация станкостроительных предприятий, территориально расположенных достаточно компактно, на которых применялось большое количество одноименных станков.

В настоящее время данная стратегия довольно широко применяется на предприятиях лесного комплекса. Такая система для предприятий является весьма простой в применении, так как основные работы берут на себя производители лесной техники, которые

должны иметь высокий научный потенциал и вести большие работы по формированию модели изменения технического состояния (МИТС). Эти работы включают прогнозирование сроков службы элементов машины еще на этапе проектирования. При эксплуатации оборудования модели постоянно уточняются. Лесозаготовительные предприятия должны только неукоснительно соблюдать разработанные условия и режимы эксплуатации, то есть выполнять минимальный объем работ по ТО и Р техники. В момент достижения предельного состояния проводятся необходимые работы (например замена детали), и процесс использования машины возобновляется.

С одной стороны, планово-предупредительная система довольно выгодна, так как лесозаготовительные предприятия несут расходы, связанные только с выпуском данной машиной продукции надлежащего качества, а также имеют возможность перспективно планировать затраты на различные виды ремонтных работ и требуемые ресурсы. Но, с другой стороны, совершенно очевидно, что у такой стратегии ремонта есть один существенный недостаток: в силу целого ряда причин однозначно определить момент наступления предельного состояния практически невозможно. Даже неукоснительное соблюдение всех технических условий при производстве и использовании аналогичных машин в аналогичных условиях не гарантирует точного соответствия предельного состояния элемента машины расчетному времени работы. С учетом вероятностной структуры определения момента наступления отказа при использовании такой стратегии ТО и Р возникают две нежелательные ситуации, которые приводят к существенным экономическим потерям:

- 1) недоиспользование ресурса заменяемого элемента, если этот элемент не выработал ресурс на момент замены;

- 2) неплановый ремонт, если момент отказа наступил раньше планируемого срока.

При первой ситуации предприятия несут убытки, связанные с увеличением расхода запасных частей машины, а при второй возникает необходимость неплановой остановки машины, что приводит к незапланированным временным потерям.

Поэтому, учитывая все положительные и отрицательные стороны стратегии  $C_1$ , чтобы затраты на ТО и Р были экономически оправданы, в лесозаготовительных предприятиях должны быть:

- надежная модель изменения технического состояния, которая достаточно точно регламентировала бы время и объемы проведения ремонтных работ;

- превышение затрат, связанных с простым по причине непланового ремонта, над потерями от недоиспользования ресурса принудительно заменяемых элементов;

- относительная простота оборудования.

В последнее время существенно возросла стоимость ошибок планирования и проведения ремонтных работ. В первую очередь это связано с усложнением оборудования на предприятиях ЛК, что привело к увеличению затрат времени и средств на ремонт. Это явилось причиной применения второй стратегии ( $C_2$ ), основу которой составляет определение момента проведения ремонта после достижения машиной предельного состояния.

Формирование стратегии  $C_2$ , также как и  $C_1$ , требует от производителей лесной техники создания сложной модели изменения технического состояния машины. При данной стратегии лесозаготовительные предприятия выполняют ремонтные работы по мере достижения машиной предельного состояния (отказ элемента, параметрический отказ). Поэтому эффективность применения стратегии  $C_2$  во многом зависит от наличия у предприятий надежной методики и критериев распознавания этих предельных состояний. Основной отличительной чертой этой стратегии является применение элементов диагностирования, чтобы сравнить фактическое состояние элемента с предельным, без фиксации промежуточных значений контролируемого параметра. Учитывая это, ЛЗП вынуждены нести дополнительные расходы на приобретение запасных частей широкой номенклатуры и на развитие ремонтной инфраструктуры, позволяющей быстро и качественно выполнять ремонтные работы любой сложности. Положение усложняется еще и тем, что ЛЗП не всегда имеют возможность установить на свое оборудование диагностические устройства, определяющие

предельное состояние элементов машины, поскольку затраты, связанные с усложнением оборудования, могут превысить критическое значение. Все это приводит к существенным затруднениям при планировании затрат на проведение ремонтных работ и является недостатком данной стратегии ремонта.

Следовательно, экономически выгодно применять стратегию  $C_2$ :

- при возможности вывода машины из технологического процесса производства продукции в любой момент времени;

- при относительно небольшой номенклатуре единичных отказов, когда экономические потери от остановки машины не превысят критических значений;

- при небольших затратах времени и средств на устранение единичного отказа;

- при возможности установки на машине диагностических устройств, определяющих предельное состояние элементов;

- при условии, что затраты, связанные с усложнением машины, не превышают критических значений.

В настоящее время стратегия получила достаточно широкое распространение. Однако из-за того, что производители отечественных лесных машин не обеспечивают выпускаемую технику средствами диагностики, ЛЗП не имеют возможности однозначно определить момент наступления предельного состояния, поэтому вторая стратегия устранения отказа после достижения предельного состояния трансформировалась в стратегию устранения отказа после поломки машины. В значительной мере такое положение связано с большими затратами на сбор и обработку информации о состоянии элементов машины в процессе использования.

В настоящее время большие надежды возлагают на стратегию проведения ремонта по фактическому состоянию ( $C_3$ ). Это связано с развитием средств диагностики и компьютерных технологий, что привело к идее непрерывного контроля различных параметров с момента поступления машины в сферу эксплуатации и до наступления предельного состояния ее элементов. При стратегии  $C_3$  наблюдается значительное увеличение затрат на проведение различных видов

работ по ТО и Р техники по сравнению со стратегиями  $C_1$  и  $C_2$  (стратегия  $C_1$  практически не предусматривала выполнение никаких диагностических работ, стратегия  $C_2$  предусматривала сравнение фактического состояния элемента машины с предельным, без фиксации промежуточных значений, а стратегия  $C_3$  основана на постоянном контроле элементов машины).

С одной стороны, стратегия  $C_3$  выгодна предприятиям тем, что обеспечивает высокую безотказность машины при полном использовании ресурса составных частей, а с другой – ее применение требует существенных затрат. ЛЗП, получая от производителей техники нормативно-техническую и ремонтную документацию, а также комплекс контрольно-диагностических приборов, вынуждены постоянно контролировать большое количество диагностических параметров, число которых достигает 100 и более. Экономически это не всегда выгодно, поэтому целесообразно применять данную стратегию только тогда, когда затраты на ее внедрение не превысят потерь, связанных с недостатками первых двух стратегий. Применение третьей системы затруднено еще и тем, что не всегда есть возможность внести в конструкцию лесных машины устройства, определяющие ее состояние, а также большими затратами на изготовление диагностического оборудования. Если учитывать определенные экономические показатели, то затраты на применение третьей стратегии не всегда себя оправдывают, тем не менее она обладает наибольшими возможностями по повышению эффектив-

ности управления техническим состоянием машины.

В каждом конкретном случае стратегию ТО и Р оптимизируют, то есть вырабатывают общее решение в пределах имеющихся стратегий для конкретных условий эксплуатации на конкретном предприятии.

На практике ЛЗП в «чистом» виде рассмотренные стратегии применяют достаточно редко, в основном используются комбинированные системы ТО и Р. А именно, применяются несколько стратегий, каждая – по определенной составной части. Например, работы по номерному техническому обслуживанию (ТО-1, ТО-2, ТО-3) проводятся по первой стратегии, а ремонты – по третьей. При этом работы ТО-1 и ТО-2 совмещаются с проведением работ диагностического плана, по результатам которых оценивается текущее состояние машины и прогнозируются затраты на проведение ремонтных работ.

С технической точки зрения стратегия  $C_3$  обладает наибольшими возможностями повышения эффективности управления техническим состоянием машины. Но при назначении любой стратегии ТО и Р необходимо также учитывать и определенные экономические показатели (таблица), которые говорят о том, что применение стратегии  $C_3$  не всегда выгодно предприятию.

До сих пор не существует достаточно точной стратегии, выбор которой позволял бы эффективно планировать затраты на проведение ТО и Р и обеспечивать при эксплуатации оптимальные методы обнаружения и устранения отказов.

Т а б л и ц а

**Экономические показатели применения стратегий ТО и Р**

Наименование показателя	Применение показателя при стратегии		
	Планово-предупредительная $C_1$	По потребности $C_2$	По фактическому состоянию $C_3$
Средние издержки на устранение последствий отказа, руб.	–	+	+
Средние издержки на диагностирование, руб.	–	+	+
Средние издержки на предупредительное восстановление, руб.	+	–	+
Средние издержки, связанные с простоем объекта, руб./ч (руб./ед. наработки)	+	–	–
Средние издержки на КР, руб.	+	+	+

Машины и оборудование лесопромышленного комплекса становятся все более сложными по структуре и используемым технологиям (например, количество деталей в современном тракторе измеряется десятками тысяч). Это приводит к возникновению колоссальных проблем, связанных с увеличением расходов на проведение ремонтных работ и приобретение различных видов ресурсов, необходимых для эксплуатации и технического обслуживания. Очевидно, что без эффективной работы машин и оборудования производство качественной продукции невозможно. О необходимости изменения и реорганизации систем проведения технического обслуживания и ремонта машин и оборудования лесозаготовительных предприятий, снижения затрат на их проведение говорит мировая практика и отечественный опыт.

#### Библиографический список

1. Абалкин, Л.И. Экономическая стратегия для России: проблема выбора / Л.И. Абалкин. – М.: ИЭ РАН, 1997.
2. Воскобойников, И.В. Техническое диагностирование лесозаготовительных машин / И.В. Воскобойников. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 192 с.
3. Голубев, И.Г. Повышение качества ремонта машин и оборудования в рыночных условиях / И.Г. Голубев. – М.: Информагротех, 1999. – 77 с.
4. Игнатов, В.И. Научные основы формирования стратегии технического обслуживания и ремонта лесных машин / В.И. Игнатов, Н.С. Еремеев, А.А. Селиванов. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2000. – 315 с.
5. Игнатов, В.И. Основы организации и технологии ремонта машин: учебное пособие / В.И. Игнатов, А.А. Селиванов, А.В. Анашкин. – М.: МГУЛ, 2001. – 225 с.
6. Игнатов, В.И. Техническая эксплуатация и ремонт машин и оборудования лесного комплекса: учебник / В.И. Игнатов, В.А. Макуев, А.В. Сиротов. – М.: МГУЛ, 2006. – 489 с.
7. Селиванов, А.А. Технико-экономическое обоснование форм и методов технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной техники: дисс. ... канд. экон. наук.:08.00.05: защищена 11.12.01. / А.А. Селиванов – М.: МГУЛ, 2001.
8. Прохоров В.Ю. Модернизация тракторных и технологических машин с помощью альтернативных материалов / В.Ю. Прохоров, И.Г. Голубев // Лесная промышленность. – 2004. – № 4. – С. 24–27.

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

З.Н. НАХАЕВ, директор Серебряноборского лесничества ИЛ РАН, канд. техн. наук,  
А.С. СУШКОВ, асп. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА

*tol@ismail.ru*

Для эффективной деятельности любого лесопромышленного предприятия при решении вопроса поставки сырья должны учитываться два основных момента – полностью обеспечивать производство всем необходимым и вместе с тем не накапливать излишков и минимизировать необходимые затраты.

Для оптимального решения данных задач можно построить модель поставки сырья, используя для этого логистическую координату процесса поставки лесоматериалов на предприятия.

Качество лесопroduкции является приоритетом для выбора источника поставки. Поэтому выбор номенклатуры лесопroduкции предполагает вопросы:

- из какого источника осуществлять закупку лесопroduкции;
- в каком количестве и когда закупать материальные ресурсы (МР);
- каким видом автотранспортного средства осуществлять их доставку;
- каков должен быть оптимальный уровень запасов лесопroduкции на складе лесопромышленных предприятий;
- как движется запас лесопroduкции на складе (склад рассматривается при этом как транспортная подсистема лесопромышленного предприятия).

В общем виде управляемые потоки лесопroduкции представлены на рис. 1. Разработанная модель позволяет определять,

какими должны быть оптимальные значения управляемых параметров материального потока (МП), чтобы приведенные затраты были минимальными.

Исследуя методом перебора приближения альтернативные варианты, приходим к нахождению оптимального решения, отклоня области менее эффективных альтернативных решений [1].

С помощью схем приоритетов указанные задачи могут быть решены последовательно, что существенно осложняет вычисления, поскольку нет обратной связи между задачами, прослеживающими их взаимовлияние.

При построении модели координации (ЛК) поставок лесопроductии необходимо соблюсти принцип параллельности решения поставленных задач.

Кроме того, на практике необходимо учитывать ряд требований:

- 1) непостоянство интенсивности поставок лесопроductии;
- 2) влияние скидок за объем партии лесопроductии сразу по нескольким поставщикам в процессе принятия решения;
- 3) включение в модель выбора поставщика и типа автотранспортного средства задачу оптимизации объема партии лесопроductии;
- 4) изменение всех видов издержек от принимаемого комплексного решения;
- 5) целочисленность объема партии поставок лесопроductии.

Дефицит  $MP_\lambda$  для удовлетворения производственной потребности ( $D_i$ ) не допускается, поэтому необходимо построить модель определения оптимальных значений управляемых параметров МП ( $q_i^{kl}, x_i, Tr_m, \Pi_k$ ) с учетом существующих значений фиксированного объемно-календарного плана производственной потребности ( $MRP$ )  $MP_\lambda$ , с целевой функцией – минимум приведенных затрат  $F(D_i, q_i^{kl}, x_i, Tr_m, \Pi_k) \rightarrow \min$ . Приведенные затраты включают группы затрат на транспортировку и хранение лесопроductии.

Параметр объема партии поставки ( $q_i^{kl}$ ) является определяющим в образовании взаимосвязей и влияет на все переменные величины транспортно-технологических затрат.

### Условные обозначения параметров комплексной задачи

$MP_\lambda$  – материальный ресурс №  $\lambda$ ,  $\lambda$  – номер материального ресурса;  $\Pi_k$  – поставщики  $MP_\lambda$ ,  $k$  – номер поставщика;  $\Pi_{kl}$  – цена единицы  $MP_\lambda$  в зависимости от размера партии лесопроductии ( $l$  – номер уровня цены в зависимости от размера партии);  $q_i^{kl}$  – размер партии лесопроductии;  $d_k^{tr}$  – транспортная доступность поставщика;  $Tr_m$  – автотранспортные средства,  $m$  – тип автотранспортного средства или сочетание типов автотранспортных средств;  $D_i$  – производственная потребность в  $MP_\lambda$  по периодам  $i=l-t$  (дням), сформированная  $MRP$ -методом планирования ( $i$  – количество периодов,  $t$  – последний период горизонта планирования  $MRP$ );  $G_m$  – грузоподъемность транспортного средства;  $m$  – типа;  $x_i$  – уровень запасов  $MP_\lambda$  в подсистеме поставки;  $L$  – расходы на оформление одной партии  $MP_\lambda$  лесопроductии;  $C_z$  – затраты на поставку лесопроductии;  $C_h$  – затраты на хранение запасов проductии;  $C_m^{tr}$  – стоимость 1 км транспортировки соответствующим типом автотранспортного средства или группой автотранспортных средств;  $C_{qi}^{el}$  – стоимость единицы  $MP_\lambda$ , хранимой на складе, приобретенной по соответствующей цене франко-склад поставщика с учетом или без учета скидок ( $\Pi_{kl}$ ), но с учетом транспортных затрат, приходящихся на соответствующую партию закупки  $MP_\lambda$ , доставка одним из типов автотранспортных средств или их группой ( $Tr_m$ );  $K$  – коэффициент, определяющий норму возмещения затрат на вложенные в запасы денежные средства и прочие расходы на хранение и грузопереработку, зависящие от объема запасов лесопроductии.

Предположим, что поставки лесопроductии полностью удовлетворяют потребность производства  $D_i$  в  $MP_\lambda$ , при котором были бы определены его оптимальные значения  $q_i^{kl}$  и соответствующие периоды поставок на определенном горизонте планирования  $i$  с учетом оптимального выбора поставщика  $\Pi_k$  по критериям цены, условий по скидкам  $\Pi_{kl}$ , транспортной доступности поставщика  $d_k^{tr}$ , и были бы соблюдены условия по оптимальной загрузке и рациональному выбору типа автотранспортного средства  $Tr_m$ , а также достигнут оптимальный уровень запасов  $x_i$  в подсистеме поставок.

Так как все параметры задачи определены и взаимосвязи между переменными установлены и формализуемы, необходимо остановиться на использовании оптимизационных методов решения задачи (рис. 1). В случае увеличения сложности задачи и описывающей ее решение модели применение

только оптимизационных методов затруднено. Для этого необходимо использовать имитационное моделирование.

Поскольку по условиям задачи интенсивность переработки и потребления  $D_p$ ,  $MP_\lambda$  колеблется в значительных пределах по периодам в течение года  $I$ , а также в силу необходимости оптимизации сложной функции затрат, при которой отдельные группы издержек зависят от множества факторов, изменяемых с течением времени, то для нахождения оптимального решения данной задачи можно воспользоваться методом динамического программирования [3].

Поскольку выбор типа автотранспортного средства и оптимального поставщика за-

висит от объема партии поставки лесопродукции, то для каждого значения объема партии необходимо определить соответствующий оптимальный тип автотранспортного средства по критериям максимальной загрузки и наиболее подходящего поставщика по критериям цены, скидок за объем и транспортной доступности. Результатом такого выбора будет формирование «Оптимального поставщика и типа автотранспортного средства» (рис. 2).

На основе сформулированной модели транспортно-технологического процесса лесного предприятия разработаем полную математическую модель, базой которой будет являться метод динамического программирования [2].

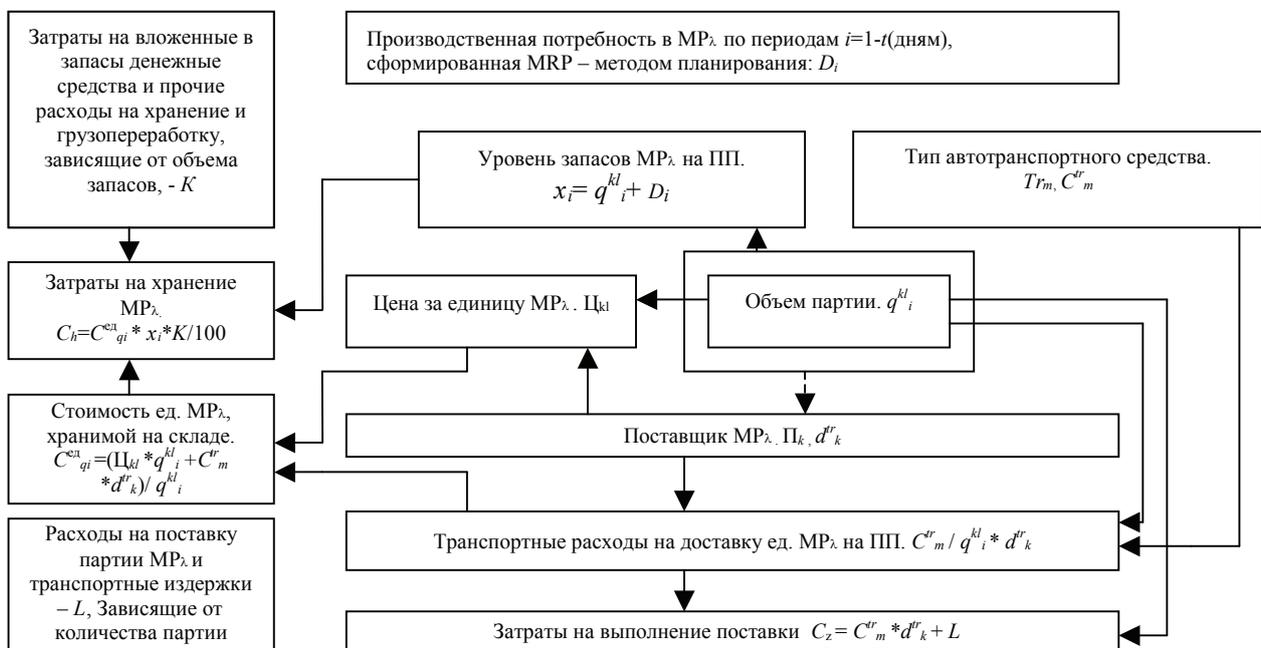


Рис. 1. Схема взаимосвязей между отдельными параметрами модели координации поставок и хранений лесопродукции

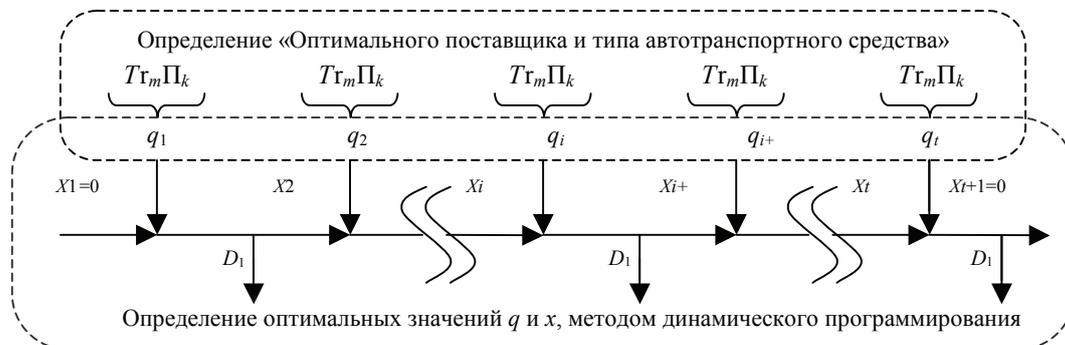


Рис. 2. Концептуальная модель системы поставок

**Пример расчетной таблицы по формированию Контура «Оптимальный поставщик и тип автотранспортного средства» для условий:  $\kappa = 2, m = 3$**

Наименование показателя	Формула	Обозначение	Объем партии поставки																	
			1	6	7	9	10	13	14	19	20	21	27	28	29	30	34	35	39	40
Объем партии поставки лесопродукции	—	$q^{kl}_i$																		
Общая стоимость партии поставки $MP_1$ у поставщика, тыс. руб.	$\Pi_{1l} \cdot q^{1l}_i$	(1)	$\Pi_{1l} \cdot q^{1l}_i$				$\Pi_{12} \cdot q^{12}_i$				$\Pi_{13} \cdot q^{13}_i$				$\Pi_{14} \cdot q^{14}_i$				$\Pi_{15} \cdot q^{15}_i$	
Общая стоимость партии поставки $MP_1$ у поставщика $\Pi_2$ , тыс. руб.	$\Pi_{2l} \cdot q^{2l}_i$	(2)	$\Pi_{2l} \cdot q^{2l}_i$		$\Pi_{22} \cdot q^{22}_i$			$\Pi_{23} \cdot q^{23}_i$			$\Pi_{24} \cdot q^{24}_i$		$\Pi_{25} \cdot q^{25}_i$			$\Pi_{26} \cdot q^{26}_i$				
Полная стоимость транспортировки $MP_1$ до ПП от поставщика $\Pi_1$ (тыс. руб.), в зависимости от $Tr_m$ и $G_m$	$C^{tr}_m \cdot d^{tr}_1$	(3)	$Mm G_1 = 10$																	
			$Cm G_2 = 20$																	
Полная стоимость транспортировки $MP_1$ до ПП от поставщика $\Pi_2$ (тыс. руб.), в зависимости от $Tr_m$ и $G_m$	$C^{tr}_m \cdot d^{tr}_2$	(4)	$Km G_3 = 40$																	
Совокупная стоимость поставки и транспортировки $MP_1$ от поставщика $\Pi_1$ , тыс. руб.	(1)+(3)	(5)																		
Совокупная стоимость поставки $MP_1$ от поставщика $\Pi_2$ , тыс. руб.	(2)+(4)	(6)																		
Определение оптимального поставщика и типа автотранспортного средства ( $Trm$ ) для каждого $q^{kl}_i$	$Min$ {(5)=« $\Pi_1$ »; (6)=« $\Pi_2$ »}	(7)	{←- $\Pi_1$ ->} {←- $\Pi_2$ ->} {←- $\Pi_1$ ->} {←- $\Pi_2$ ->} {←- $\Pi_1$ ->}																	
Совокупная стоимость поставки и транспортировки $MP_1$ до ПП, тыс.руб.	$Min$ {(5);(6)}	(8)																		
Стоимость единицы $MP_1$ , хранимой на складе ПП, тыс. руб.	(8)/ $q^{kl}_i$	$C^{ед}_{qi}$																		
Полная стоимость транспортировки $MP_1$ до ПП, тыс. руб.	если (7)=« $\Pi_1$ », то 3, если (7)=« $\Pi_2$ », то (4)	(10)																		
Затраты на выполнение закупки $MP_1$ в соответствии с Контуром, тыс. руб.	(10) + $L$	$C_z$																		

Сформируем схему адаптации данных (рис. 2) и определим значения, необходимые в расчете модели показателей. Для каждого объема поставки ( $q^{kl}_i$ ) требуется просчитать

оптимальную группу следующих показателей: оптимальный поставщик с точки зрения достижения минимума приведенных затрат поставки и транспортировки лесопродук-

ции  $MP_\lambda$ ; совокупная стоимость поставки и транспортировки  $MP_\lambda$ ; оптимальный тип автотранспортного средства или их сочетание; стоимость единицы  $MP_\lambda$ , хранимой на складе ПП; затраты на выполнение поставки  $P_\lambda$  (таблица).

Состояние процесса планирования поставок может быть определено по параметру  $X_i$  (уровень запасов  $MP_\lambda$ ). Сам процесс поставки разбивается на периоды (шаги), соответствующие параметру  $i$ .

Для рекуррентного уравнения прямой прогонки состояние на шаге  $i$  определяется как объем запасов  $X_i + i$  на конец периода  $i$ , и, как следует из рис. 2, это неравенство означает, что в предельном случае запас  $x_{i+1}$  может удовлетворить производственную потребность во всех последующих периодах.

Шаговым управлением будет  $q_p$ , а состоянием в каждый конечный момент  $i$  будет  $x_{i+1}$ , тогда  $x_{i+1} = x_i + q_i - Di$  и должно соблю-

даться условие, что минимально возможным значением планируемого объема поставки может быть  $q_i = Di - \min\{x_i\}$ , где  $\min\{x_i\}$  – минимально возможный уровень запаса  $MP_\lambda$  для периода  $i$ .

По итогам каждого шага  $i$  определяются условные оптимальные значения  $q_i$  для каждого возможного уровня запасов  $MP_i, x_{i+1} = q_i^{kl} - D_i + x_i$  по критерию минимума приведенных затрат на хранение и выполнение поставок и с учетом уже найденных условных оптимальных решений по объему запасов и размеру партии поставки лесопродукции по тому же критерию на предыдущих шагах  $i-1, i-2, \dots$ , до 1-го периода.

Найденное условное оптимальное решение на последнем шаге  $i=10$ , по критерию минимума приведенных затрат, оптимальное решение управлением процессом (осуществляемое с шага  $i=10$  до  $i=1$ ) в соответствии с субоптимальными решениями на каждом шаге.

Период $i=1$ . Обозначим производственную потребность как $DD = \sum D_i$ . Производственная потребность (периода 1) = $D_1, 0 \leq x_2 \leq DD - D_1$ , начальный уровень запасов = $x_1$ (примем для нашей задачи $x_1=0$ ), тогда минимальная партия поставки $\min\{q_i\} = D_{1,x1}$									
	$q_1$	$D_{1,x1}$	$D_{1,x1+1}$	$D_{1,x1+2}$	...	$DD^{-1}$	$DD$	Субоптимальные решения	
	$C_z$	$C^{D1-x1}$	$C^{D1-x1+1}$	$C^{D1-x1+2}$	...	$C^{DB-1}$	$CDD_z$	$f_i(x_2, q_1)$	$q^*_1$
$x_2$	0	$f_i(x_{i+1}, q_i)$							
	1								
	...								
	$DD - D_1 - 1$								
	$DD - D_1$								

Рис. 3. Расчетная матрица для периода  $i=1$

Период $1 < i < t$ . Производственная потребность (периода $1 < i < t$ ) = $D_i, 0 \leq x_{i+1} \leq DD - \sum(D_j / D_i)$																				
	$q_i$	0	1	...	$D_i$	$D^{i+1}$	...	$DD - \sum D_{i-1} - 1$	$DD - \sum D_{i-1}$	Субоптимальные решения										
	$C_z$	0	$C^1_z$	...	$C^{Di}_z$	$C^{Di+1}_z$	...	$C^{DD - \sum D_{i-1} - 1}_z$	$C^{DD - \sum D_{i-1}}_z$	$\min f_i(x_{i+1}, q_i)$	$q^*_1$	$C^{ед}_{q_i}$	$q^*_{i-1}$	$C^{ед}_{q^*_{i-1}}$	...	$Q^*1$	$C^{ед}_{q^*i}$			
$x_{i+2}$	0	$f_i(x_{i+1}, q_i)$																		
	1																			
	...																			
	$DD - \sum D_{i-1}$																			
	$DD - \sum D_i$																			

Рис. 4. Расчетная матрица для периода  $1 < i < t$

Период $i = t$ . Производственная потребность (периода $i = t$ ) = $D_t$ , конечный уровень запасов = $x_{t+1}$ (примем для условий нашей модели $x_{t+1} = 0$ )											
	$q_t$	0	1	2	...	$D_t$	Субоптимальные решения				
	$C_z$	0	$C^1_z$	$C^2_z$	...	$C^t_z$	$\min f_t(x_{t+1}, q_t) = F(x, q)$	$q^*_t$	$q^*_{t-1}$	...	$q^*_1$
$x_{t+1}$	0	$f_t$	$f_t$	$f_t$	...	$f_t$					

Рис. 5. Расчетная матрица для  $i = t$

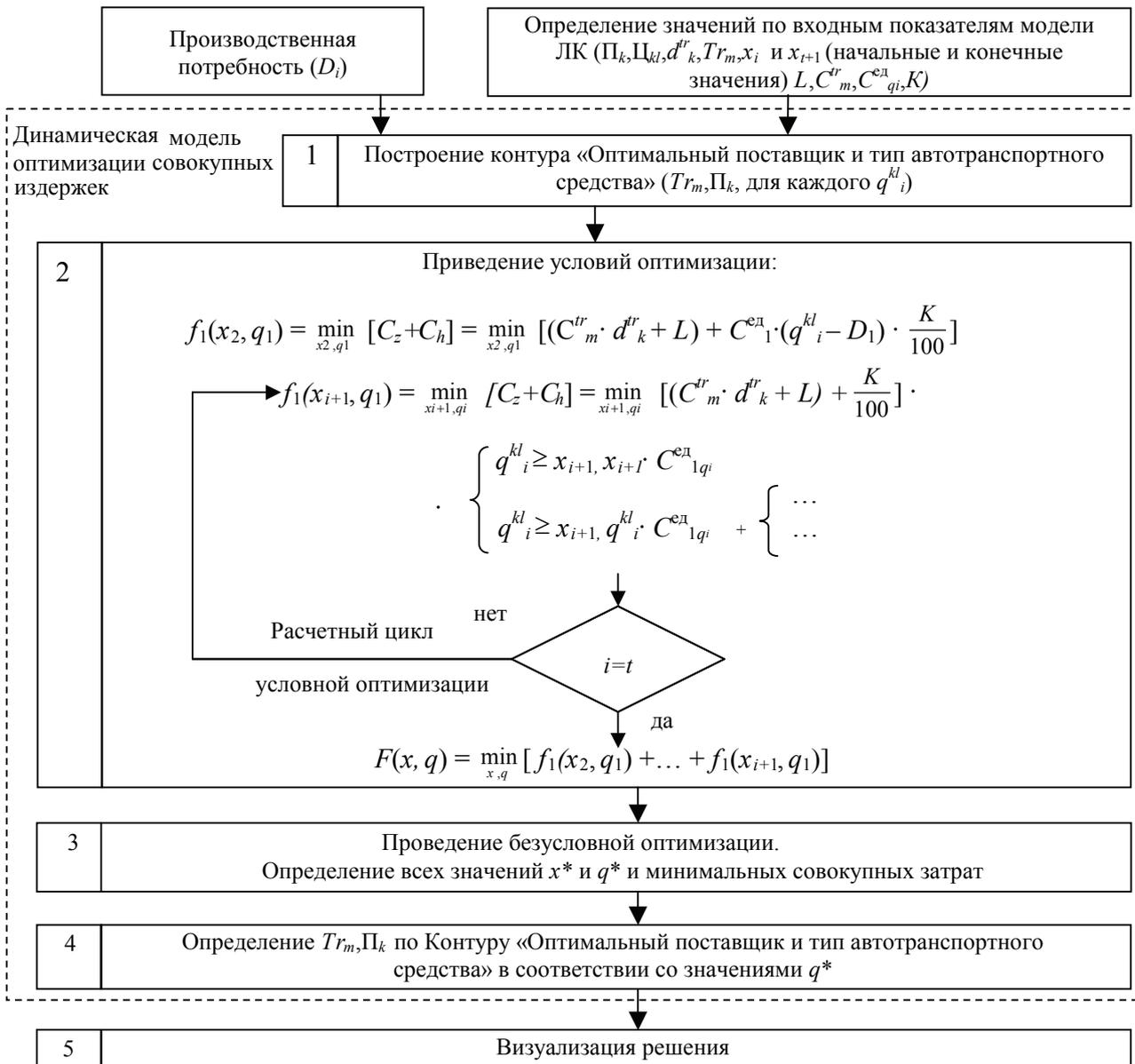


Рис. 6. Алгоритм модели процесса поставки лесопродукции

В соответствии с этим для первого периода  $i=1$  критерий минимума приведенных затрат можно представить в виде

$$f_1(x_2, q_1) = \min_{x_2, q_1} [C_z + C_h] =$$

$$= \min_{x_2, q_1} [(C_m^{tr} \cdot d_{tr_k}^{tr} + L) + C_{q_1}^{ед} \cdot (q_i^{kl} - D_1) \cdot \frac{K}{100}]. \quad (1)$$

Величина  $f_1(x_2, q_1)$  есть минимум из всех  $[C_z + C_h]$  при разных управлениях  $q_1$  и состояниях  $x_2$ , возможных в данных условиях.

Для всех последующих этапов субоптимальное решение по совокупным затратам должно удовлетворять вышеизложенному условию.

Поскольку затраты на хранение лесопродукции зависят от стоимости единицы  $MP_\lambda$ , необходимо учитывать, какие виды лесо-

продукции, какой партии поставки хранятся в конкретный момент  $i$  на складе ПП и в каком объеме. То есть необходимо оценить остатки переходящих запасов  $MP_\lambda$ , которые могли быть приобретены ранее. При этом принимаем в качестве условия, что потребление  $MP_\lambda$  со склада осуществляется в соответствии с методом *FIFO* (первый пришел – первый ушел), тогда для каждого  $x_{i+1}$  объема запаса в период  $i+1$  можно определить соответствующую структуру запасов следующим образом.

Если  $q_i \geq x_{i+1}$ , то переходящие остатки с предыдущих периодов были использованы в соответствии с потребностью  $D_i$  полностью, и поэтому стоимость единицы  $MP_\lambda$ , хранимого на складе в период  $i$ , будет относиться к пар-

тии поставки  $q_i$ , и тогда затраты на хранение будут равны  $C_h = C_{qi}^{ед} \cdot x_{i+1} \cdot K/100$ .

Если  $q_i < x_{i+1}$ , то переходящие остатки с предыдущих периодов не были полностью использованы в соответствии с потребностью  $D_i$ , и поэтому стоимость единицы  $MP$ , хранящегося на складе, может быть разной: одна часть остатков  $MP$  относится к партии закупки  $q_i$ , и тогда затраты на хранение этой части остатков переходящего запаса будут равны  $C_h^1 = C_{qi}^{ед} \cdot q_i \cdot K/100$ , а оставшаяся часть  $(x_{i+1} - q_i)$  должна быть дополнительно исследована по условию:

– если  $(x_{i+1} - q) \leq q_{i-1}$  то запасы этой части переходящих остатков были сформированы партией поставки  $q_i$  и поэтому  $C_h^2 = C_{qi-1}^{ед} \cdot (x_{i+1} - q_i)K/100$ ;

– но если  $(x_{i+1} - q) > q_{i-1}$ , то во второй части переходящих остатков  $(x_{i+1} - q_i)$  одна часть сформирована партией закупки  $q_{i-1}$  а другая часть  $-(x_{i+1} - q_i - q_{i-1})$  должна быть дополнительно исследована по условиям:  $(x_{i+1} - q_i - q_{i-1}) \leq q_{i-2}$  и  $(x_{i+1} - q_i - q_{i-1}) > q_{i-2}$ . Итерации повторяются, пока не будет достигнуто окончательное условие, что  $(x_{i+1} - q_i - \dots - q_{i-1}) \leq q_{i-n-1}$  или когда значение  $i-n-l=l$ .

Поскольку в процессе условной оптимизации на шаге  $i$  мы уже имеем оптимальные значения параметров  $q_{i-1}$ , то в условиях, представленных выше, анализ должен осуществляться с использованием субоптимальных значений  $q_{i-1}^*$ , определенных по критерию минимума совокупных затрат для каждого возможного  $x_i$ .

Основное рекуррентное уравнение прямой прогонки (начиная с 1-го шага и до

последнего), которое выражает оптимальное управление процессом поставки лесопродукции, можно представить в виде

$$F(x, q) = \min[f_i(x_2, q_i) + \dots + f_i(x_{i+1}, q_i)]. \quad (2)$$

Для проведения расчетов необходимо сформировать матрицу для каждого периода  $i$  ( $i=1-t$ ). Расчетные матрицы для периодов  $i=1, 1 < i < t, i=t$  представлены соответственно на рис. 3–5.

В итоге решения по указанным матрицам (этап условной оптимизации) получим возможность определить безусловное оптимальное решение по значениям  $q^*$  и  $x$ , минимизирующее совокупные затраты по функции  $F(x, q^*)$ .

Таким образом, алгоритм модели процесса поставки лесопродукции, сформулированный выше, будет иметь вид (рис. 6).

Указанный алгоритм с параметрами по установленным зависимостям сформированной матрицы оптимальных решений  $q^*$  и  $x$ , определяющей соответствующие объему поставки оптимальные (с точки зрения минимума совокупных затрат) источники закупки (поставщики) и типы автотранспортных средств, необходимо использовать при системе доставки  $MP1$  на лесопромышленные предприятия.

#### Библиографический список

1. Лесдон, Л. Оптимизация больших систем / Л. Лесдон. – М.: Наука, 1975. – 432 с.
2. Редькин, А.К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – М.: МГУЛ, 2005. – 497 с.
3. Макеев, В.Н. Основы моделирования и оптимизации транспортно-грузовых процессов лесопромышленного производства / В.Н. Макеев. – Воронеж.: ВГЛТА. 1995.

## К ВОПРОСУ О РАЗМЕЩЕНИИ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ

Л.В. ЩЕГОЛЕВА, доц. каф. прикладной математики и кибернетики ПетрГУ, канд. техн. наук,  
М.А. ПИСКУНОВ, ст. преподаватель каф. технологии и оборудования лесного комплекса ПетрГУ, канд. техн. наук,

А.Н. ВОРОПАЕВ, магистрант каф. прикладной математики и кибернетики ПетрГУ

*piskunov\_mp@list.ru*

При разработке лесосек со слабыми грунтами одной из мер улучшения работы трелевочных тракторов является укрепление волоков лесосечными отходами. Использование лесосечных отходов как покрытия на волоках

позволяет увеличить в 2–3 раза количество проходов трелевочных тракторов по одному следу, увеличить нагрузку на рейс, снизить сопротивление движению [1]. Но лесосечные отходы рассматриваются как ценное вторич-

ное сырье для промышленной переработки и получения товарной продукции. В этой связи возникает задача перераспределения объемов вторичного сырья между производственным и промышленным использованием таким образом, что для промышленного использования сосредотачивается по возможности максимальное количество, при этом для нужд укрепления оставляется количество лесосечных отходов, необходимое для обеспечения проходимости трелевочных тракторов в процессе всех проходов по волоку.

Значительное сокращение количества отходов для укрепления волоков может быть достигнуто за счет рационального размещения волоков на лесосеке. В этом контексте авторами предложена математическая модель организации размещения волоков и на ее основе дана постановка сформулированной выше задачи. Она заключается во введении специального конечного множества «схем трелевки», с каждой из которых сопоставляются «затраты лесосечных отходов на укрепление». Требуется найти «схему», обеспечивающую наименьшие «затраты». В модели учитывается распределение свойств почвогрунта в пределах лесосеки – на лесосеке выделяются зоны, для которых значения модуля деформации почво-грунта (или значения несущей способности грунта) «тяготеют» к определенному диапазону [2]. Одним из параметров задачи является также положение лесопогрузочного пункта (верхнего склада), что позволяет «привязать» схему волоков к расположению лесовозного уса, примыкающего к лесосеке.

В качестве модели лесосеки рассмотрим прямоугольник

$$\Delta = [0; A] \times [0; B] \subset R^2,$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина лесосеки (м).

Лесосека  $\Delta$  разбивается на элементарные площадки [3], длина и ширина которых определяется шириной пасаки (рис. 1). Введем множество точек лесосеки, которые представляют собой центры элементарных площадок:  $V = \{v^1; \dots; v^{n \cdot m}\}$ , то есть  $V = \{(k - 0,5) \cdot b\}_{k=1}^n \times \{(k - 0,5) \cdot b\}_{k=1}^m$ , где  $n$  и  $m$  – округленные до ближайших целых (в случае дробной части 0,5 – к большему) значения  $A/b$  и  $B/b$ , соответственно.

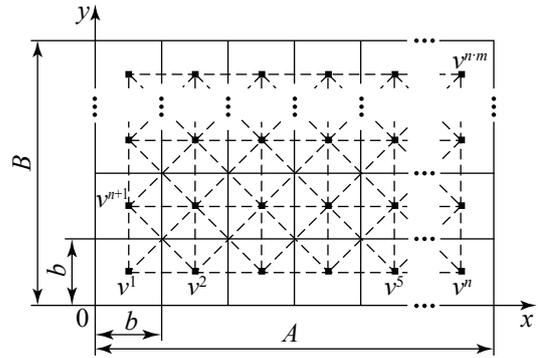


Рис. 1. Структуры множеств  $V$ ,  $W$  и графа  $G$

Введем множество пар «соседних» точек  $W = \{\{v'; v''\} \subset V \mid \|v'' - v'\| \in \{b; b \cdot \sqrt{2}\}\}$  ( $\|\cdot\|$  здесь и далее обозначена евклидова норма). Элементами множества являются, например,  $\{v^1; v^2\}$ ,  $\{v^1; v^{n+1}\}$ ,  $\{v^1; v^{n+2}\}$  и не являются, например,  $\{v^1; v^3\}$ ,  $\{v^1; v^{n+3}\}$  (рис. 1).

Введем множество дуг  $U$ , соединяющих «соседние» точки из множества  $V$ :  $U = \{(v'; v'') \mid \{v'; v''\} \in W\}$ .

Множества  $V$  и  $U$  порождают ориентированный граф  $G = (V; U)$ .

Введем допущения:

1. Весь запас леса сосредоточен в точках из множества  $V$ , причем в равных количествах.

2. В качестве участков трелевочных волоков допускаются отрезки, соединяющие «соседние» точки из множества  $V$ , то есть вида  $[v'; v'']$ , где  $\{v'; v''\} \in W$ , и только они. На рис. 1 эти отрезки изображены штрихпунктирными линиями.

3. Трактор начинает движение для набора пачки из погрузочного пункта (верхнего склада) –  $v^*$ , выбранного на лесосеке относительно расположения лесовозного уса, причем так что  $v^* \in V$ . Движение с пачкой из любой точки  $v \in V^*$  осуществляется по тем же участкам трелевочных волоков, по которым трелевочный трактор прибыл в точку  $v$ . Здесь  $V^* = V / \{v^*\}$  – множество всех центров элементарных площадок, за исключением назначенного погрузочного пункта.

4. Объем пачки согласно работе [4]

$$V_n = q \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot l,$$

где  $V_n$  – объем пачки (м<sup>3</sup>);

$q$  – запас древесины (м<sup>3</sup>/га);

$b$  – ширина пасаки (м);

$l$  – длина участка набора пачки (м).

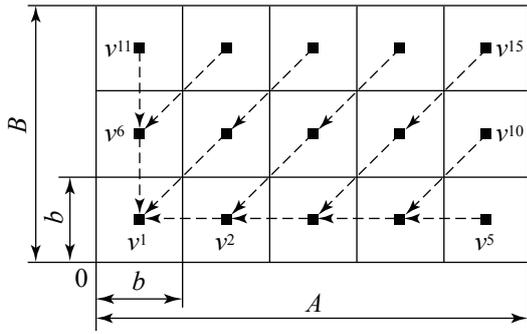


Рис. 2. Структура элементов множества  $X_0$

5. Количество отходов, которое требуется для укрепления участка волока, кг на м<sup>2</sup> колеи, есть  $V_{отх} = V_{отх}(E; N)$ , причем  $V_{отх}(E; 0) = 0$  и  $V_{отх}$  (как функция) вогнута и строго возрастает по  $N$ , где  $E$  – модуль деформации почво-грунта на участке волока (считается, что он одинаков во всех точках), МПа;  $N$  – число пар проходов трелевочного трактора.

Для допущения 5 необходимо сделать пояснение. Связь между количеством отходов, которое необходимо положить на участок волока, модулем деформации почво-грунта и числом проходов, принята на основе исследований [5]. Методика определения количества отходов, на основе которой были выполнены исследования [5], направлена на определение минимального количества отходов для целей укрепления. Поэтому считается, что зависимость  $V_{отх} = V_{отх}(E; N)$  определяет именно минимальное количество отходов.

В соответствии с принятыми допущениями множество всех допустимых схем трелевки представим в виде множества  $X_0$ , элементы которого имеют вид

$$x = \{\xi_v | v \in V^*\},$$

где  $\xi_v = (v; \dots; v^*)$  – путь в графе  $G$  от центра  $v$  к погрузочному пункту  $v^*$ , проходящий через каждую вершину графа не более одного раза.

Структура элементов  $X_0$  (допустимых схем трелевки) представлена на рис. 2 на примере одной из схем для  $v^* = v^1$ . Этой схеме принадлежат, например, следующие маршруты:  $(v^2; v^1)$ ,  $(v^6; v^1)$ ,  $(v^{11}; v^6; v^1)$ .

Введем определения  $g(\{v'; v''\}; n)$  – масса лесосечных отходов, требуемых для укрепления участка волока, кг, где  $v', v''$  – концы участка волока ( $\{v'; v''\} \in W$ );  $n$  – количество точек из множества  $V$ , из которых осущест-

вляется трелевка леса по рассматриваемому участку волока.

$$f_0(x) = \sum_{w \in W} g(w; \theta(x; w))$$

– масса лесосечных отходов, требующихся для укрепления всех волоков, кг. Здесь  $x$  – рассматриваемая допустимая схема трелевки ( $x \in X_0$ ),  $\theta(x; \{v'; v''\}) = |\{\xi \in x | \exists k \{\xi_k; \xi_{k+1}\} = \{v'; v''\}\}|$  – количество точек из множества  $V$ , из которых осуществляется трелевка леса по рассматриваемому участку волока.

Например, для схемы, представленной на рис. 2,

$$\theta(x; \{v^9; v^{15}\}) = 1, \theta(x; \{v^3; v^9\}) = 2, \theta(x; \{v^2; v^3\}) = 6, \theta(x; \{v^1; v^2\}) = 9.$$

$$\text{Будем считать, что } g \text{ имеет вид } g(\{v'; v''\}; n) = a \cdot \|v'' - v'\| \cdot V_{отх}(\min\{E(v'); E(v'')\}); b \cdot t^{-1} \cdot n,$$

где  $a$  – удвоенная ширина колеи;

$E(v'), E(v'')$  – значения модуля деформации почво-грунта в точках  $v', v''$ ;

$b \cdot t^{-1}$  – множитель для приведения  $n$  – количества точек из множества  $V$ , из которых осуществляется трелевка леса по участку волока, к количеству пачек, которые транспортируются по участку волока.

Данное приведение необходимо, так как в рассматриваемой постановке запас леса, сосредоточенный в центре элементарной площадки (рис. 1), может быть отличен от объема пачки трактора, и в общем случае количество проходов по участку волока (отрезку, соединяющему соседние точки из множества  $V$ ) определяется соотношением между объемом пачки и запасом леса, сосредоточенным в центре элементарной площадки.

С помощью введенных определений задача записывается в виде

$$\Pi_0: f_0(x) \rightarrow \min, x \in X_0.$$

Решение задачи  $\Pi_0$  сводится к решению задачи  $\Pi_1$  целочисленного вогнутого программирования с ограничениями транспортного типа

$$f_1(x) \rightarrow \min, \sum_{u=(v',v') \in U} x(u) - \sum_{u=(v'',v') \in U} x(u) = -|V| + 1, \sum_{u=(v',v') \in U} x(u) - \sum_{u=(v'',v') \in U} x(u) = 1, v \in V^*,$$

где  $x: U \rightarrow \bar{N}$  – числовое отображение, заданное на дугах графа  $G$ ;

$$f_1(x) \equiv \sum_{u \in U} g(\{u_1; u_2\}; x(u)).$$



Рис. 3. Схемы размещения волоков

Именно из решения  $\Pi_1$  (которое всегда существует) известным образом строится решение  $\Pi_0$ , и притом однозначно.

На основе рассмотренных положений построен эвристический алгоритм для приближенного решения задачи и разработана компьютерная программа, реализующая его (для реализации использованы язык C++ и среда Microsoft Visual C++ 6.0).

На рис. 3 представлена карта распределения свойств почво-грунта в пределах прямоугольной лесосеки длиной 250 м и шириной 200 м. Для этой лесосеки построены схемы размещения волоков, при которых достигается (в принятой модели) сокращение затрат лесосечных отходов для целей укрепления по сравнению с некоторыми используемыми на практике схемами. Представлены схемы в привязке к 5 различным вариантам расположения погрузочного пункта, при фиксированных факторах: ширина пасеки

– 20 м, запас леса – 200 м<sup>3</sup>/га, объем пачки – 10 м<sup>3</sup>.

На основе рассмотренных положений был проведен анализ схем размещения волоков из условия экономии затрат отходов для укрепления, построенных для различных сочетаний распределения свойств почво-грунта, запаса леса, объема пачки, давления трактора на грунт и расположения погрузочного пункта. Эти схемы сравнивались с наилучшей, по затратам отходов, из параллельной, перпендикулярной, диагональной схем – [4]. Анализ показал, что при большом разбросе модулей деформации в пределах лесосеки в 31 % случаев достигается снижение отходов за счет схемы размещения волоков от 70 % до 40 %; в 53 % – от 30 % до 10 %, остальные 16 % схем совпадают с наилучшей из используемых в настоящее время схем. При выравнивании значений модулей деформации схемы, которые строятся по разработанному алгоритму, по структуре «сближаются» с традиционными схемами, а в некоторых случаях совпадают с ними.

#### Библиографический список

1. Лапшин, В.А. Улучшение работы машин на грунтах с низкой несущей способностью / В.А. Лапшин // Лесозаготовка и лесосплав: Экспресс-информация. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1987. – Вып. 19. – С. 2–22.
2. Высотин, Н.Е. Определение оптимальных трасс трелевочных волоков при сплошных рубках / Н.Е. Высотин, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: СПбГЛТА, 2002. – С. 55–61.
3. Салминен, Э.О. Размещение волоков на заболоченных лесосеках / Э.О. Салминен, С.В. Гуров, Б.М. Большаков // Лесная промышленность. – 1988. – № 3. – С. 3.
4. Кочегаров, В.Г. Технология и машины лесосечных работ: учебник для вузов / В.Г. Кочегаров, Ю.А. Бит, В.Н. Меньшиков. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 392 с.
5. Пискунов, М.А. Повышение эффективности лесосечных работ путем рационального использования образующихся на лесосеке древесных отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.А. Пискунов. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2006. – 20 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЕВ НА СОРТИМЕНТЫ И ПИЛОМАТЕРИАЛЫ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСЕКИ

С.Б. ЯКИМОВИЧ, *проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ, д-р техн. наук,*

Ю.В. ЕФИМОВ, *асп. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ*

*jak@marstu.mari.ru*

При малых объемах лесозаготовок все большее распространение, особенно в скандинавских странах, получает тип технологического процесса с вывозкой пилопродукции. Это связано с появлением легких передвижных лесопильных установок, которые по эффективности вполне сравнимы со стационарными лесопильными рамами и шпалорезными станками [1]. Эффективность технологического процесса при этом обеспечивается посредством:

1) проведения специализации лесозаготовок и обеспечения лесопиления сырьем – сортиментами;

2) максимальной увязки производственного процесса лесозаготовок с работой лесопильных участков в отношении качества и размеров, степени равномерности поставки сырья;

3) обоснования рациональных раскроев;

4) предварительного проведения мониторинга наиболее востребованных видов лесоматериалов и пилопродукции;

5) снижения транспортных расходов за счет снижения объема вывозки в виде круглых лесоматериалов.

Обработка предмета труда лесозаготовок и получение пиломатериалов возможны в координатах стоящего дерева и выполняется лишь многофункциональными машинами: лесными комбайнами или моторными устройствами, реализующими обработку на вертикальном стволе дерева [2]. Имеются работы [3–5], в которых рассмотрены изложенные аспекты: обоснование применения и методика расчета технико-эксплуатационных затрат лесного комбайна для производства сортиментов и пиломатериалов на лесосеке по патенту [6], расчеты удельной энергоёмкости по выходу конечной продукции для различных вариантов раскроев.

Одним из центральных моментов в решении задач оптимизации раскроев является обоснование и выбор критерия.

В известных задачах оптимизации раскряжевки хлыстов используют четыре критерия: максимальный выход деловых сортиментов; максимальный товарный выход сортиментов по оптовым ценам; максимальный выход круглых лесоматериалов в соответствии с сортиментным планом; максимальный цилиндрический объем древесины бревен с учетом снижения затрат при их последующей обработке [7]. Аналогичные критерии используются в оптимизации раскроя пиловочного сырья на пиломатериалы [8].

Анализ литературных источников показал, что при оптимизации раскроев древесного сырья на пиломатериалы энергоэффективность не получала должного отражения. В настоящее время энергетический критерий, наряду с экономическим и экологическим, приобретает все большую значимость в связи с переходом лесной промышленности на способы хозяйствования, базирующиеся на улучшении экологии окружающей среды и соблюдении приоритетов ресурсосбережения. Это обусловливается и постоянным повышением цен на энергоресурсы – топливо, электроэнергию.

На основании изложенного задача оптимизации раскроев на сортименты и пиломатериалы по критерию удельной энергоёмкости представляется актуальной.

Цель задачи: выбрать такой раскрой, при котором максимизируется объемный выход древесного сырья и минимизируется удельная энергоёмкость технологического процесса. Минимизация удельной энергоёмкости лесопиления в условиях лесосеки обеспечивается следующими факторами:

– снижение количества холостых ходов при продольном пилении;

- снижение количества поворотов пиловочника и перемещения полученных пиломатериалов;
- снижение площади сечения пропилов (суммарных высот пропилов);
- разработка раскроев с минимальной площадью сечений сучьев в пропилах (для хвойных пород).
- выбор направления резания при распиловке.

Постановка задачи предполагает разработку частных одноцелевых критериев с последующей их сверткой.

Первый частный критерий используется в задаче оптимизации раскроя древесного сырья для получения наиболее ценной и требуемой номенклатуры лесоматериалов.

Суть этой задачи состоит в том, чтобы из поступающих на раскрой хлыстов получить максимальный выход деловых сортиментов [7]. Постановка задачи заключается в следующем: на раскрой поступает  $L$  хлыстов, из них необходимо получить  $l$  сортиментов согласно заданной спецификации в количестве, пропорциональном числам

$$b_1, b_2, \dots, b_l \left( \sum_{i=1}^l b_i = 1 \right).$$

Каждый хлыст ( $k = 1, 2, \dots, L$ ) может быть раскроен различными вариантами, причем использование  $i$ -го варианта ( $i = 1, 2, \dots, p$ ) дает  $n_{ik}$  единиц  $n$ -го сортимента. Требуется найти план раскроя, обеспечивающий максимальный выход сортиментов, если хлыстов  $k$ -го вида поступает  $a_k$  единиц.

Математически задача представлена моделью линейного программирования следующего вида:

- целевая функция

$$F_1 = \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^L n_{ik} x_{ik} \rightarrow \max, \quad (1)$$

- ограничения

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^L x_{ik} = a_k \\ \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^L x_{ik} \times n_{ik} = b_n \times x \\ x_{ik} \geq 0 \\ i=1, 2, \dots, p; k=1, 2, \dots, L; n=1, 2, \dots, l \end{cases}, \quad (2)$$

где  $x_{ik}$  – число единиц  $k$ -ой группы хлыстов, раскраиваемых по  $i$ -му варианту;  
 $x$  – число единиц готовой продукции.

Второй частный критерий используется в задаче оптимизации раскроя пиловочного сырья на пиломатериалы.

Задача планирования раскроя пиловочного сырья на пиломатериалы решается с учетом сортировки пиловочного сырья на  $n$  размерных групп [8]. При этом известна спецификация пиломатериалов, которые требуется получить в результате раскроя данного объема пиловочного сырья. Задан раскрой для бревен каждой размерной группы. Требуется определить максимальный выход пиломатериалов. Введем обозначения:  $N_z$  – количество  $z$ -х раскроев  $i$ -го сортимента;  $k_{j,z}$  – количество  $j$ -х пиломатериалов в  $z$ -м раскрое;  $x_{ji}$  – объем  $j$ -го пиломатериала, полученного из  $i$ -го сортимента;  $k$  – число сортиментов;  $m$  – число раскроев, участвующих в оптимизационном расчете;  $n$  – число пиломатериалов.

Математически задача представлена моделью линейного программирования следующего вида:

- целевая функция

$$F_2 = \sum_{i=1}^k \sum_{z=1}^m \sum_{j=1}^n N_z \times k_{j,z} \times x_{j,i} \rightarrow \max, \quad (3)$$

- ограничения

$$\begin{cases} \sum_{z \in D_1}^{D_{\max}} N_z * V_z \leq Q_z \\ \sum_{j=1}^n \sum_{z=1}^m N_z \times k_{n,z} \times x_{j,i} \leq Q_j \\ x_j \geq 0, 1; z=1, \dots, m; j=1, \dots, n \end{cases}, \quad (4)$$

где  $V_z$  – объем пиловочника одного бревна  $z$ -го диаметра;

$Q_z$  – общий объем пиловочника  $z$ -го диаметра;

$\sum_{z \in D_1}$  – означает, что суммируются объемы только того пиловочника (с диаметром  $D_1$ ), для геометрических параметров которого составлены  $z$ -е раскрои;

$Q_j$  – объем запланированного к выпуску  $j$ -го пиломатериала.

Третий частный критерий используется в постановке задачи оптимизации раскроя сортиментов и пиломатериалов по критерию удельной энергоемкости, который является сверткой двух весьма значимых, отдельных критериев – мощности  $N$  (энергии  $\mathcal{E}$ ) и производительности  $\Pi$  (объема  $V$ )  $g_3 = N / \Pi$  и или  $g_3 = \mathcal{E} / V = [Ndt / V]$  [2].

Математически данная задача оптимизации раскроев на сортименты и пиломатериалы представляется моделью линейного программирования следующего вида:

– целевая функция

$$F_3 = g_3 = \sum_i^n \sum_j^m \left( \frac{1}{\eta_n} \frac{k_i \cdot b_i \cdot H_i \cdot u_i \cdot n_i \cdot t_i}{k_{c,i} \cdot x_i} + \frac{z_j \cdot F_{окр} \cdot l \cdot t_j}{x_j} + \frac{1}{\eta_\delta} \times \frac{k_j \cdot b_j \cdot H_j \cdot u_j \cdot m_j \cdot L_j}{k_{n,j} \cdot K \cdot u_p \cdot x_j} \right) \times C_1 \rightarrow \min, \quad (5)$$

– ограничения

$$\begin{cases} \sum_i^n k_i \times b_i \times H_i \times u_i \leq [N_p]_{n,n} \\ \sum_j^m k_j \times b_j \times H_j \times u_j \leq [N_p]_{прод,n} \\ u_p \leq u_{p,cm,max} \\ \sum_i^n x_i \leq Q_{хл} \\ \sum_j^m x_j \leq \sum_i^n x_i \\ k_{ci}, k_{nj} \leq 1; i=1, \dots, n; j=1, \dots, m \end{cases}, \quad (6)$$

где  $\sum k_i \cdot b_i \cdot H_i \cdot u_i$  – мощность, расходуемая при раскряжке  $i$ -го сортимента;

$k_i$  – удельная работа резания при раскряжке  $i$ -го сортимента;

$b_i$  – средняя ширина  $i$ -го пропила;

$H_i$  – средняя высота  $i$ -го пропила;

$u_i$  – скорость подачи при раскряжке;

$n_i$  – число пропилов на  $i$ -й хлыст;

$t_i$  – среднее время на поперечную распиловку  $i$ -го сортимента, сек;

$k_{c,i}$  – доля  $i$ -го сорта размера в хлысте;

$x_i$  – объем выпиленного сортимента  $i$ -го сорта размера;

$z_j$  – количество холостых ходов в бревне при продольной распиловке;

$F_{окр}$  – условная постоянная окружная сила;

$l$  – длина пильной ленты;

$t_j$  – время на холостой ход при продольном пилении;

$\sum k_j \cdot b_j \cdot H_j \cdot u_j$  – мощность, расходуемая на продольное пиление  $j$ -го пиломатериала;

$u_j$  – скорость подачи при продольной распиловке;

$L_j$  – длина  $j$ -го пиловочника для продольного пиления;

$m_j$  – количество резов в бревне при продольной распиловке;

$k_{n,j}$  – доля  $j$ -го пиломатериала в сортименте;

$x_j$  – объем  $j$ -го пиломатериала, выпиленного из  $i$ -го сортимента;

$K$  – коэффициент использования станка или лесопильной рамы;

$u_p$  – средняя скорость рабочего хода тележки;

$\eta_n$  и  $\eta_\delta$  – КПД от двигателя к пиле при раскряжке и продольном пилении соответственно;

$C_1 = 1/3600$  – коэффициент для перевода времени из секунд в часы.

На заключительном этапе ставится задача одновременной максимизации выхода объемов сортиментов и пиломатериалов, а также минимизации удельной энергоемкости.

Перед нами возникает оптимизационная многокритериальная задача с противоречивыми критериями. В этом случае необходимо применить метод составления комплексного критерия и установить способ его свертки.

Применим поиск компромиссного решения задачи [9], основанный на предложении аддитивности: функция полезности всей системы является суммой частных критериев полезности, обозначим вес цели  $F_k(X)$  через  $W_k \geq 0$ , так как критерии  $F_j(X)$  не выражаются в одних единицах, то определяется масштабная функция  $S_k(F_k(X))$  так, чтобы диапазон изменения каждого критерия  $F_k(X)$  ограничивался одними и теми же числами, например, то 0 до 1. Максимум  $M_k$  получается из  $W_k F_k(X) \rightarrow \max$ , если  $W_k = 1$ , а все другие веса равны 0.

Целевая функция примет вид

$$\sum_k^3 W_k S_k(F_k(X)) \rightarrow \max, \quad (7)$$

где относительные веса  $W_k$  принимают значения на отрезке  $[0, 1]$  и их сумма равна 1.

Каждая масштабная функция  $S_k(F_k(X))$  отображает множество значений целевой функции  $F_k(X)$  на интервал от 0 до 1.

Масштабную функцию можно определить как  $a_k + b_k F_k(X)$ , где

$$a_k = \frac{-m_i}{M_i - m_i} = \frac{-M_i}{M_i - m_i} + 1; \quad b_k = \frac{1}{M_i - m_i}. \quad (8)$$

Т а б л и ц а 1

**Оптимальные схемы раскроя хлыстов**

Длина хлыста, м	Оптимальный раскрой
16	П I – 6,5 м; П II – 5,5 м; Б – 4,0 м
17	П I – 6,0 м; П II – 6,0 м; Б – 5,0 м
19	П I – 4,5 м; П II – 6,0 м; П II – 4,5 м; Б – 4,0 м
21	П I – 6,5 м; П II – 6,5 м; П II – 4,0 м; Б – 4,0 м

Примечание: П I, П II – пиловочник 1-го, 2-го сорта, Б – балансы

В рамках линейных масштабных функций целевая функция запишется в виде

$$\sum_k W_k [a + b F_k(X)] \rightarrow \max,$$

где  $\sum_k W_k a_k$  – константа, которую при оценке компромисса между целями  $F_k$  можно не учитывать.

Комбинирование масштабирующего множителя с относительными весами производится так, чтобы общая сумма была равна 1.

Неотрицательные веса  $\bar{W}_k$ , сумма которых равна 1, включает относительные веса  $W_k$  и масштабные коэффициенты

$$\bar{W}_k = \frac{W_i (M_i - m_i)}{\sum_k [W_i / (M_i - m_i)]}. \quad (9)$$

Целевая функция принимает вид

$$\sum_k \bar{W}_k F_k(X) \rightarrow \max. \quad (10)$$

Изменяя относительные веса  $\bar{W}_k$  от 0 до 1 при условии нормировки  $\sum \bar{W}_k = 1$ , можно определить компромиссы между целями  $F_k(X)$ .

Задача оптимизации раскроя древесного сырья для получения наиболее ценной номенклатуры лесоматериалов решалась в программной среде Excel. Раскрои задавались при длинах хлыстов 16, 17, 19, 21 м соответственно. Полученные результаты представлены в табл. 1.

При решении задачи оптимизации раскроя пиловочного сырья на пиломатериалы раскрои генерировались вручную. Для одного и того же диаметра задавались раскрои на пиломатериалы одинакового сорта размера. Вычислялись объемный выход пиломатериалов, количество резов, суммарные высоты пропилов и удельная энергоемкость на пиление. Диаметр пиловочника 26 см, размеры пиломатериалов 32 × 75, 32 × 100, 25 × 100.

Схемы раскроя пиловочного сырья диаметром 26 см представлены на рисунке, а данные по расчетам в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

**Данные по схемам расчета и эффект, полученный при использовании наилучшего варианта**

Диаметр бревна, см.	Вариант раскроя	Объем бревна, м³	Объем пиломатериалов, м³	Объемный выход п/м, %	Σ высот пропилов, см.	Число проходов, шт.	Затраты удельной энергии, кВт·ч/м³	Эффект, кВт·ч/м³
26	а	0,318	0,2124	66,79	219,5	54	3,92	0,192
	б		0,2112	66,41	221,8	44	4,026	
	в		0,1752	55,1	231,2	68	4,112	

Примечание: данные по объемам получены при длине пиловочника 6 м.

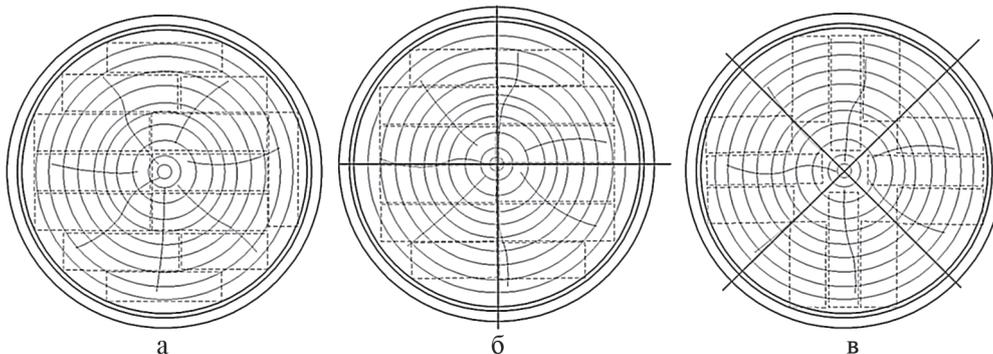


Рисунок. Схемы раскроя бревна диаметром 26 см

Эффект от применения наилучшего раскроя для бревна диаметром 26 см составил – 0,192 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Предложенная постановка оптимизации раскроев сортиментов и пиломатериалов на основе комплексного критерия позволяет рационально обосновать максимальный выход сортиментов и пиломатериалов при минимальных затратах энергии на их производство в условиях лесосеки.

### Библиографический список

1. Сухих, А.Н. Повышение эффективности технологии переработки стволовой древесины с учетом производства радиальных пиломатериалов на лесосеке: дисс. ... канд. техн. наук : 05.21.01 / А.Н. Сухих. – Братск, 2005.
2. Якимович, С.Б. Теория синтеза оптимальных процессов: проектирование систем заготовки и обработки древесины и управление ими / С.Б. Якимович. – Пермь: Изд-во Пермской ГСХА, 2006. – 249 с.
3. Обоснование ресурсосберегающих технологий лесопромышленного комплекса, адаптированных к природным условиям Пермского края, с минимизацией затрат на лесовосстановление: отчет о НИР / С.Б. Якимович. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 181 с.
4. Ефимов, Ю.В. Методика расчета эксплуатационных параметров лесного комбайна / С.Б. Якимович, Ю.В. Ефимов, А.Н. Гневашев и др. // Научному прогрессу – творчество молодых: сб. материалов науч. конф. – Йошкар-Ола, 2007. – С. 125.
5. Ефимов, Ю.В. Обоснование технико-эксплуатационных параметров лесного комбайна для производства сортиментов и пиломатериалов / Ю.В. Ефимов // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. В.18. – Брянск: БГИТА, 2007. – С. 17–20.
6. Пат. 2312489 Российская федерация, МПК А 01 G 23/083, А 01 G 23/081. Лесной комбайн для переработки стоящих деревьев на сортименты и пиломатериалы / Якимович С.Б., Ефимов Ю.В., Морозов Е.А.
7. Редькин, А.К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок: учебник для вузов / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 504 с.
8. Пижурин, А.А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки / А.А. Пижурин, А.А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2004. – 375 с.
9. Петрова, Л.В. Теория систем и системный анализ: Курс лекций / Л.В. Петрова, В.И. Абдулаев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 184 с.

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ КОРЫ ПРИ РОТОРНОЙ ОКОРКЕ

А.М. ГАЗИЗОВ, *проф. ГОУ ВПО СПб ГЛТА, канд. техн. наук*,  
В.Я. ШАПИРО, *проф. ГОУ ВПО СПб ГЛТА, д-р техн. наук*,  
И.В. ГРИГОРЬЕВ, *проф. ГОУ ВПО СПб ГЛТА, д-р техн. наук*

*ftacademy@home.ru*

Спозиций механики сплошных сред каждый слой и кора в целом представляют собой трехкомпонентную среду, содержащую: 1) твердую (перидерма, рыхлая паренхима, каменистые клетки, волокна); 2) жидкую (вода, при низких температурах – лед) и 3) газообразную (защемленный воздух) компоненты. В зависимости от содержания воды в коре различают водонасыщенную (влажную) и неводонасыщенную (сухую) кору.

Кора легко отделяется при положительных температурах, а также при влажности не менее 40–50 %. Однако процесс образования окоренной поверхности менее влажного (сухого) или мерзлого сырья усложняется и характеризуется проявлением механизмов смятия, уплотнения коры с пос-

ледующим сдвигом вдоль плоскости раздела кора–древесина [1–3].

Таким образом, на процесс отделения коры, помимо соотношения деформационных и прочностных характеристик, оказывает влияние ее влажность ( $W$ , %) и температура ( $T$  °C) окружающей среды, поскольку вода и лед обладают различной сжимаемостью и характером проявления упругопластических, вязких свойств, что в итоге существенно изменяет прочность адгезионных связей между твердыми компонентами коры и заболонного слоя древесины. На данном этапе исследования оценим влияние влажности на развитие процесса разрушения коры.

Рассмотрим процесс отделения коры от древесины с помощью скребкового корос-

нимателя при следующих угловых параметрах (рис. 1, а). Примем [4] в качестве угла окорки (резания) – угол  $\delta > \pi/2$  между передней гранью кулачка и плоскостью, касательной к поверхности кряжа диаметром  $d_6$  в месте контакта ее с рабочей кромкой, а за установочный угол резания  $\delta_0 > \pi/2$  примем угол между передней гранью кулачка и плоскостью, проходящей через ось качания и рабочую кромку. Выбор угловых характеристик определяется диаметром  $d_6$  и параметрами станка – расстоянием от оси качания короснимателей до рабочей кромки ( $L$ ) и диаметром оси ротора ( $R$ ). Отделение коры от древесины происходит путем реализации механизма сдвига под действием давления передней грани кулачка. Рассмотрим нормальную силу  $F_c$ , перпендикулярную к плоскости передней грани и действующую на участок коры толщиной  $h_k$  с площадью контакта  $\Delta s$  (рис. 1, б), величина которой зависит от геометрических и угловых параметров рабочей кромки короснимателя и диаметра кряжа  $d_6$  [3].

Указанная сила связана с силой прижима короснимателя  $F_1$  соотношением

$$F_c = F_1 \cos(\pi - \delta) = -F_1 \cos \delta. \quad (1)$$

Нормальной силе  $F_c$  препятствуют две силы (рис. 1 б):  $T_1$  – сила трения коры о коросниматель

$$T_1 = \mu_{\text{тр}} F_c, \quad (2)$$

где  $\mu_{\text{тр}}$  – коэффициент трения;

$T_2$  – сила внутреннего сцепления частиц коры (С);

$$T_2 = F_c k_\phi + C \Delta s, \quad (3)$$

$k_\phi = \text{tg} \phi$  – коэффициент внутреннего трения.

Суммируя силы  $T_1$  и  $T_2$  и разделив результат на площадь контакта  $\Delta s$ , определим величину горизонтального давления  $q_r$ .

Зависимость давления  $q_r$  от вертикального давления  $q_b$  установим с помощью обобщенной диаграммы Мора [5] с учетом уменьшения силы внутреннего сцепления вследствие сокращения площади контакта при увеличении сдвига частиц коры [6, 7]

$$q_r = C(1 - (j/b_k)) + q_b \text{tg} \phi, \text{ МПа}, \quad (4)$$

где  $j \leq b_k$  – сдвиг частиц коры, предельное значение которого равно величине подачи кряжа  $\Delta$  за 1 оборот короснимателя;

$b_k$  – ширина снимаемой коры. Необходимо отметить, что в пределе отношение  $(j/b_k) = \Delta/b_k$ , т.е. оно является обратной величиной коэффициента перекрытия  $K_{\text{п}}$ .

Таким образом, анализ соотношения (4) показывает, что при деформации сдвига  $j = b_k$  значение сил внутреннего сцепления снижается до нуля.

Диаграмма Мора для двух кругов предельных напряжений с диаметрами, соответственно равными пределу прочности на разрыв  $\sigma_p$  и  $\sigma_{\text{сж}}$ , представлена на рис. 1, в. Секущая  $S_m$ , проходящая через вершины А и В окружностей, в первом приближении представляет собой огибающую кругов Мора, т.е. угол ее наклона к оси Ох примем за  $\phi$  ( $k_\phi = \text{tg} \phi$ ), а ординату точки пересечения с осью Оу – за сцепление С.

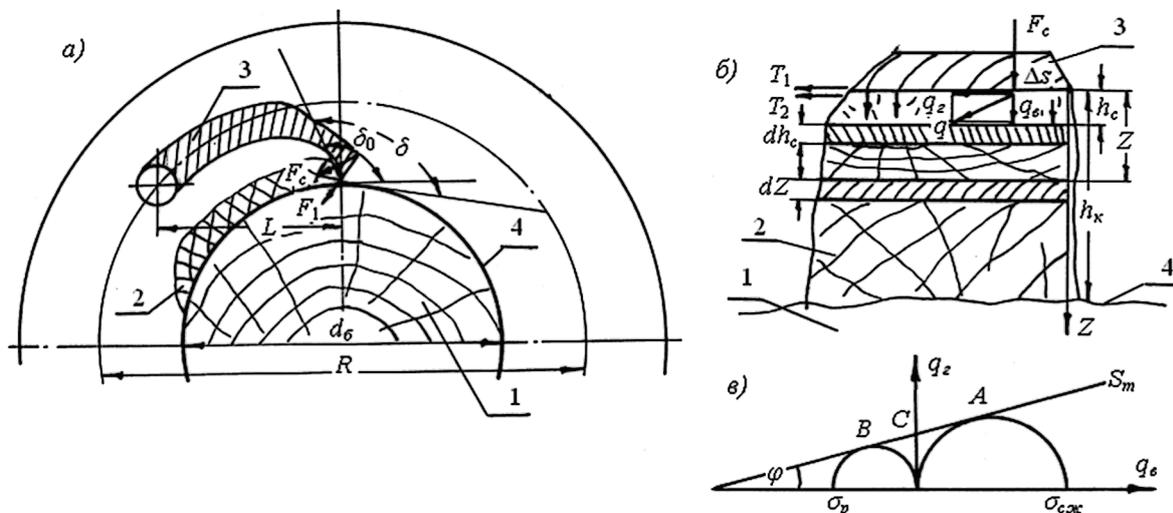


Рис. 1. Схема разрушения массива коры: а) взаимодействие короснимателя с корой; б) слой коры под давлением; в) предельные круги Мора; 1 – древесина; 2 – кора; 3 – коросниматель; 4 – окоренная поверхность

**Физико-механические свойства коры**

Кора	W, %	$\rho_k, \text{кг/м}^3$	$\sigma_{сж}, \text{МПа}$	$\sigma_p, \text{МПа}$	C, МПа	$k_\phi$
сосна	10	370	6,4	1,8	1,40	0,56
ель	10	310	4,2	2,6	1,61	0,24
лиственница	10	380	3,9	1,7	1,18	0,39
пихта	10	470	4,0	2,4	1,50	0,25
дуб	9	480	18,2	5,2	4,04	0,56
береза	13	770	20,0	2,2	1,98	0,80
осина	9	590	12,5	10,7	5,77	0,08

В этом случае, как отмечается в [5], когда наряду со сжимающими (отрицательными) напряжениями присутствуют растягивающие (положительные), величины C и  $\phi$  следует рассматривать не как истинные физические характеристики, а как параметры аппроксимированной диаграммы сдвига, отражающие влияние сцепления и угла внутреннего трения на развитие процесса разрушения.

Тогда, приняв эти допущения, получим соотношения для определения параметров C и  $k_\phi$

$$C = \sigma_{сж} \sigma_p / (\sigma_{сж} + \sigma_p), k_\phi = \sigma_{сж} - \sigma_p / (\sigma_{сж} + \sigma_p). \quad (5)$$

Вертикальное давление  $q_b$ , действующее на переменный слой  $h_c$  коры, определим из решения задачи о вдавлении штампа (рис. 1, б).

Деформация (дифференциал  $dh_c$ ) элементарного слоя в направлении Z действия  $q_b$  равна:

$$dh_c = \frac{q_b dz}{E[1+(z/a\sqrt{\Delta s})^2]}, \quad (6)$$

где E – модуль общей деформации коры при отсутствии сдвига, равный начальному давлению  $q_0$  при  $h_c = h_r$ , где  $h_r$  – величина углубления рабочей кромки короснимателя в массив коры;  $a = 1 + (h_r/h_k)$ ;  $D = a\sqrt{\Delta s}$  – геометрический параметр короснимателя (штампа).

Наряду с абсолютными значениями  $h_c$  и  $h_k$  будем рассматривать их относительные величины  $\bar{h}_c = h_c/D$  и  $\bar{h}_k = h_k/D$ . Интегрируя выражение (5) по переменной Z в пределах деформируемого слоя, получим соотношение для определения вертикального давления  $q_b$  с учетом коэффициента уплотнения  $k_y$ , отражающего увеличение общей деформации массива коры при погружении ядра уплотнения

$$q_b = q_0 k_y \bar{h}_k \left\{ \frac{1}{\arctg \bar{h}_k} - \frac{(1 - \bar{h}_c/\bar{h}_k)}{\arctg(\bar{h}_k - \bar{h}_c)} \right\}. \quad (7)$$

В работе [6] коэффициент уплотнения учтен через несущую способность среды, в [7] – через коэффициент  $k_\phi$  внутреннего трения, в [8] – через коэффициент  $k_{np}$  пористости до начала деформации ( $k_{np} = 1 + \epsilon_0$ , где  $\epsilon_0$  – отношение объема пор в массиве коры к объему твердых частиц) и его изменение в процессе линейного деформирования. Последний подход применительно к деформации коры представляется наиболее целесообразным, в связи с чем принимаем в качестве коэффициента уплотнения  $k_y = ((1 + \epsilon_0)h_s/h_k) + 1$ . Установленные соотношения (4) и (7) позволяют определить (рис. 1, б) приведенное давление  $\bar{q} = \sqrt{q_b^2 + q_e^2}$  – интегральную характеристику нагрузки в произвольной точке массива коры под совокупным сжимающим действием вертикального и горизонтального давлений.

В качестве критерия качественного отделения коры принимается следующее условие: на границе раздела кора–древесина величина приведенного давления  $\bar{q}$  достигает величины предельной характеристики прочности на скалывание  $\sigma_{ск}$ , т.е. должно выполняться условие

$$S = \bar{q}/\sigma_{ск} \geq 1. \quad (8)$$

Принимая во внимание, что значение  $\sigma_{ск}$  коры отличается от аналогичной характеристики для древесины в 2–10 раз в зависимости от породы, можно заключить, что принятое условие (8) обеспечит качественную окорку на полную глубину без повреждения заболонного слоя древесины. Для апробации разработанной модели выбраны несколько пород древесины, отличающихся как по физико-механическим свойствам, так и по условиям деформирования в соответствии с диаграммами Мора.

В таблице представлены результаты расчетов C и  $k_\phi$  для сухой коры (W = 9–13 %) семи различных по плотности  $\rho_k$  материалов.

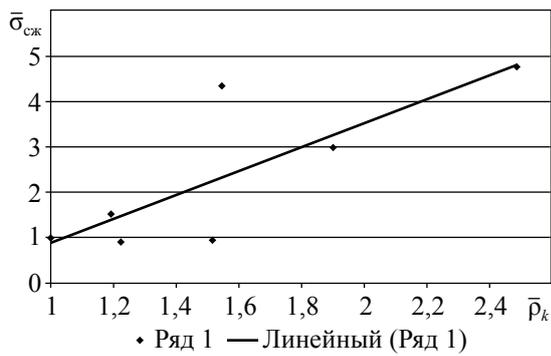


Рис. 2. Влияние увеличения плотности на прочность коры при сжатии

В результате статистической обработки данных табл. 1 установлено, что существует корреляционная связь между  $\sigma_{сж}$  и  $\rho_k$ , тогда как между  $\sigma_p$  и  $\rho_k$  она статистически не значима.

Так, на рис. 2 представлена зависимость увеличения относительной величины предела прочности на сжатие  $\bar{\sigma}_{сж}$  (ось ординат) от относительного увеличения плотности  $\bar{\rho}_k$  по сравнению с начальным состоянием (ось абсцисс), которую с коэффициентом детерминации  $R^2=0,63$  можно выразить в виде

$$\bar{\sigma}_{сж} = 2,62\bar{\rho}_k - 1,7151. \quad (9)$$

С увеличением влажности  $W$  вода в порах коры замещает защемленный воздух, что с учетом различий удельных весов приводит к росту плотности коры в целом. Причем, чем выше начальная плотность сухой коры  $\rho_{k0}$ , тем меньший объем воды проникнет в ее поры, т.е. в меньшей степени произойдет относительное увеличение плотности коры  $\bar{\rho}_k$  в зависимости от относительной влажности  $\bar{W}$ . И наоборот, низкоплотная сухая кора ели, сосны, лиственницы и других материалов интенсивно поглощает влагу и тем самым увеличивает плотность. Обобщив опытные данные для коры четырех лесоматериалов – ели, сосны, березы и лиственницы в комлевой и срединной частях хлыста, установили логарифмический закон связи  $\bar{\rho}_k(\bar{W})$  для всех пород деревьев.

Расчеты для различных пород деревьев показали, что коэффициент при натуральном логарифме является функцией начальной плотности коры  $\rho_{k0}$ . В результате обработки была получена зависимость  $\bar{\rho}_k(\bar{W})$  в виде

$$\bar{\rho}_k(\bar{W}) = \left( \frac{3\rho_{k0}^2}{10^6} - 0,0045\rho_{k0} + 1,7881 \right) LN(\bar{W}) + 1. \quad (10)$$

Необходимо отметить, что полученная зависимость (8) отличается от теоретической линейной зависимости  $\bar{\rho}_k = 1 + W$ , полученной для оценки влияния влажности на плотность трехкомпонентной среды, и более полно отражает протекание этого сложного процесса.

Анализ данных табл. 1 показывает, что минимальной характеристикой сцепления ( $C = 1,18$  МПа) обладает кора лиственницы, максимальной ( $C = 5,77$  МПа) – кора осины. Кора хвойных деревьев характеризуется узким диапазоном изменения величины  $C = 1,4-1,61$  МПа. Разрушение коры зависит от величины  $C$ , которая, как показывает взаимосвязь соотношений (9) и (10), в свою очередь зависит от влажности  $W$ .

Полученные исходные данные позволяют перейти к рассмотрению вопроса оценки влияния влажности среды на механизм развития разрушения массивов коры различных деревьев.

Для сопоставительного анализа выбраны кора сосны, осины и березы для условий окорки свежесрубленного ( $W = 100-130\%$ ) кряжа зимней заготовки диаметром  $d_6=0,4$  м на роторно-скребковом станке ОК-63. Технические характеристики станка приняты в соответствии с данными: скорость подачи  $u_n=0,45$  м/с;  $F_1=800$  Н; число короснимателей – 4; число оборотов в минуту – 135, частота вращения ротора –  $2,7$  с<sup>-1</sup>; длина короснимателя –  $0,366$  м, его задний и передний углы – соответственно  $0,785$  и  $0,25$  рад.;  $\delta = 2,02$  рад.; радиус заточки  $0,0015$  м;  $h_r=0,0016$  м;  $b_k=0,05$  м;  $K_n=1$ ,  $k_y=1,25$ ,  $\mu_{тр}=0,3$ . При таких параметрах удельная сила окорки достигает  $F_c = 22,17$  кН/м. Толщина коры  $h_k$  рассчитывалась по формулам [1] и составила для сосны –  $12,8$ , осины –  $12,1$  и березы –  $12,4$  мм, т.е. фактор влияния диаметра кряжа из рассмотрения можно практически исключить.

На рис. 3 представлены зависимости изменения величины  $\bar{q}$  по мере увеличения глубины  $h_c$  снимаемого слоя (в % от  $h_k$ ). Величины предела прочности  $\sigma_{ск}$  поперек волокон для представленных пород приняты соответственно:  $\sigma_{ск}=0,33, 0,79$  и  $1,42$  МПа [1]. Как следует из рис. 3, принятые параметры окорки обеспечат выполнение условия (8) только для массива коры сосны, тогда как для двух

других пород величину  $\bar{q}$  необходимо увеличивать.

Рассмотрим влияние влажности  $W$  на развитие процесса разрушения через механизм зависимости  $\sigma_{ск}(W)$ , учитывая, что  $\sigma_{ск}$  снижается по мере увеличения  $W$  [1–3]. Степень этого снижения получена при обработке данных статистическими методами распознавания образов для различных пород деревьев. На рис. 4 представлены основные показатели процесса разрушения коры сосны в условиях двукратного снижения влажности со 100 до 50 %. Отметим из анализа угловых коэффициентов наклона прямых, представленных на рис. 4, что рост  $W$  сильнее сказывается на снижении прочности, чем на увеличении давления в слое коры, в связи с чем зависимость критерия  $S(W)$  – практически линейная, положительная. Предельное состояние ( $S \rightarrow 1$ ) наблюдается при снижении  $W$  до 50 %. Аналогичные исследования, выполненные для разрушения коры осины и березы, позволили сравнить условия достижения критерия качественной окорки.

Полученные результаты показывают, чем меньше исходная плотность коры, тем больше влияние влажности на параметры процесса разрушения. Оценим интенсивность влияния  $W$  на  $S$  посредством производной  $dS/dW$ , поскольку в силу линейной связи  $S(W)$  производная является угловым коэффициентом. При плотности коры сосны более чем в 2 раза ниже плотности коры березы степень влияния влажности на процесс ее разрушения в 4 раза превосходит этот показатель при разрушении высокоплотной коры березы по мере насыщения ее водой. Как видно, для выполнения условия (8) при окорке березы в случае неизменности остальных параметров, влажность мерзлого кряжа необходимо увеличить до 160 %, что соответствует рекомендациям [3] по предварительному (в процессе подготовки к роторной окорке) улучшению состояния сортиментов древесины путем насыщения их водой.

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет исследовать механизм влияния влажности среды на развитие процесса разрушения коры различных пород деревьев.

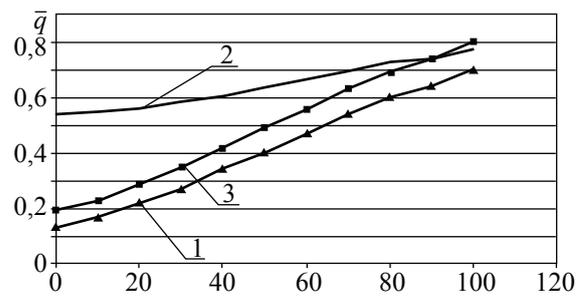


Рис. 3. Изменение приведенного давления с глубиной коры: 1 – сосны; 2 – осины; 3 – березы

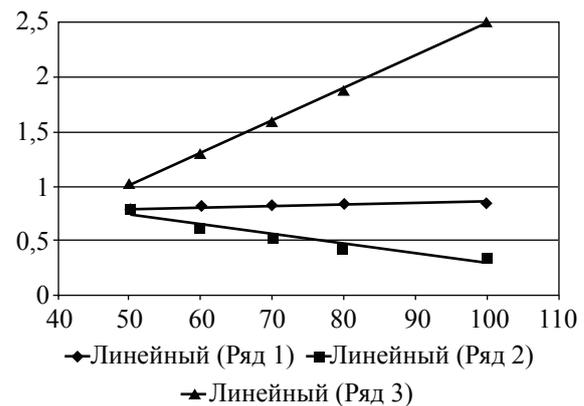


Рис. 4. Зависимость параметров процесса разрушения коры сосны от влажности: 1 –  $\bar{q}(W)$ ; 2 –  $\sigma_{ск}(W)$ ; 3 –  $S(W)$

### Библиографический список

1. Симонов, М.Н. Окорка древесины / М.Н. Симонов, В.Г. Югов. – М.: Лесная пром-сть, 1972. – 128 с.
2. Бойков, С.П. Теория процессов очистки древесины от коры / С.П. Бойков. – Л.: ЛГУ, 1980. – 152 с.
3. Пигильдин, Н.Ф. Окорка лесоматериалов (теория, технология, оборудование) / Н.Ф. Пигильдин. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 192 с.
4. Бойков, С.П. Окорка круглых лесоматериалов: лекции / С.П. Бойков. – Л.: РИО ЛТА, 1975. – 79 с.
5. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. – М.: Высшая школа, 1978. – 447 с.
6. Агейкин, Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
7. Шапиро, В.Я. Деформация и циклическое уплотнение почвогрунта между грунтозацепами крупногабаритных лесных шин / В.Я. Шапиро, И.В. Григорьев // Техника и технология. – № 2(14). – 2006. – С. 94–100.
8. Ермичев, В.А. Математическая модель исследования уплотнения почвы при воздействии на нее гусеничной машины / В.А. Ермичев, В.Н. Лобанов, Г.Н. Кривченкова и др. // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. – Брянск: БГИТА, 2006. – Вып. 14. – С. 15–18.

## ОТХОДЫ И СТОЧНЫЕ ВОДЫ – НЕИЗБЕЖНОЕ БРЕМЯ ИЛИ НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ?

И.С. ГЕЛЕС, *Институт леса КарНЦ РАН,*  
М.А. КОРЖОВА, *Институт леса КарНЦ РАН*

*forest@krc.karelia.ru*

Человечество вступило совершенно определенно и невозвратно в эру ускоренного сокращения невозобновляемых природных ресурсов, но и не только их. Потенциально возобновляемые биологические источники также минимизируются быстрыми темпами. В первую очередь это относится к растительной (древесной) фитомассе. Общая заготовка круглого леса, очевидно, достигла своего предела: в 1996 г. она составляла 3,35 млрд м<sup>3</sup>, в 2005 г. – 3,49 млрд м<sup>3</sup>. За 10 лет заготовка круглого леса возросла всего на 4,4 %, несмотря на существенные темпы роста объемов производства в подавляющем большинстве стран мира, особенно в Китае, Индии, Бразилии и др. Казалось бы, в условиях новых рыночных отношений в РФ предприятия будут стремиться к получению максимальной прибыли за счет наиболее полного использования древесного сырья на всех стадиях, начиная с его заготовки и кончая выпуском готовой продукции. Тем более что в ряде регионов РФ возможности заготовки древесины, особенно хвойных пород, в будущем проблематичны вследствие распространяющейся гибели лесов [1]. Реалии говорят об обратном – лесозаготовители, особенно приграничных районов, стремятся как можно быстрее продать круглый лес за границу, оставляя основную массу порубочных остатков в лесу; на целлюлозно-бумажных предприятиях (ЦБП) создаются значительные количества разного рода отходов, токсических газовых выбросов и сильно загрязненных сточных вод, что в конце концов приводит к негативному воздействию на природную среду.

Традиционные методы утилизации и очистки недостаточно эффективны. Производство целлюлозы и бумаги относится к энергоемким отраслям, потребляющим много сырья и воды [9]. Для снижения потребления свежей воды разработаны и используются различные системы локальной очистки и

замкнутые циклы оборотных вод. Однако генеральным направлением считается возврат в производство сточных вод после их соответствующей очистки [2], что требует высоких затрат. В противоположность этому широко распространенному постулату выдвинута иная точка зрения – в области химико-механической переработки древесного сырья самые загрязненные сточные воды следует использовать в качестве водной среды в основных процессах получения целлюлозы [3]. Отдельные разработки по утилизации сильно загрязненных вод в некоторых процессах производства целлюлозы были известны еще в 60-е годы. Так, на Светогорском ЦБК была внедрена новая схема, в которой щелок от горячего облагораживания стал использоваться для промывки небеленой целлюлозы как в сцезах, так и на вакуум-фильтрах для снижения содержания смолы. Введение стоков от горячего облагораживания в обычный сульфитный щелок не сказалось отрицательно на работе спиртового завода, тогда как количество смол и жиров в целлюлозе снижалось на 0,2–0,4 % [4]. К сожалению, такие новинки носили единичный характер.

Среди жидких отходов, направляемых на общезаводские очистные сооружения, значительную часть по объему и содержанию загрязняющих веществ составляют сточные воды древесно-подготовительных отделов после их локальной очистки в радиальных отстойниках. Например, указанные стоки (по данным Кондопожского ЦБК) содержали в среднем за год 440 мг/л взвешенных веществ, сухого остатка 941 мг/л, сухого прокаленного остатка 111 мг/л, ХПК составляло 1713 мг О/л, БПК<sub>5</sub> – 328 мг О<sub>2</sub>/л, рН – 5,06. Эти данные согласуются с результатами анализа этих вод, полученных ранее [5]. Проведенные многочисленные опыты показали, что использование указанных сточных вод в качестве водной среды при сульфатных и натронных варках

древесины сосны и березы не сказалось негативно на самом процессе и физико-механических показателях получаемых небеленых целлюлоз [4]. Более того, введение в указанные варочные растворы водоэкстрактивных веществ коры ели (до 5 % от массы щепы) приводит к повышению выхода целлюлозы из древесины березы [6]. Эти и другие аналогичные эксперименты свидетельствуют, что такие сильно загрязненные сточные воды можно не очищать, а непосредственно использовать в щелочных способах варки.

Другими высокозагрязненными сточными водами являлись последрождевые бражки (ПДБ) гидролизных предприятий. Нерешенность проблемы их очистки с приемлемыми экономическими показателями привела к практической ликвидации этой подотрасли, функционировавшей вне системы ЦБП, где только у некоторых предприятий существовали гидролизные заводы. Целый ряд опытов с использованием ПДБ Сегежского ЦБК показал, что эти сточные воды могут служить водной средой при проведении щелочных варок. Анализ образцов ПДБ, взятых в разные годы, показал значительные колебания в содержании сухих веществ, минеральная часть изменялась меньше и составляла в

среднем 24,63 %, величина рН находилась в пределах 4,3–6,9, ХПК имело высокие значения – в среднем 7870 мг О<sub>2</sub>/л, БПК<sub>5</sub> превышало обычно 3000 мг О<sub>2</sub>/л. Несмотря на столь высокое загрязнение, ПДБ были использованы в качестве водной среды при сульфатной варке сосны и березы. Применение исключительно ПДБ в качестве варочной жидкости ведет к некоторому повышению выхода целлюлозы и улучшению ее механических свойств по сравнению с контролем. Значения степени делигнификации говорят о разнонаправленности этого процесса: у березы он ухудшается, у сосны – несколько возрастает (табл. 1).

Вместе с тем ПДБ содержит ряд солей, часть которых может нежелательно сказаться на ряде процессов. Анализ зольного состава нескольких проб ПДБ показал, что основными компонентами являются (средн. %): СаО (37,6), SiO<sub>2</sub> (4,45), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,73), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,37), К<sub>2</sub>O (0,57). Очень большие колебания наблюдались в содержании MgO, MnO, Na<sub>2</sub>O. В микроколичествах присутствовали цинк, стронций, титан, свинец и некоторые другие металлы. Можно полагать, что большая их часть в щелочной среде будет удалена при осветлении белого щелока после растворения сплава ПДБ.

Т а б л и ц а 1

**Результаты сульфатной варки древесины березы и сосны с использованием в качестве жидкой среды последрождевой бражки Сегежского ЦБК**

Показатели	Порода древесины			
	береза		сосна	
Использована ПДБ по объему от количества варочного щелока, %	100	–	100	–
Добавлено с ПДБ органических веществ, % от абсолютно-сухой древесины (а.с.д.)	1,1	–	1,07	–
Расход активной щелочи, % от общей массы органических веществ	14,5	14,5	17,3	17,3
Сульфидность варочного раствора, %	28,8	28,8	28,8	28,8
Конечная температура варки, °С	165	165	170	170
Продолжительность стоянки на конечной температуре, мин	60	60	80	80
Выход сортированной массы, %	54,3	52,5	47,1	46,3
Непровар, %	1,6	2,0	1,1	1,5
Общий выход массы, % от исходной а.с.д.	55,9	54,5	48,2	47,8
Степень делигнификации	40,0	28,5	37,7	40,7
Механические показатели (масса отливки 75 г/м <sup>2</sup> , степень помола 60 °ШР):				
разрывная длина, м	8770	8750	10680	9020
сопротивление: продавливанию, кПа	475	416	525	510
раздиранию, мН	627	588	617	601
излому, ч.д.п.	1982	2164	2994	2055

Это только два примера, когда на основе целого ряда лабораторных экспериментов показана возможность применения сточных вод с высоким содержанием органических примесей без какой-либо очистки в основной технологии с конечной утилизацией. Реализация подобных способов позволила бы резко сократить потребление свежей воды, а также химикатов и энергии при очистке сточных вод.

Обращаясь к отходам, нужно отметить, что в качестве многотоннажных на предприятиях ЦБП образуются отходы окорки, «скоп» (уловленное мелкое волокно) и др. Особо следует остановиться на отходах окорки, которые составляют на многих ЦБК сотни тысяч куб. метров. Обычно эти отходы после предварительного обезвоживания подвергаются сжиганию. Как показал опыт, несмотря на установку новых обезвоживающих прессов, влажность отходов превышает 55 % (верхнее значение, выше которого сжигание их экономически не выгодно). Например, по данным Кондопожского ЦБК вскоре после установки прессов Bark-Maister (Финляндия) влажность отходов стала составлять в среднем примерно 60 % (вместо 55 % по проекту). Кроме того, указанные прессы довольно быстро снижали работоспособность вследствие абразивного износа, и их приходилось заменять. На многих предприятиях в значительных количествах окашивается еловая древесина. Кора ели и некоторых других пород используется для получения дубителей, необходимых для выработки качественных кож. В СССР в соответствии с ведомственной принадлежностью еловый дубитель производился на специализированных предприятиях, которые систематически срывали плановые задания вследствие недопоставок елового корья предприятиями Минлеспрома. Еловое корье, согласно ГОСТ 6663-74, должно быть подсушено до влажности не выше 16 % и содержать дубильных веществ не менее 8 %. Вследствие высокой стоимости корья (окорка, сушка, транспортировка) и получения собственно дубителя при его пониженной способности взаимодействовать с коллагеном кож по сравнению с другими растительными и синтетическими дубителями был потерян интерес к его применению и модифицированию. Попытки транспортировать на специализиро-

ванные предприятия отходы мокрой и сухой окорки ели предприятиями ЦБП во влажном состоянии для ликвидации дефицита сырья и снижения стоимости не дали положительных результатов [7]. Нужно отметить, что сами отходы мокрой окорки ели считались непригодными для получения дубителей вследствие их низкого содержания и ухудшенной способности к продубливанию. Тем не менее, было предположено, что эти отходы могут быть использованы как таковые, т.к. исключаются операции окорки, сушки, измельчения, и производство дубильного экстракта может быть экономически целесообразным. Многочисленные опыты (в течение ряда лет) по получению дубильных экстрактов показали, что при извлечении меньшего количества веществ доброкачественность дубителей соответствовала требованиям нормативных документов [8]. Особо следует отметить, что анализ экстрактов проводили сотрудники лаборатории кожевенного завода им. Радищева Ленкожобъединения. Результаты лабораторных опытов были подтверждены в опытно-промышленном масштабе – дубильный экстракт был получен из отходов мокрой окорки ели Кондопожского ЦБК на Красногородском ЭЦБЗ, а испытание его проходило в опытном цехе кожевенного завода. Введение опытного экстракта в количестве 30 % в дубящую композицию при выработке воротков термоустойчивых привело к получению готовой кожи в соответствии с требованиями ГОСТ. Ранее была показана возможность использования отходов сухой окорки ели для производства качественного дубителя также в опытно-промышленном масштабе на указанных предприятиях. Опытный дубильный экстракт (доброкачественность 46,9 %) в сравнении со стандартным был использован для дубления жестких стелечных кож одинаковой массы. Органолептические и аналитические показатели опытной и контрольной кожи оказались идентичными и соответствовали требованиям ГОСТ.

Очевидно, что возможна и целесообразна концентрация отходов окорки от экономически транспортнодоступных лесоперерабатывающих предприятий с учетом того, что экстрактивные вещества коры хвойных, в том числе ели, используются как замена части

фенолоформальдегидных смол при прессовании древесно-стружечных плит, что делает их производство экономически и технологически более приемлемым. Расширение области применения экстрактивных веществ коры делает это направление экономически привлекательным. Согласно имеющимся в настоящее время разработкам отходы окорки могут использоваться в самых разных направлениях. Их можно рассматривать как единое целое или учитывать структурно-химическую неоднородность. Например, отходы окорки обычно рассматривают как низкокалорийное топливо из-за повышенной влажности даже после отжима в прессах, и поэтому сжигание их носит скорее «санитарный» характер. Давно предложено сжигать не всю кору, а только ее корковую часть, которая всегда имеет существенно меньшую влажность и больший процент углерода, нежели лубяная. Кроме того, разделение коры на луб и корку энергетически выгоднее, чем отжим в прессах всей коры. Из выделенного луба можно получать дубильные экстракты, а затем подвергать его определенным гидролитическим обработкам, в результате которых образуются растворы моносахаридов совместно с волокнистой массой или только первые.

Такая комплексная схема переработки отходов окорки ели Кондопожского ЦБК была реализована в опытно-промышленном масштабе с получением положительных результатов.

О возможности использования коры в качестве сырья для производства кормового

белка сообщалось в нескольких работах. Проведенные исследования доказали возможность получения качественных кормовых дрожжей при утилизации моносахаридов от гидролитических воздействий на отходы окорки.

Большое внимание уделялось применению отходов окорки в производстве различного рода плитных материалов. Для изготовления плит использовали также такой отход, как скоп (мелкое волокно, получаемое при механической очистке оборотных и сточных вод). Наряду с ними в древесно-подготовительных отделах ЦБК образуется такой своеобразный отход, как шлам – осадок при очистке оборотных вод в радиальных отстойниках. Он представляет собой мелко измельченную корку, которая вследствие сильного набухания трудно обезвоживается, поскольку исходная влажность достигает 80 %. С целью утилизации указанных отходов было разработано несколько композиций, куда вводились также другие отходы, улучшающие обезвоживание общей массы. В качестве таковых выступали опилки и древесно-волокнистая масса. Из указанных компонентов были получены плиты типа мягких древесно-волокнистых (ДВП) с несколько улучшенными свойствами по сравнению с мягкими теплоизоляционными плитами марки М-1 (ГОСТ 4598-86), получаемыми из качественного древесного сырья (табл. 2). Опытные плиты имели значение коэффициента теплопроводности примерно такие же, что и стандартные (указанный показатель определяли в ВПНИИтеплоизоляции, г. Вильнюс).

Т а б л и ц а 2

### Состав и свойства плит из отходов переработки древесины ели Кондопожского ЦБК

Состав плит	Физико-механические показатели:					
	плотность, кг/м <sup>3</sup>	толщина, мм	предел прочности при изгибе, МПа	водопоглощение за 2 ч., %	набухание по толщине, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°К
Шлам, скоп, опилки, гидрофобизатор	386–396	7,0–10,8	2,20–2,35	11,5–19,5	3,4–12,6	> 0,09
Шлам, скоп, древесно-волокнистая масса, гидрофобизатор	381–400	7,1–11,3	2,20–2,70	7,4–17,4	2,2–10,3	> 0,09
Древесно-волокнистая масса, гидрофобизатор (плиты марки М-1)	300–400	8,12, 16	средний уровень 2,0	верхняя граница 34	-	> 0,09

Состав и свойства трудногораемых плит

Состав плит	Способ введения антипирена	Физико-механические показатели				
		плотность, кг/м <sup>3</sup>	толщина, мм	предел прочности при изгибе, МПа	водопоглощение за 2 ч., %	потери массы при испытании методом огневой трубы, %
Шлам, скоп, древесно-волокнистая масса, опилки, гидрофобизатор	полив	308–525	7,2–11,0	0,89–2,76	14,9–25,2	3,0–7,3
То же	в массу	322–524	7,0–10,8	1,63–2,69	7,2–21,3	3,0–8,6

С целью повышения их потребительских свойств изучались композиции для выработки трудногораемых теплоизоляционных плит, особо пригодных в деревянном домостроении. В итоге были разработаны два варианта получения подобных плит, композицию которых составляли указанные отходы с введением антипирена (табл. 3). При поливе раствором антипирена трудногораемые плиты имеют большие колебания предела прочности при изгибе, нежели при введении его в массу. Нужно отметить, что из указанных выше композиций можно производить, очевидно, крошку или гранулы в качестве тепло- и трудногораемых материалов.

Отходы окорки могут использоваться также для получения сорбентов, служащих для очистки водной поверхности от нефти и нефтепродуктов, а также вод, загрязненных тяжелыми металлами [3].

Приведенная далеко не полная информация говорит о широких возможностях получения из «малопригодных» отходов целого ряда ценных и важных продуктов, а также возможности исключения сильнозагрязненных сточных вод вообще из процесса очистки. Сохранить химико-механическую переработку древесины как широкомасштабную отрасль, удастся, по-видимому, лишь минимизируя потребление свежей воды, энергии и максимально используя исходные сырьевые материалы для выпуска продукции с потребительскими свойствами для широкого круга пользователей.

#### Библиографический список

1. Жигунов, А.В. Массовое усыхание лесов на Северо-Западе России / А.В. Жигунов, Т.А. Семанова, Д.А. Шабунин // Лесобиологические исследования на северо-западе таежной зоны России: итоги и перспективы. – Петрозаводск, 2007. – С. 42–52.
2. Терентьев, О.А. Охрана окружающей среды в целлюлозно-бумажной промышленности / О.А. Терентьев, М.А. Евилевич // Проблемы качества природных вод. – Черноголовка, 1987. – С. 185–197.
3. Гелес, И.С. Древесная биомасса и основы экологически приемлемых технологий ее химико-механической переработки / И.С. Гелес. – Петрозаводск, 2001. – 382 с.
4. Сыкол, В.П. Щелочная обработка целлюлозы / В.П. Сыкол, В.Ю. Третьякова // Бумажная промышленность. – 1961. – № 6. – С. 19–20.
5. Гелес, И.С. О некоторых направлениях переработки щепы из неокоренной древесины и возможности использования вод узлов окорки / И.С. Гелес, З.А. Коржицкая, Л.В. Голубева // Проблемы комплексного использования древесного сырья. – Петрозаводск, 1981. – С. 59–82.
6. Голубева, Л.В. Изучение влияния водозлаживающих веществ коры ели на процесс щелочной делигнификации древесины / Л.В. Голубева // Древесное сырье и возможности его комплексного использования. – Петрозаводск, 1983. – С. 80–92.
7. Вахрушев, В.И. Использование еловой коры механизированной окорки для производства растительных дубильных экстрактов / В.И. Вахрушев // Изучение и пути использования древесной коры: Тез. докл. краевой конф. – Красноярск, 1985. – С. 92–95.
8. Гелес, И.С. К вопросу комплексной переработки отходов мокрой окорки ели / И.С. Гелес, М.И. Агеева, И.И. Маркичев, Ф.Х. Хакимова // Изучение химического состава коры хвойных и ее использование в целлюлозно-бумажном производстве. – Петрозаводск, 1987. – С. 49–60.
9. Tschudin P. F. Der Weg der Papierindustrie von der Industrialisierung zur Automation // Das Papier. 1988. V. 42. No 1. S. 1–9.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Ю.П. ЦАРЬГОРОДЦЕВ, доц. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук,

Н.П. ПОЛУЭКТОВ, проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук,

В.Н. ХАРЧЕНКО, проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук,

И.А. КАМЫШОВ, асп. каф. физики МГУЛ

*caf-physics@mgul.ac.ru*

**М**агнетрон с полым катодом – новый тип источника плазмы для осаждения пленок с использованием атомов и ионов металла. Особенностью этого разряда является высокая концентрация плазмы (более  $10^{12}$  см<sup>-3</sup> при давлении 1 мТор), создаваемая в большом ( $10^3$  см<sup>3</sup>) объеме, низкая (10–50 эВ) и легко изменяемая энергия ионов, приходящих на подложку, что обуславливает его применение для создания адгезионных, диффузионных и затравочных слоев в канавках (трэнчах) и межслойных отверстиях субмикронных структур с большим аспектным отношением [1, 2]. В разряде на смеси инертных и реактивных газов можно получать компаундные многослойные пленки с наноразмерными структурами [3]. Образование пленок в таком разряде сопровождается большими потоками низкоэнергетических ионов, что позволяют получать пленки с уникальными свойствами.

В данной работе приведены результаты исследования магнетронного разряда с полым катодом. На рис. 1 показана схема установки. Катод магнетрона выполнен в виде закрытого с одного конца цилиндра (диаметр 8 см, длина 7 см), изготовленного из меди и охлаждаемого водой. В него можно вставлять цилиндрические мишени из различных металлов, изготовленные и листов толщиной 1–3 мм. Питание катода производилось от инверторного источника мощностью до 12 кВт (20 А, 600 В). Вакуумная камера состоит из катода – источника плазмы и реактора (диаметр 35 см, длина 55 см). Для откачки использовался турбомолекулярный насос, подача газа через электронный регулятор расхода. Магнитное поле создавалось столбиками из Sm–Co магнитов (8 шт) или Fe-Ne-B магнитов (12 шт), расположенных

вокруг катода. Концы столбиков соединены кольцевыми железными магнитопроводами. Индукция магнитного поля вблизи цилиндрической поверхности катода составляет 550 Гс для Sm–Co магнитов и 800 Гс для Fe-Ne-B магнитов. Магнитная пробка на выходе из катода, образуемая такой конструкцией, удерживает вторичные электроны внутри катода. Скрещенные ЕхВ поля вызывают дрейф электронов в азимутальном направлении, в результате внутри полого катода создается плазма высокой концентрации ( $> 10^{12}$  см<sup>-3</sup>). Коэффициент использования мишени в таком катоде высок, зона эрозии занимает почти всю цилиндрическую часть. Те электроны и ионы, которые имеют начальную аксиальную скорость, способны покинуть полый катод и распространяться вниз по потоку. Для данного катода диаметр центрального ядра потока порядка 5 см на расстоянии 20 см от среза магнетрона. Для расширения потока плазмы и создания более однородного радиального распределения на расстоянии нескольких сантиметров от среза установлен электромагнит, магнитное поле которого включено навстречу магнитному полю постоянных магнитов, образуя на выходе магнетрона поле касповой конфигурации. Чтобы уменьшить радиальные потери плазмы, между катодом и заземленным анодом устанавливалась цилиндрическая вставка диаметром 160 мм и длиной 110 мм, находящаяся под плавающим потенциалом.

Температура электронов, функция распределения электронов по энергиям, концентрация ионов и электронов, а также плавающий потенциал  $V_f$  и потенциал плазмы  $V_s$  определялись из зондовых характеристик цилиндрических ( $r = 0,175$  мм,  $l = 5$  мм) зондов Лэнгмюра.

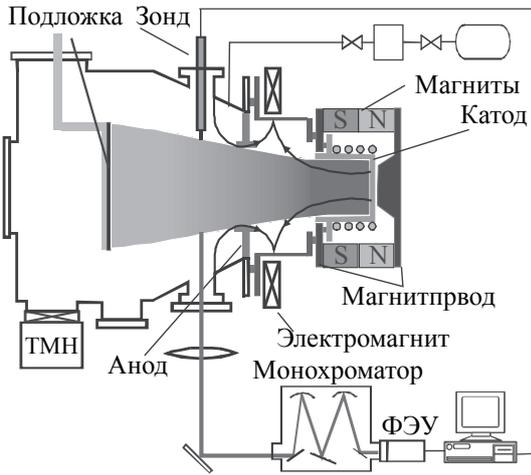


Рис. 1. Схема установки

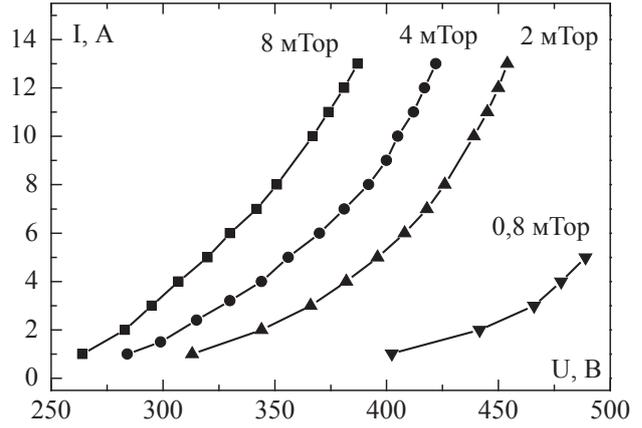


Рис. 2. ВАХ разряда для различных давлений

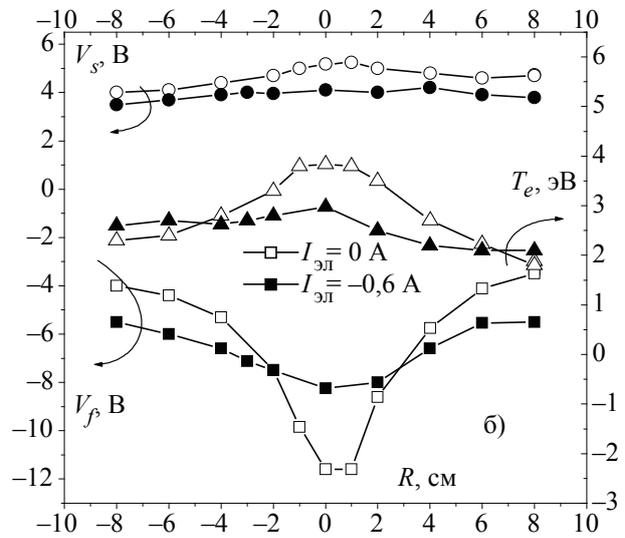
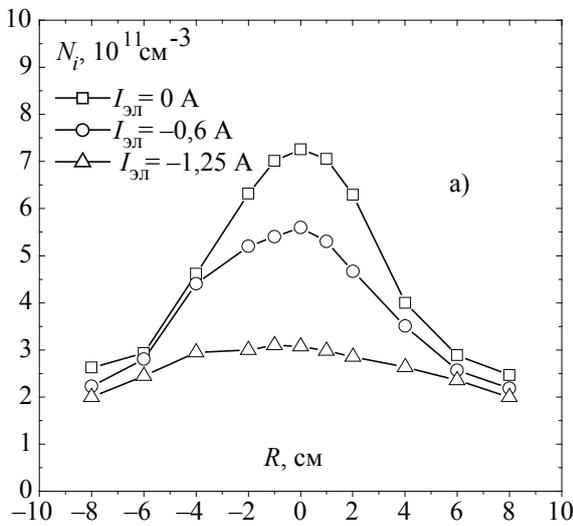


Рис. 3. Радиальные распределения: а) концентрации электронов; б) потенциала плазмы  $V_s$ , плавающего потенциала  $V_f$  и средней температуры электронов  $\langle T_e \rangle$  в зависимости от тока электромагнита  $I_{эл}$ . Аг,  $p = 5$  мТор, расход Аг  $50 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $I = 8 \text{ А}$ ,  $U = 384 \text{ В}$ . 20 см от магнетрона

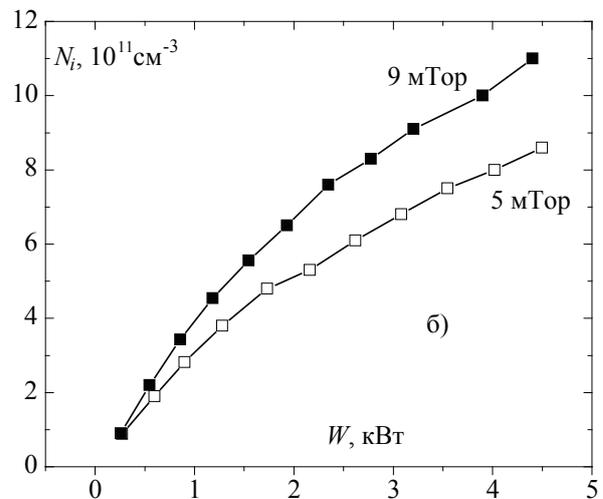
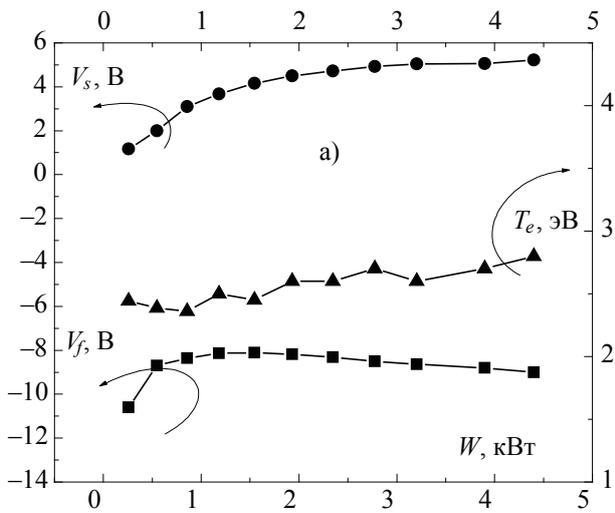


Рис. 4. Зависимость потенциала плазмы  $V_s$ , плавающего потенциала  $V_f$ , средней температуры электронов  $T_{e,cp}$  — а); концентрации электронов  $N_e$  — б) от мощности разряда.  $p = 8$  мТор, расход  $50 \text{ см}^3/\text{мин}$ . Электромагнит выключен. 20 см от магнетрона,  $r = 0$  см

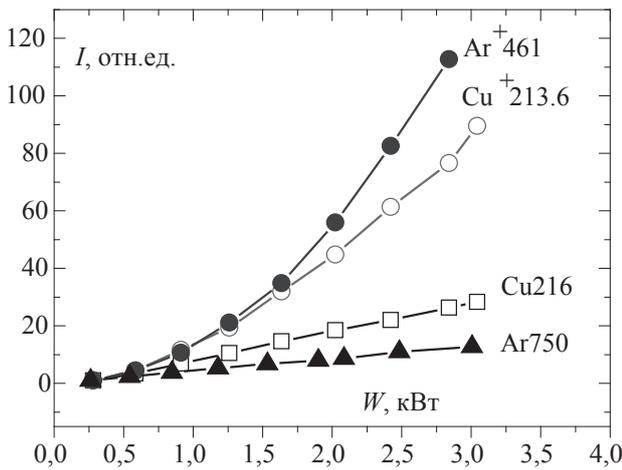


Рис. 5. Зависимость нормализованных интенсивностей спектральных линий от мощности разряда.  $p = 4$  мТор. 20 см от магнетрона

Регистрация вольт-амперных характеристик производилась при помощи модулей NI 6221 и SC 2345 фирмы National Instruments. Программа сбора данных написана на языке LabView.

ВАХ зонда, состоящая максимум из 640 пар точек напряжение–ток (каждая точка получается осреднением 10 – 30 измерений), регистрируется за время менее 3 с. Программа зондовых измерений имеет графический интерфейс, позволяет оперативно управлять процессом сбора данных, просматривать графики ВАХ.

Измерение спектров излучения плазмы производилось с помощью монохроматора с дисперсией 2,4 нм/мм. Радиальные зондовые и спектральные измерения производились на расстоянии 20 см от магнетрона.

На рис. 2 показаны вольт-амперные характеристики (ВАХ) разряда для различных давлений при магнитном поле  $B = 800$  Гс. С увеличением давления напряжение разряда уменьшается, что связано с ростом концентрации плазмы. Вероятность ионизации атомов электронами пропорциональна концентрации нейтральных частиц, а уменьшение энергии электронов в данном диапазоне давлений, приводящее к обратному эффекту, незначительно.

Влияние магнитного поля электромагнита на радиальные характеристики плазмы, измеренные на расстоянии 20 см от среза магнетрона, можно увидеть на рис. 3. Увеличение магнитного поля электромаг-

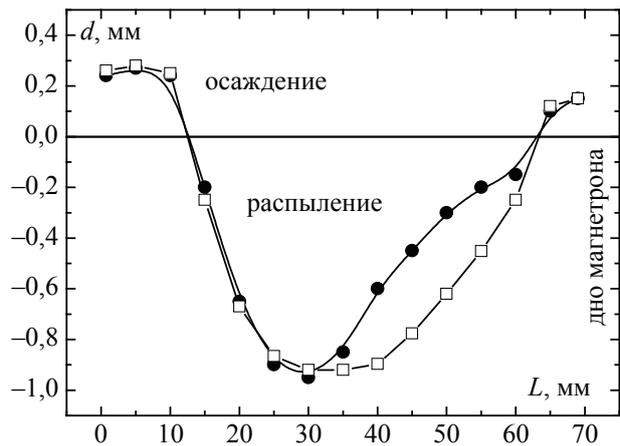


Рис. 6. Профиль эрозии мишени магнетрона по его длине

нита, направленного навстречу магнитному полю постоянных магнитов, с одной стороны, приводит к росту однородности потока, с другой – падению концентрации плазмы (рис. 3а). При мощности разряда 3 кВт и давлении 5 мТор концентрация плазмы на оси разряда уменьшается с  $7,2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$  при выключенном электромагните до  $3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$  при токе 1,25 А. Вольт-амперные характеристики разряда не зависят от тока электромагнита, т.е. внутри магнетрона концентрация плазмы не меняется. Как следует из рис. 3б, на расстоянии 20 см от магнетрона температура электронов уменьшается при включении электромагнита. Вероятно, это происходит вследствие роста потерь на возбуждение и ионизацию атомов при увеличении сечения потока. Тем не менее, большие величины концентрации и температуры электронов на таком расстоянии позволяют эффективно ионизовать распыленные атомы металла на пути их движения к подложке.

Отметим также, что энергия ионов на изолированную подложку, равная  $e(V_p - V_f)$ , не превышает 20 эВ.

Влияние мощности на параметры разряда в его центре на расстоянии 20 см от магнетрона показано на рис. 4 а, б. Плазменный и плавающий потенциалы, средняя температура электронов слабо зависят от мощности, а концентрация плазмы растет почти линейно с мощностью до уровня 1,5 кВт, затем показатель степени уменьшается до 0.6. При задан-

ной мощности концентрация плазмы увеличивается с ростом давления разряда, так как увеличивается число столкновений электронов с атомами.

Возрастание концентрации и числа высокоэнергетических электронов с увеличением мощности разряда вызывает эффективную ионизацию распыленных атомов меди. На рис. 5 показаны зависимость нормализованных интенсивностей спектральных линий атомов и ионов Ag и Cu от мощности разряда (интенсивности линий при  $W = 300$  Вт принята за 1).

С увеличением мощности в 10 раз интенсивность излучения атомов аргона возрастает в 10 раз, атомов меди в 20–25 раз, а ионов меди и аргона в 100–120 раз. Эти измерения указывают на возможность достижения больших степеней ионизации потоков распыленных атомов мишени. Из рис. 6, на котором приведен профиль эрозии (черные точки), следует, что длина зоны распыления составляет 5 см. Видно, что эрозия неравномерна по длине катода. Как известно, наибольшая величина эрозии происходит в области, где магнитные силовые линии параллельны поверхности мишени. Данный профиль эрозии был получен при длине столбиков магнитов 7,5 см. При увеличении длины магнитных столбиков до 10 см профиль стал более плоским (светлые точки).

Плазма при низких давлениях характеризуется сильной неравновесностью: температура электронов 2–10 эВ (1 эВ = 11600 К), в то время как температура атомов и ионов на два порядка меньше. Образование пленок при воздействии больших потоков ионов и атомов не может быть описано равновесной термодинамикой и, как следствие, часто наблюдается образование метастабильных фаз. Способность синтезировать материалы при существенно более низких температурах по сравнению с равновесными – важное свойство разрядов при низких давлениях в установках плотной плазмы.

При температуре подложки  $0,3T_{\text{плавл}} < T < 0,5T_{\text{плавл}}$  и значительных потоках ионов пленка имеет волокнистую структуру, в которой кристаллы растут перпендикулярно

поверхности подложки с плотной упаковкой (пустоты 5 %). Поток энергетических частиц перераспыляет атомы металла со слабой адгезией, стимулирует поверхностную миграцию атомов металла и, в конечном счете, приводит к образованию пленок с высокими физическими и электрическими параметрами. Кроме того, только под действием потока энергетических частиц можно получать пленки с различной кристаллической структурой. Эффект ионной бомбардировки зависит от плотности потока ионов  $\Gamma_i$  и их энергии  $E_i$ . Используя формулу для плотности потока ионов

$$\Gamma_i = 0,61n_i \sqrt{\frac{kT_e}{M_i}}$$

при  $T_e = 3$  эВ и концентрации ионов аргона  $n_{Ar^+} = 6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ , получаем  $\Gamma_{Ar^+} = 2,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}\text{с}$ . Для ионов меди эти величины равны  $n_{Cu^+} = 8 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ , получаем  $\Gamma_{Cu^+} = 8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}\text{с}$ . В исследуемом разряде как  $J_p$ , так и  $E_i$  могут независимо друг от друга варьироваться в широком диапазоне параметров, изменяя мощность и давление разряда, ток электромагнита и расстояние до подложки. На расстоянии 20 см от среза магнетрона поток нейтральных атомов меди  $\Gamma_{Cu} = 0,25(n_{Cu})v_{Cu} = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}\text{с}$ , т.е. степень ионизации потока металла  $\beta = \Gamma_{Cu^+}/(\Gamma_{Cu^+} + \Gamma_{Cu}) = 0,65$ . Данным потокам соответствует скорость осаждения 130 нм/мин. В разряде аргона при давлении 5 мТор и мощности магнетрона 3 кВт скорость осаждения меди на подложку, расположенную на расстоянии 20 см от мишени, составила 120 нм/мин, что хорошо согласуется с расчетным значением.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 08-08-00455.

### Библиографический список

1. Klawuhn E., D' Couto G.C., Ashtiani K.A., Rymer P., Biberger M.A., Levy K.B. Ionized physical-vapor deposition using a hollow-cathode magnetron source for advanced metallization // J.Vac.Sci.Technol. – 2000. – A18(4). – P.1546-1549.
2. Vyas V., Kushner M.J., Scaling of hollow cathode magnetrons for ionized metal physical vapor deposition // J. Vac.Sci.Technol.– 2006. – A24, P.1955-1969.
3. Anders A. Metal plasmas for the fabrication of nanostructures // J.Phys.D:Appl.Phys. – 2007. – Vol.40. – P. 2272-2284.

## СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МИКРОСПУТНИКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

С.В. ПУШКАРСКИЙ, *НИИ космических систем ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, канд. техн. наук*

*niiks@khrunichev.com*

Известно [1], что первоначальным стимулом возникновения и развития космонавтики были задачи специального и военного назначения, для решения которых создавались и запускались космические аппараты. Однако уже в первые десятилетия практической космонавтики (1960–1970 гг.) наметилась устойчивая тенденция перехода от использования одиночных космических аппаратов к созданию и эксплуатации постоянно функционирующих на орбитах космических систем. Причем этот закономерный переход произошел очень быстро и носил лавинообразный характер. Уже к середине 80-х годов XX столетия соотношение одиночных космических аппаратов и постоянно функционирующих на орбитах космических систем составляло один к десяти. Закономерность этого перехода обусловлена насущной необходимостью использования таких возможностей этих систем, как оперативное получение информации из любой точки земного шара и передача ее потребителю практически в реальном масштабе времени.

Специализированные крупномасштабные космические системы постоянно расширяли спектр решаемых задач, охватывая все большее количество отраслей экономики и научных направлений. В середине 90-х годов, реализуя экономическую целесообразность освоения космоса, наряду со специализированными системами стали создаваться многофункциональные космические системы, включающие удовлетворение потребностей гражданского общества.

Особенно ярко это проявилось в обеспечивающей в этот период наибольшие выгоды области космической деятельности – спутниковой связи.

Обострившаяся к середине 90-х годов конкуренция за сферы влияния на рынке по предоставлению услуг связи с использованием космических средств, стремление охва-

тить большее число потребителей привели к созданию космических систем, которые позволяют решать комплексные задачи, например, абоненту подвижной спутниковой связи пользоваться навигационными данными или осуществлять передачу формализованных данных, передачу данных дистанционного зондирования Земли, осуществлять связь между компьютерными сетями.

Примером системы, сочетающей функции дистанционного зондирования Земли и передачи данных является система ARGOS. Аппаратура этой системы, размещенная на метеорологических КА NOAA, принимает сигналы абонентских передатчиков и переносит обработанные данные в центр мониторинга, где производится окончательное вычисление их координат. Дополнительно к данным о позиции абонента центр мониторинга получает информацию дистанционного зондирования Земли.

С точки зрения обслуживания большого числа абонентов основным фактором, ограничивающим эффективность системы ARGOS, является ограниченное количество спутников в составе космического сегмента. В общем случае отличительной особенностью современных многофункциональных космических систем можно считать либо относительно большое (несколько десятков) количество спутников, располагаемых на низко- или средневысотных орбитах, либо одновременное использование в составе системы высокоорбитальных и низкоорбитальных космических аппаратов, то есть использование сложной орбитальной структуры космического сегмента.

Так, космический сегмент системы спутниковой связи GLOBALSTAR включает 48 ИСЗ, расположенных на восьми средневысотных круговых орбитах. Орбитальная структура предполагает глобальную зону обслуживания, ограниченную  $70^\circ$  с.ш. и  $70^\circ$

ю.ш. для большинства пользователей. Многофункциональность системы проявляется в том, что подвижные и персональные абоненты системы наряду с услугами телефонных сетей могут обеспечиваться передачей данных (включая FAX, Paging), а также данными местоположения.

Начало XXI века ознаменовалось появлением многофункциональных космических систем на основе космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Многофункциональные космические системы, как правило, являются международными. Это определяется как размерностью охватываемых территорий, так и значительной стоимостью систем.

Примерами таких многофункциональных космических систем являются:

- международная система мониторинга чрезвычайных ситуаций ДМС, создаваемая и эксплуатируемая Великобританией, Алжиром, Турцией, Китаем, Таиландом и Нигерией;

- система предупреждения о катастрофах и стихийных бедствиях «Страж Азии», создаваемая под патронажем Японии с участием 18 стран Азиатско-Тихоокеанского региона;

- многофункциональная космическая система Союзного государства (МФКС) [2].

Эта многофункциональная космическая система должна обеспечить создание технических предпосылок для решения задач формирования единого информационного пространства России и Беларуси, рационального использования природных ресурсов, развития навигации и телекоммуникаций, проведения экологического мониторинга земной поверхности, эффективного использования транспорта и повышения качества гидрометеорологических прогнозов.

По результатам выполнения научно-технических программ Союзного государства в НИИ космических систем ГКНПЦ им. М.В. Хруничева совместно с белорусской стороной разработана Концепция создания многофункциональной космической системы (МФКС) Союзного государства, которая одобрена на расширенном заседании научно-технического совета Роскосмоса с участием представителей Постоянного Комитета Союзного го-

сударства и заинтересованных организаций России и Беларуси. Концепция утверждена Руководителем Федерального космического агентства и Председателем Президиума академии наук Беларуси.

Целью создания МФКС является эффективное развитие и совместное использование космического потенциала Беларуси и России в интересах решения оборонных, социально-экономических и научных задач, стоящих перед Союзным государством, на основе создания общего научно-технического и информационного пространства в области внедрения результатов космической деятельности в повседневную жизнь и создания единой технологической базы для космической техники.

Основные области применения МФКС:

- обеспечение потребителей России и Беларуси мониторинговой информацией;

- обеспечение высокоточного определения местоположения стационарных и подвижных объектов, контроля и управления подвижными средствами на территории России и Беларуси;

- расширение возможностей получения знаний по ракетно-космическим специальностям гражданами России и Беларуси, проживающими вдали от крупных образовательных центров.

В состав многофункциональной космической системы Союзного государства войдут орбитальный и наземный сегменты.

В орбитальном сегменте многофункциональной космической системы планируется использование перспективных микроспутников ДЗЗ «Союз-Сат-О» с бортовой аппаратурой нового поколения [3]. Масса таких микроспутников находится в пределах 100–120 кг. Выбор микроспутников в качестве ключевых элементов космического сегмента МФКС связан с определяющей тенденцией развития космической техники на современном этапе, которая предполагает существенное сокращение затрат на разработку, развертывание и эксплуатацию космических систем путем микроминиатюризации, внедрения новых технологий, включая микро- и нанотехнологии, и перехода к мини- и микроспутникам и ракетам-носителям легкого класса.



Рисунок. Основные требования потребителей к многофункциональной космической системе с микроспутниками ДЗЗ «Союз-Сат-О»

Помимо микроспутников в орбитальном сегменте будут функционально использоваться существующие отечественные и зарубежные КА дистанционного зондирования Земли, навигации, связи и ретрансляции.

Полный состав орбитальной группировки МФКС планируется довести до штатного – 12 микроспутников «Союз-Сат-О».

На рисунке представлен спектр задач, решаемых многофункциональной космической системой с использованием семейства микроспутников «Союз-Сат-О».

В результате совместной эксплуатации МФКС Россия и Беларусь должны выйти на принципиально новый уровень сотрудничества в космической области.

Экономические процессы создания и использования МФКС ориентированы, прежде всего, на использование рыночных механизмов. Следовательно, разработка и использование МФКС как субъекта мирового рынка информационных услуг подразумевает получение реального экономического эффекта.

Экономический эффект от использования МФКС следует ожидать уже в процессе ее развертывания начиная с 2009 г. [4]

Оценка экономического эффекта от создания и применения МФКС проведена по отдельным направлениям с использованием метода экспертных оценок.

Экономические результаты использования МФКС в зависимости от рассматриваемого направления могут быть выражены в форме либо прямого, либо опосредованного эффекта. Получение прямого экономического эффекта планируется от следующих мероприятий:

- продажа мониторинговой информации, получаемой с использованием «Системы обеспечения потребителей мониторинговой информацией» (СОПМИ) на договорной основе;
- продажа аппаратуры мобильных комплексов обеспечения мониторинговой информацией на договорной основе;
- коммерческая продажа услуг «Интегрированной навигационно-информационной системы» (ИНИС).

Опосредованный экономический эффект создания и использования МФКС может быть оценен как:

- предотвращение ущерба за счет своевременного обеспечения государственных структур России и Беларуси максимально полной информацией о прогнозируемых и уже состоявшихся стихийных бедствиях, авариях и катастрофах (предполагается снижение себестоимости работ по предотвращению и ликвидации аварий и катастроф на 20 %);
- снижение затрат на развертывание и поддержание орбитальной группировки микроспутников МФКС Союзного государства по

отношению к альтернативным КА в составе орбитальной группировки МФКС (экономическая эффективность использования средств на поддержание орбитальной группировки микроспутников ДЗЗ составит порядка 1270–1400 млн руб. в течение 5–7 лет);

- обеспечение оптимизации грузопотока по направлению Москва–Минск–Брест за счет совместного использования СОПМИ и ИНИС (планируемый рост объемов перевозок в направлении Запад–Восток составит 15–20 %; на 30 % увеличится скорость доставки пассажиров и грузов по территории Союзного государства);

- совершенствование общеобразовательной системы Союзного государства с акцентом на кадровое обеспечение предприятий и организаций космической отрасли за счет создания системы дистанционного обучения специалистов (сокращение на 30–35 % затрат относительно традиционных форм обучения);

- создание технических предпосылок для укрепления позиций стран Союзного государства на мировом рынке космических технологий;

- создание постоянных высококвалифицированных рабочих мест на предприятиях и организациях России и Беларуси;

- создание упреждающего научно-технического задела в области космических технологий.

Многофункциональная космическая система Союзного государства сможет обеспечить решение перечисленных выше задач в пределах Республики Беларусь и большей части европейской территории России. Огромная часть Российской Федерации на территории Сибири и Дальнего Востока окажется при этом неохваченной. Следует отметить, что на указанных территориях России расположены громадные природные богатства. В экономическое развитие этих территорий будут вкладываться значительные материальные средства. Все это диктует необходимость расширения зоны действия многофункциональной космической системы на Восток.

Разработанная в рамках создания МФКС Союзного государства Концепция создания космической системы на основе мик-

роспутников нового поколения обосновывает основные принципы построения системы и ее применения и может быть использована при формировании системы взглядов на облик российской Многофункциональной космической системы в рамках перспективной 40-летней космической программы России.

Многофункциональную космическую систему России, так же как и систему Союзного государства, целесообразно создавать в составе трех составляющих систем:

- единой системы обеспечения потребителей мониторинговой информацией;

- интегрированной навигационно-информационной системы;

- системы дистанционного обучения.

Единая система обеспечения потребителей мониторинговой информацией предназначена для:

- обеспечения космической информацией федеральных и территориальных органов исполнительной власти, а также других организаций потребителей космической информации России, в том числе и на коммерческой основе;

- контроля погодообразующих и климатообразующих факторов для достоверного прогнозирования погоды и изменения климата, в том числе и в околоземном космическом пространстве;

- контроля состояния источников загрязнения атмосферы, воды и почвы с целью обеспечения природоохранных органов федерального и регионального уровней информацией для принятия управленческих решений;

- оперативного контроля чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера для эффективного планирования и своевременного проведения мероприятий по ликвидации их последствий;

- информационного обеспечения проведения земельной реформы, рационального землепользования и хозяйственной деятельности;

- контроля целевого расходования вкладываемых средств в отечественную экономику;

- создания динамической модели Земли с целью прогнозирования нарушений экологи-

ческого баланса и разработки мероприятий по сохранению среды обитания человека.

Интегрированная навигационно-информационная система предназначена для высокоточного координатно-временного обеспечения стационарных и подвижных объектов, обеспечения контроля и управления подвижными средствами с территориально распределенных диспетчерских центров и пунктов при использовании в системах слежения и диспетчерского управления транспортом.

Система дистанционного обучения предназначена для предоставления обучающимся непосредственно по месту жительства или работы возможности освоения образовательных программ с использованием космических технологий.

В наземном сегменте Многофункциональной космической системы России представляется целесообразным использовать такие научно-технические результаты, полученные в программах Союзного государства серии «Космос», как:

- элементы единой системы обеспечения космической информацией;
- элементы интегрированной навигационно-информационной системы повышенной точности;
- научно-технический задел по новым материалам и элементам и др.

В космическом сегменте Многофункциональной космической системы России целесообразно использовать научно-технический задел по ключевым элементам бортовых специальных и служебных систем микроспутника нового поколения, полученный при выполнении программ серии «Космос».

На базе данного задела могут быть в кратчайшие сроки созданы микроспутники ДЗЗ. В дальнейшей перспективе этот задел может быть использован для создания микроспутников связи и ретрансляции, а также перспективной космической навигационной системы.

Таким образом, обеспечивается возможность формирования орбитальной группировки перспективной Многофункциональной космической системы России на основе микроспутников нового поколения.

Для создания и эффективной эксплуатации необходимо новое поколение специалистов, обладающих специальными знаниями в области ракетно-космической техники. Решение этой проблемы предполагается путем создания на базе Многофункциональной космической системы России системы дистанционного обучения с использованием спутниковых каналов связи.

Научно-технический задел, созданный в рамках работ по созданию МФКС Союзного государства, может быть также использован при создании Международной многофункциональной космической системы глобального мониторинга и информационного обеспечения.

Международная многофункциональная космическая система глобального мониторинга и информационного обеспечения будет создаваться в интересах решения задач дистанционного зондирования Земли, гидрометеообеспечения, навигационного обеспечения, связи и ретрансляции данных, глобального дистанционного обучения.

Основными задачами дистанционного зондирования Земли являются:

- экологический мониторинг окружающей среды и отдельных критически важных объектов мирового сообщества в интересах предупреждения и ликвидации последствий катастроф и чрезвычайных ситуаций;
- изучение Мирового океана и контроль ледовой обстановки;
- исследование природных ресурсов Земли;
- глобальное картографирование земной поверхности.

Основными задачами гидрометеообеспечения являются:

- непрерывное наблюдение за развитием глобальных атмосферных процессов;
- контроль состояния поверхности Земли и океана и масштабов деятельности человека в интересах прогнозирования метеообстановки и предупреждения о катастрофических явлениях.

Основными задачами навигационного обеспечения являются:

- оперативный контроль местоположения подвижных объектов;

– создание зон сверхточной навигации в интересах решения задач кадастровой деятельности, контроля состояния крупногабаритных конструкций.

Основными задачами связи и ретрансляции будут являться:

- повышение пропускной способности и качества сетей магистральной, зонавой и местной связи в различных регионах Земли;
- создание международных систем персональной связи нового поколения;
- создание глобальной системы связи со всеми классами подвижных объектов;
- глобальный охват теле- и радиовещанием всей территории Земли.

Основными задачами глобального дистанционного обучения будут являться:

- расширение возможностей получения образования по политехническим специальностям гражданами всего мира, проживающими вдали от крупных образовательных центров;
- повышение квалификации работников за счет привлечения преподавателей мирового уровня из ведущих учебных заведений.

Орбитальное построение международной многофункциональной космической системы глобального мониторинга и информационного обеспечения предусматривает наличие трех ярусов:

- низкоорбитального, основу которого будут создавать КА ДЗЗ и связи;
- среднеорбитального, основу которого составляют КА навигации;
- высокоорбитального, основу которого составляют КА связи, ретрансляции и гидрометеобеспечение.

Многофункциональность предлагаемых отечественной и международной космических систем, в основе построения орбитальных группировок которых используются микроспутники нового поколения, функционирующие на разных ярусах, позволяет обеспечивать глобальный, непрерывный, комплексный контроль за объектами, процессами или явлениями, происходящими на земной и водной поверхностях, в атмосфере и в космическом пространстве. Оперативно обеспечивается координатная и временная привязка полученной информации и доставка ее потребителю.

Международная многофункциональная космическая система глобального мониторинга и информационного обеспечения может быть использована, кроме России, прежде всего в интересах нашего юго-восточного соседа Китая, переживающего бурное экономическое развитие, Индии и других стран Юго-Восточной Азии.

Следует отметить, что создание российской многофункциональной космической системы и Международной многофункциональной космической системы глобального мониторинга и информационного обеспечения потребует больших материальных затрат. Вместе с тем, учитывая бурное экономическое развитие указанных регионов, даже значительные затраты будут, безусловно, оправданы.

Дальнейшим этапом освоения космоса должна стать его индустриализация. Существенными чертами индустриализации космоса, вероятно, будет еще более тесное объединение всех космических систем в едином взаимосвязанном комплексе и переход от «производства информации» к материальному производству в космосе. Значительное место в этом процессе будут занимать многофункциональные космические системы вследствие их технологической и коммерческой привлекательности.

Космонавтика – отрасль, которая традиционно сосредотачивает все передовые достижения науки и техники, динамично превращается в одну из наиболее технологичных и рентабельных отраслей современной экономики.

#### Библиографический список

1. Киселев, А.И. Космонавтика на рубеже тысячелетий. Итоги и перспективы / А.И. Киселев, А.А. Медведев, В.А. Меньшиков. – М.: Машиностроение, 2002. – 733 с.
2. Пушкарский, С.В. Прикладное использование космической информации// История Союзного государства / С.В. Пушкарский. – М.: Российский космос. – 2004. – С. 148–155.
3. Спутниковая система для Союзного государства. – М., 2006. – Т. 16. – № 11(286).
4. Меньшиков, В.А. Многофункциональная космическая система Союзного государства / В.А. Меньшиков, М.И. Макаров, С.В. Пушкарский. – М.: НИИ КС, 2007. – 479 с.

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК РАССТОЯНИЙ

В.Д. БУРКОВ, проф. каф. проектирования и технологии пр-ва приборов МГУЛ, д-р техн. наук,  
 В.Т. ПОТАПОВ, проф. Ин-та радиотехники и электроники РАН, д-р техн. наук,  
 Т.В. ПОТАПОВ, ст. науч. сотр. Ин-та радиотехники и электроники РАН, канд. физ.-мат. наук,  
 М.Е. УДАЛОВ, доц. каф. проектирования и технологии пр-ва приборов МГУЛ, канд. техн. наук

*burkov@mgul.ac.ru*

Измерение пространственных характеристик объектов (их положения в пространстве перемещений, пространственной структуры) позволяет реализовывать целую серию оптических и в том числе волоконно-оптических датчиков (ВОД) различных физических величин, таких как температура, давление, механические напряжения, вибрации, качество поверхности и т.д.

В данной работе приводятся результаты исследований коэффициента обратного отражения от торца оптического волокна и одноволоконных датчиков расстояния и перемещений, реализуемых на основе этих исследований.

К настоящему времени разработано несколько способов измерения коэффициентов обратного отражения от торца оптического волокна и практически реализован целый ряд ВОД физических величин на их основе. Для получения необходимой точности измерений в таких ВОД применяются достаточно сложные компенсационные или интерференционные схемы [4, 5].

В данной работе описан ВОД для измерения расстояний и малых перемещений, для реализации которого использован более простой метод временного разделения информационного и измерительного каналов. Этот метод был предложен в работе [1, 2], однако до сих пор ВОД на его основе по ряду причин не были реализованы.

Схема ВОД представлена на рис. 1.

Отличительной особенностью схемы является использование одного источника излучения и фотоприемника, общих для опорного и измерительного каналов при модуляции источника заданной периодической последовательности импульсов.

Излучение источника, промодулированное по интенсивности периодической последовательностью импульсов с частотой следования  $f$ , с помощью волоконно-оптического

разветвителя делится на 2 части, которые поступают в опорный и измерительный каналы. Опорный канал представляет собой отрезок волокна небольшой длины (несколько сантиметров) с фиксированной отражающей поверхностью (например металлическое зеркало).

Длина  $l$  измерительного волоконного канала и частота  $f$  следования оптических импульсов (частота импульсной модуляции источника) выбираются из соотношения

$$f = c / 4 \cdot n \cdot l, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме,

$n$  – коэффициент преломления световедущей жилы волокна.

В этом случае на СПУ поступает 2 оптических сигнала от измерительного и опорного каналов, которые будут иметь на частоте модуляции сдвиг по фазе  $\varphi \cong \pi$ .

Суммарный сигнал на выходе ФПУ можно представить в виде ряда Фурье, тогда  $m$ -гармоника сигналов опорного  $u_0(t)$  и измерительного  $u_u(t)$  каналов будут соответственно равны

$$u_0(t) = U_{mo} \cdot K_{ab} \cdot K_{bd} \cdot R_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot m \cdot f \cdot t); \quad (2)$$

$u_u(t) = U_{mu} \cdot K_{ac} \cdot K_{cd} \cdot e^{2al} \cdot R \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot m \cdot f \cdot t + \varphi), \quad (3)$   
 где  $K_{ab}$ ,  $K_{bd}$ ,  $K_{ac}$ ,  $K_{cd}$  – коэффициенты деления разветвителя;

$U_m$  – амплитуда  $m$ -ой гармоники модулирующего сигнала;

$l$  – длина волокна измерительного канала;

$R_0$  и  $R$  – коэффициенты отражения от зеркала в опорном канале и коэффициент обратного отражения от торца волокна измерительного канала соответственно;

$\varphi = 4 \cdot \pi \cdot m \cdot f \cdot t / c$  – фазовый сдвиг между  $u_0(t)$  и  $u_u(t)$ .

Выражение для результирующего сигнала  $u(t)$  на выходе фотоприемника, полученное с помощью преобразований Гильберта [3], имеет вид

$$u(t) = \sqrt{U_{mo}^2 + U_{mu}^2 + 2U_{mo}U_{mu} \cdot \cos \varphi} \times \sin(2 \cdot \pi \cdot m \cdot f \cdot t + \arctg(U_{mo} / U_{mu})). \quad (4)$$

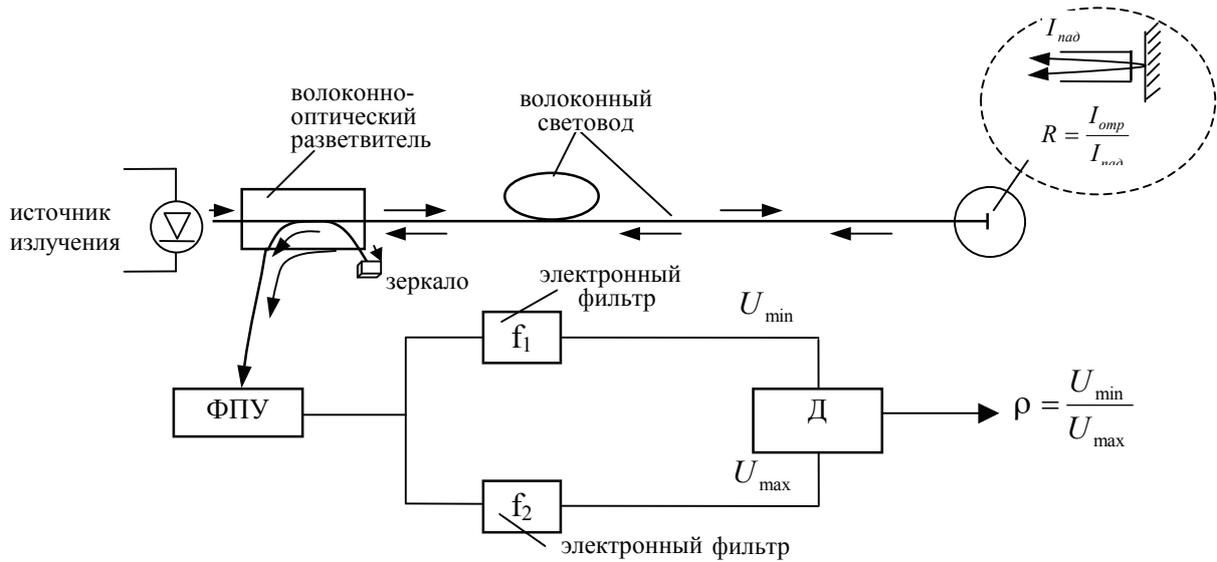


Рис. 1. Схема устройства для измерения обратного отражения от торца волокна

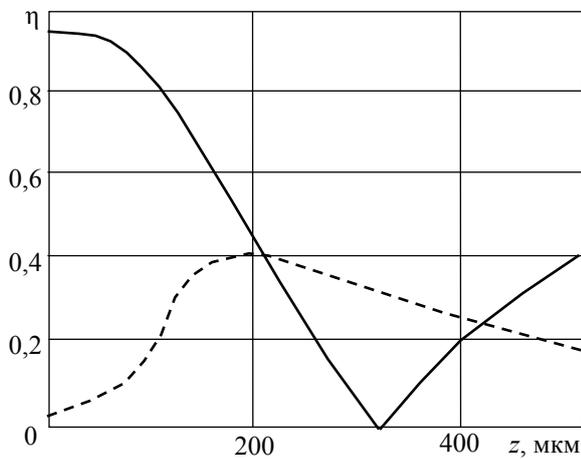


Рис.2. Зависимость  $\rho(z)$  и  $d\rho / dz$  от расстояния между торцом оптического волокна и отражательной поверхностью.

Анализ выражения (4) показывает, что амплитуда сигнала  $u(t)$  зависит от величины фазовой задержки  $\varphi$ . Если частота модуляции  $f = c / 4 \cdot n \cdot l$ , то имеем  $\varphi = m \cdot \pi$ . В этом случае четные гармоники отраженных сигналов  $u_0(t)$  и  $u_1(t)$  будут складываться на фотоприемнике синхронно, а нечетные – противофазно.

Амплитуды двух соседних гармоник, например первой и второй, будут равны

$$U_{\min} = |U_{m10} - U_{m11}| = U_{m1} \cdot |K_{ab} \cdot K_{bd} \cdot R_0 - K_{ac} \cdot K_{cd} \cdot e^{-2\alpha l} \cdot R|. \quad (5)$$

$$U_{\max} = U_{m20} + U_{m21} = K_{ab} \cdot K_{bd} \cdot R_0 + K_{ac} \cdot K_{cd} \cdot e^{-2\alpha l} \cdot R. \quad (6)$$

Отношение этих амплитуд

$$\rho = U_{\min} / U_{\max} = \rho_0 \cdot [|\omega - R| / \omega + R],$$

где  $\omega = (K_{ab} \cdot K_{bd} \cdot R_0) / (K_{ac} \cdot K_{cd} \cdot e^{-2\alpha l})$

$$\rho_0 := U_{m1} / U_{m2}$$

$\omega$  – масштабный множитель;

$\alpha$  – коэффициент затухания.

Таким образом,  $\rho$  не зависит от мощности источника излучения и чувствительности ФПУ.

Из приведенных выше соотношений значение коэффициента отражения  $R$  рассчитывается по формуле

$$R = \begin{cases} \omega \cdot \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0 + \rho}, & R < \omega \\ \omega \cdot \frac{\rho_0 + \rho}{\rho_0 - \rho}, & R > \omega \end{cases}. \quad (7)$$

Таким образом, описанный выше способ позволяет с достаточно высокой степенью точности измерять величину коэффициента обратного отражения от торца световода.

Для измерения расстояний и перемещений отражающей поверхности необходимо рассмотреть конкретный тип волоконного световода и знать значение  $R_0$  и коэффициент отражающей поверхности  $R_n$ .

Рассмотрим случай применения многомодового оптического волокна радиусом световедущей жилы  $r = 50$  мкм и положим  $R_0 = R \ll 1$ , что, как правило, реализуется на практике. В этом случае имеем

$$\rho = \rho_0 \cdot [|\omega - R_n \cdot \eta| / \omega + R_n \cdot \eta], \quad (8)$$

где  $\eta$  – эффективность ввода отраженного от поверхности излучения в волокно.

При равномерном возбуждении всех мод оптического волокна зависимость  $\eta$  от

расстояния  $z$  между торцом волокна и отражающей поверхности дается выражением

$$\eta = 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left( \frac{4 \cdot z^2 \cdot \theta^2 - r^2}{4 \cdot z^2 \cdot \theta^2} \arcsin\left(\frac{z \cdot \theta}{r}\right) + \frac{2 \cdot z^2 \cdot \theta^2}{4 \cdot z \cdot \theta \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{r^2 - z^2 \cdot \theta^2}{r^2}} \right), \quad (9)$$

где  $r$  и  $\theta$  – соответственно радиус световедущей жилы и числовая апертура волокна.

На рис.2 приведены рассчитанные из соотношений (8, 9) зависимости  $\rho(z)$  и  $d\rho/dz$  от расстояния между торцом оптического волокна и отражающей поверхностью (кривые 2 сплошная и пунктирная соответственно). В расчетах предполагалось  $K_{ab} = K_{bd} = K_{ac} = K_{cd} = 0,5$  и  $e^{-2\alpha l} \cong 0,95$   $\alpha \cong 5$  дБ/км. Из этих кривых видно, что для данного типа волокна максимальная чувстви-

тельность измерения расстояния достигается в диапазоне от 100 мкм до 200 мкм.

### Библиографический список

1. Моисеев, В.В. Измерение коэффициента отражения от выходного торца световода / В.В. Моисеев, В.Т. Потапов // Радиотехника. – 1988. – № 9. – С. 74–77.
2. Моисеев, В.В. Авторское свидетельство СССР №1368732 / В.В. Моисеев, В.Т. Потапов // Бюллетень изобретений. – 1988. – № 3. – С. 61.
3. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский. – М.: Сов. Радио, 1977.
4. Y. Rao, D.A. Jackson “Recent progress in fiber optic low-coherence interferometry” Meas. Sci Technol., v.7, p.981-999, 1996.
5. B. Yu, D.W. Kim, J. Deng, H. Xiao, A. Wang «Fiber Fabry-Perot sensors for detection of partial discharges in power transformers» Appl. Optic, v.92, №16, p. 3241–3249, 2003.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАПИЛЛЯРНЫХ СБОРОК ДЛЯ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

В.Д. БУРКОВ, *проф. каф. проектирования и технологии пр-ва приборов МГУЛ, д-р техн. наук,*  
 В.А. АКСЕНОВ, *вед. инженер МГУЛ,*  
 А.А. ЗАМЯТИН, *ст. науч. сотр. каф. проектирования и технологии пр-ва приборов МГУЛ*  
 Г.А. ИВАНОВ, *проф. каф. проектирования и технологии пр-ва приборов МГУЛ, д-р хим. наук,*  
 А.А. МАКОВЕЦКИЙ, *ст. науч. сотр. МГУЛ, канд. физ.-мат. наук*

*gai226@ire216.msk.su*

Новым классом оптических волокон, созданным за последние годы, являются так называемые микроструктурированные оптические волокна [1, 2]. Рассматривают два типа таких волокон – дырчатые (*holey fibers*) и фотонно-кристаллические (*photonic band gap fibers*). В дырчатых волокнах вокруг сплошной кварцевой световедущей жилы сформирована воздушно-кварцевая отражающая оболочка, состоящая из одного или нескольких слоев тонкостенных капилляров. В фотонно-кристаллических оптических волокнах воздушные отверстия – микрокапилляры – выстроены в многослойную периодическую матрицу. В центре матрицы устроен «дефект» – отверстие (большого размера, чем размер отверстий микрокапилляров в матрице), или отверстие, заплавленное кварцевым (легированным кварцевым) стеклом. Вслед-

ствие пространственной модуляции показателя преломления микроструктурированные волокна могут обладать свойствами, недоступными для обычных волокон. Например, они могут быть одномодовыми во всем диапазоне прозрачности кварцевого стекла. При других соотношениях исходных параметров они, напротив, могут иметь в этой полосе запрещенные фотонные щели (*photonic band gap*), в пределах которых свет по оптическому волокну не распространяется. Наконец, длина волны нулевой дисперсии в этих волокнах может быть сдвинута в сторону более коротких длин волн по сравнению с соответствующим параметром в обычных волокнах.

Одним из методов получения заготовок для микроструктурированных оптических волокон является метод капиллярной сборки. Сборка представляет собой плотно

упакованные в опорную кварцевую трубку центральный стержень и расположенные вокруг него запаянные капилляры. Спекание сборки в единое целое осуществляется путем раздутия запаянных капилляров в высокотемпературной печи вытяжной установки. Из «спеченной» сборки затем вытягивают микроструктурированные волокна.

Целью данной работы являются анализ кинетики раздутия запаянных капилляров при их локальном нагревании; отработка режимов спекания образцов капиллярных сборок для микроструктурированных оптических волокон; вытяжка из спеченных капиллярных сборок образцов таких волокон и измерение их оптических параметров.

Рассмотрим запаянный с двух концов капилляр, помещенный в высокотемпературную печь (рис. 1а). После прогрева части трубки, находящейся внутри нагревательного элемента печи, в капилляре возникает избыточное давление, под действием которого разогретый и расплавленный участок капилляра начинает раздуваться. По мере раздутия капилляра избыточное давление внутри него уменьшается. Процесс раздутия завершается, когда давление внутри капилляра сравняется с внешним давлением.

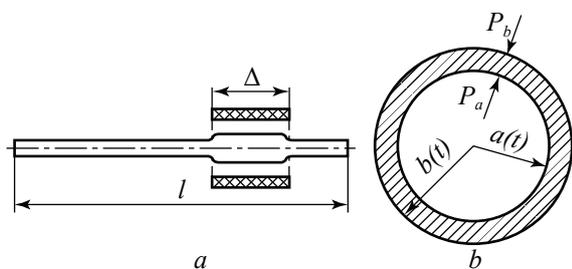


Рис. 1. Схема раздутия запаянного кварцевого капилляра (а) и схема поперечного сечения его раздуваемого участка (б)

Примем течение нагреваемого участка капилляра радиальным и осесимметричным. Для анализа этого течения выберем уравнения Стокса – уравнения квазистационарного медленного течения несжимаемой ньютоновской жидкости. Введем обозначения:  $a_0$  и  $b_0$  – соответственно начальные внутренний и внешний радиусы капилляра;  $a(t)$  и  $b(t)$  – текущие значения внутреннего и внешнего радиусов капилляра, причем  $b^2(t) = a^2(t) + b_0^2$

–  $a_0^2$ ;  $l$  – длина капилляра;  $\Delta$  – длина раздуваемого участка капилляра;  $P_b$  и  $P_a$  – внешнее и внутреннее давления капилляра;  $\sigma$  – поверхностное натяжение расплава;  $\mu$  – вязкость расплава;  $T$  и  $T_0$  – температуры расплава и окружающей среды в градусах Кельвина;  $t$  – текущее время.

Уравнение, описывающее кинетику раздутия запаянного капилляра [3, 4]

$$\frac{\varepsilon \mu}{p_0} \frac{\chi'}{\chi(\chi + \varepsilon)} = - \frac{[(\Delta/l)\chi^2 - (T/T_0 - 2 + \Delta/l)\chi - (1 - \Delta/l)]\Delta/l}{(\Delta/l)^2 \chi^2 + 2(\Delta/l)(1 - \Delta/l)\chi + (1 - \Delta/l)^2} - \frac{\sigma}{a_0 p_0} \left( \frac{1}{\sqrt{\chi}} + \frac{1}{\sqrt{\chi + \varepsilon}} \right) \chi(0) = 1. \quad (1)$$

где через  $\chi = a^2/a_0^2$  обозначен нормированный квадрат внутреннего радиуса капилляра, а через  $\varepsilon = (b_0^2/a_0^2 - 1)$  – параметр, характеризующий начальную толщину капилляра.

Уравнение (1) является исходным для последующего анализа кинетики раздутия запаянного капилляра. Проведем его качественный анализ. Первый член в правой части (1) характеризует скорость раздутия капилляра за счет избыточного внутреннего давления, второй – скорость сжатия капилляра за счет поверхностного натяжения. В зависимости от соотношения этих слагаемых в начальный момент времени возможны три варианта кинетики процесса. Подставив  $t = 0$  в уравнение (1), получим

$$\frac{\varepsilon \mu}{p_0} \frac{\chi'(0)}{1 + \varepsilon} = (T/T_0 - 1) \frac{\Delta}{l} - \frac{\sigma}{a_0 p_0} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon}} \right). \quad (2)$$

Обозначим через  $\gamma$  отношение слагаемых правой части (2)

$$\gamma = \left( (T/T_0 - 1) \frac{\Delta}{l} \right) / \left( \frac{\sigma}{a_0 p_0} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon}} \right) \right). \quad (3)$$

Если  $\gamma > 1$ , т.е. силы избыточного давления преобладают над силами поверхностного натяжения, имеет место раздутие капилляра. При  $\gamma = 1$  силы давления и поверхностного натяжения компенсируют друг друга, размеры капилляра остаются неизменными. Если  $\gamma < 1$ , то преобладают силы поверхностного натяжения, имеет место схлопывание капилляра.

В экспериментах мы будем иметь дело с кварцевыми капиллярами. Проверим, выполняется ли для них условие  $\gamma \gg 1$ , когда усло-

вием поверхностного натяжения на кинетику раздутия можно пренебречь. Для кварцевого стекла  $\sigma \approx 0,4 \text{ Н/м}$  [9],  $P_0 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ ; размеры исследованных капилляров  $a_0 = 200 \div 400 \text{ мкм}$ ,  $\varepsilon = 0,4 \div 0,6$ ; относительная длина нагреваемого участка  $\Delta/l = 0,1 \div 0,15$ ; относительная температура капилляров  $T/T_0 = 5 \div 7$ . Подставив исходные параметры в (3), получим  $\gamma = 10 \div 30 \gg 1$ , т.е. условие выполняется.

При анализе кинетики раздутия капилляров важны два параметра – максимально достижимый диаметр раздуваемого капилляра и время, за которое происходит это раздутие.

Уравнение для нахождения максимального диаметра раздуваемого капилляра  $\chi_m$  получается из уравнения (2) при  $t \rightarrow \infty$ .

При  $\sigma = 0$ , т.е. без учета поверхностного натяжения, оно представляет собой квадратное уравнение относительно нормированной величины  $\chi_m = (a_m/a_0)^2$ :  
 $(\Delta/l) \chi_m^2 - [(T/T_0) - 2 + 2\Delta/l] \chi_m - (1 - \Delta/l) = 0. \quad (4)$

Физически обоснованным решением уравнения (4) является

$$\chi_m = 1 + \frac{(T/T_0) - 2 + \sqrt{(T/T_0 - 2)^2 + 4(T/T_0 - 1)\Delta/l}}{2\Delta/l}. \quad (5)$$

Заметим, что величина  $\chi_m$  не зависит от относительной толщины капилляра  $\varepsilon$  и от вязкости расплавленного стекла  $\mu$ .

Для целиком раздуваемой трубки ( $\Delta/l = 1$ ) формула (5) упрощается и принимает вид

$$\chi_m = T/T_0, \quad (6)$$

т.е. относительное увеличение объема раздутого капилляра равно относительному увеличению температуры внутри капилляра. При относительно малой длине раздуваемого участка капилляра ( $\Delta/l \ll 1$ ) выражение для  $\chi_m$  принимает вид

$$\chi_m = \frac{(T/T_0 - 2)/(\Delta/l) + (T/T_0 - 1)}{(T/T_0 - 2) + 1 + o(1)}. \quad (7)$$

На рис. 2 приведены рассчитанные в соответствии с формулой (7) зависимости максимального нормированного диаметра раздутия  $a_m/a_0 \equiv \sqrt{\chi_m}$  от относительной длины нагреваемого участка капилляра  $\Delta/l$  для нескольких типичных значений относительной температуры. Из приведенных кривых видно, что при относительной длине  $\Delta/l = 0,1$  мак-

симальный нормированный диаметр  $a_m/a_0$  в  $2,54 \div 2,73$  раз больше, чем у целиком раздуваемого капилляра ( $\Delta/l = 1$ ).

Без учета поверхностного натяжения ( $\sigma = 0$ ) решение уравнения (1), описывающего кинетику раздутия капилляра, можно представить в виде неявной функции времени:

$$\alpha_1 \ln \chi + \alpha_2 \ln \left( \frac{\chi + \varepsilon}{1 + \varepsilon} \right) + \alpha_3 \ln \left( \frac{\chi_m - \chi}{\chi_m - 1} \right) + \alpha_4 \ln \left[ \frac{\chi + \chi_m - 2 - (T/T_0 - 2)(\Delta/l)^{-1}}{1 + \chi_m - 2 - (T/T_0 - 2)(\Delta/l)^{-1}} \right] = - \frac{(\Delta/l)^2 p_0}{\varepsilon \mu} t, \quad (8)$$

где через  $\alpha_i \div \alpha_4$  обозначены выражения

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= - [(\chi_1 + 1)\Delta/l - 1]^2 / (\chi_1 - \chi_2)(\chi_1 - \chi_3)(\chi_1 - \chi_4) \\ \alpha_2 &= - [(\chi_2 + 1)\Delta/l - 1]^2 / (\chi_2 - \chi_1)(\chi_2 - \chi_3)(\chi_2 - \chi_4) \\ \alpha_3 &= - [(\chi_3 + 1)\Delta/l - 1]^2 / (\chi_3 - \chi_1)(\chi_3 - \chi_2)(\chi_3 - \chi_4) \\ \alpha_4 &= - [(\chi_4 + 1)\Delta/l - 1]^2 / (\chi_4 - \chi_1)(\chi_4 - \chi_2)(\chi_4 - \chi_3) \end{aligned}$$

Величины  $\chi_i$  и  $\chi_4$  имеют значения  $\chi_1 = 0$ ,  $\chi_2 = \varepsilon$ ,  $\chi_3 = -\chi_m$ ,  $\chi_4 = -(T/T_0 - 2 + 2\Delta/l)/(\Delta/l)$ , а величина  $\chi_m$  задана формулой (5).

За время раздутия капилляра примем промежуток времени  $t_\xi$ , в течение которого он раздуется до величины  $\chi(t_\xi) = (1 - \xi) \chi_m + \xi$ , где  $\xi \ll 1$

$$t_\xi = - \frac{\varepsilon}{(\Delta/l)^2} \frac{\mu}{p_0} \times \left\{ \begin{aligned} &\alpha_1 \ln [(1 - \xi) \chi_m + \xi] + \\ &\alpha_2 \ln \left[ \frac{(1 - \xi) \chi_m + \varepsilon + \xi}{1 + \varepsilon} \right] + \alpha_3 \ln \xi + \\ &\alpha_4 \ln \left[ \frac{(2 - \xi) \chi_m + \xi - 2 - (T/T_0 - 2)(\Delta/l)^{-1}}{\chi_m - 1 - (T/T_0 - 2)(\Delta/l)^{-1}} \right] \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

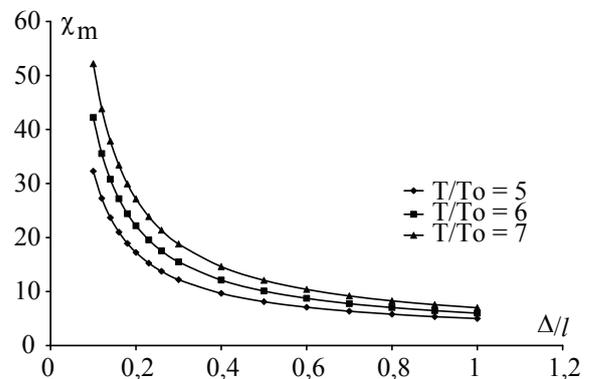


Рис. 2. Рассчитанные зависимости нормированного квадрата максимального диаметра раздутия  $\chi_m = a_m^2/a_0^2$  от относительной длины нагреваемого участка  $\Delta/l$ : 1 – для относительной температуры  $T/T_0 = 5$ ; 2 – для  $T/T_0 = 6$ ; 3 – для  $T/T_0 = 7$ .

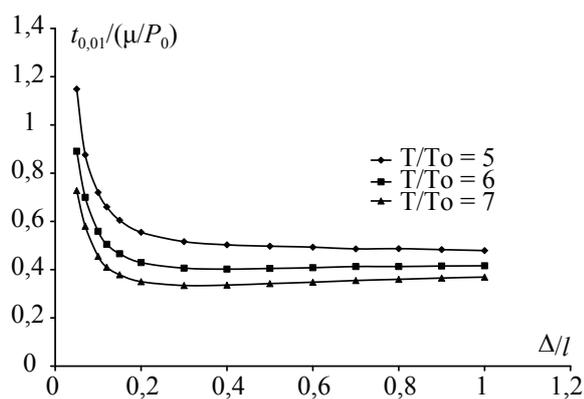


Рис. 3. Рассчитанные зависимости нормированного времени раздутия капилляра  $t_{0,01}/(\mu/P_0)$  от относительной длины нагреваемого участка  $\Delta/l$ : (1) – для относительной температуры  $T/T_0 = 5$ , (2) – для  $T/T_0 = 6$ , (3) – для  $T/T_0 = 7$ ; для всех капилляров  $\varepsilon = 0.44$

Заметим, что отношение вязкости к давлению  $\mu/P_0$  имеет размерность времени, оно является временным масштабом в кинетике раздутия капилляра.

Для целиком раздуваемого капилляра ( $\Delta/l = 1$ ) формула (9) упрощается и приобретает более прозрачный физический смысл

$$t_{\xi} = \frac{\varepsilon}{T/T_0 + \varepsilon} \ln \left\{ \frac{[(T/T_0)(1-\xi) + \varepsilon + \xi]}{(1+\varepsilon)\xi} \right\} \frac{\mu}{P_0}. \quad (10)$$

Как следует из формулы (10), время раздутия целиком раздуваемого капилляра прямо пропорционально вязкости расплава  $\mu$ , обратно пропорционально начальному давлению  $P_0$ , растет с увеличением относительной толщины капилляра  $\varepsilon$  и уменьшается при увеличении относительной температуры нагрева  $T/T_0$ .

Зависимости времени раздутия капилляра от относительной длины нагреваемого участка, рассчитанные по формуле (9), приведены на рис. 3. По вертикали на рис. 3 отложена величина  $t_{0,01}/(\mu/P_0)$ . Графики построены для трех значений относительной температуры  $T/T_0$ . Как и максимальный диаметр раздутия  $\chi_m$ , время раздутия  $t_{\xi}$  увеличивается при уменьшении относительной длины нагреваемого участка. Из сравнения кривых, приведенных на рис. 2 и 3, следует основное качественное отличие локального раздутия от целикомого. А именно, локальное раздутие приводит к увеличению максимального диаметра раздутия по сравнению с целикомим

раздутием. При этом, однако, возрастает и время раздутия. Это проявляется тем сильнее, чем меньше относительная длина нагреваемого участка капилляра и чем больше температура нагрева.

Для качественной проверки полученных теоретических соотношений были проведены эксперименты по раздутию запаянных капилляров в высокотемпературной печи вытяжной установки. С этой целью были вытянуты кварцевые капилляры с внутренним диаметром 300–800 мкм. Из них были приготовлены образцы длиной от 25 до 40 см, у которых затем были запаяны торцы. Исследуемый образец закреплялся в механизме подачи вытяжной установки и опускался в зону нагрева высокотемпературной печи. Температура в зоне нагрева печи варьировалась от 1200 °С до 1800 °С. Были опробованы два режима раздутия – при неподвижном положении капилляра в зоне нагрева и при его подаче в эту зону с постоянной скоростью.

При неподвижном положении образца в зоне нагрева происходило локальное его раздутие. При этом длина раздуваемого участка капилляра составляла  $\Delta \approx 2,6$  см, что соответствовало длине нагревательного элемента. Эффективность раздутия зависела от времени нахождения капилляра в зоне нагрева. На рис. 4 приведены измеренные осевые профили капилляров  $D_0/d_0 = 790/685$  мкм/мкм длиной  $l = 25$  см, раздутых при температуре  $T \approx 1430$  °С при разных временах выдержки капилляра в зоне нагрева. Видно, что раздутые осевые профили имеют колоколообразную форму, что связано с неравномерным прогревом капилляра в зоне раздутия. Например, при начальном внутреннем диаметре  $d_0 = 685$  мкм капилляр в течение 5 мин 15 с раздулся до внутреннего диаметра  $d_k \approx 3100$  мкм. Отметим, что при дальнейшем увеличении времени выдержки данные капилляры можно раздуть еще больше. Однако в этом случае толщина стенок раздутого участка капилляра уменьшалась настолько, что стенки капилляра лопались.

Для увеличения длины раздуваемого участка капилляра и более равномерного раздутия была использована подача капилляра в зону нагрева с постоянной скоростью.

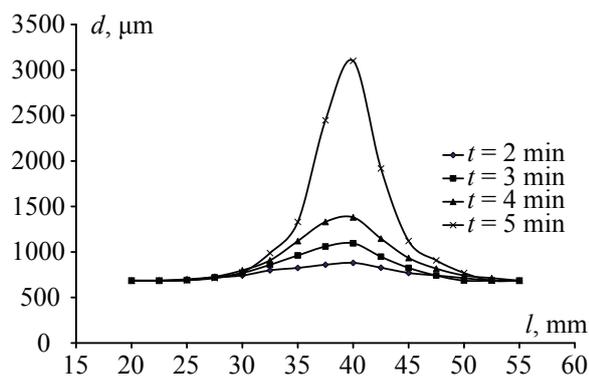


Рис. 4. Измеренные внутренние осевые профили капилляров с  $D_0/d_0 = 790/685$  мкм/мкм ( $l = 25$  см,  $\Delta = 2,6$  см), раздутых неподвижно при температуре  $T \approx 1430$  °С при различных временах выдержки  $t$ : (1) – 2 мин, (2) – 3 мин, (3) – 4 мин и (4) – 5 мин 15 с

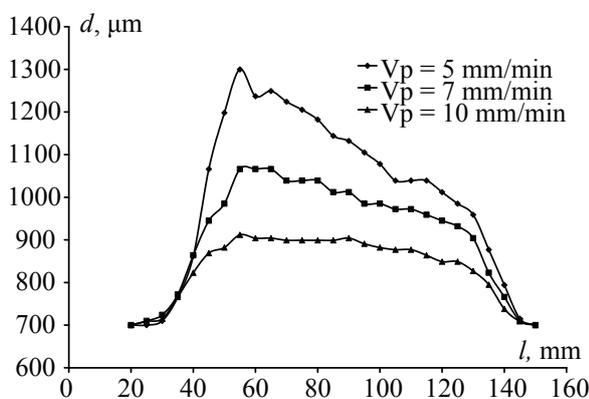
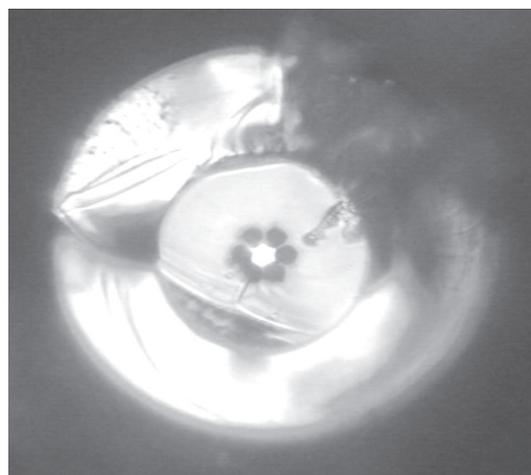


Рис. 5. Измеренные внутренние осевые профили капилляров с  $D_0/d_0 = 810/700$  мкм/мкм ( $l = 25$  см,  $\Delta = 2,6$  см), раздутых при температуре  $T \approx 1430$  °С при различных скоростях подачи капилляра  $V_3$  в зону нагрева: (1) – 5 мм/мин, (2) – 7 мм/мин, (3) – 10 мм/мин

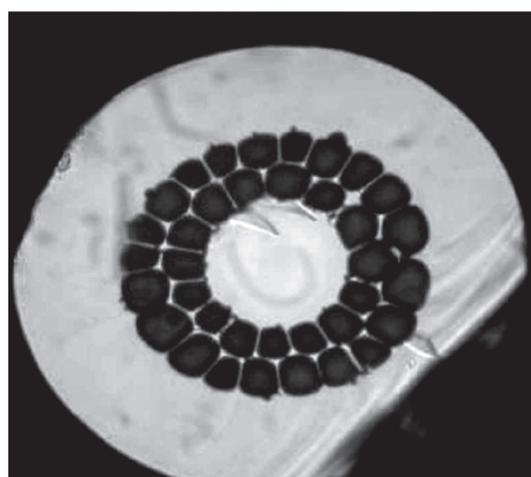
На рис. 5 приведены измеренные осевые профили капилляров  $D_0/d_0 = 810/700$  мкм/мкм длиной по 25 см, раздутых при температуре  $T \approx 1430$  °С при различных скоростях подачи. Ход подачи составлял  $\sim 100$  мм, подача капилляра осуществлялась сверху вниз. В начальном положении нижний торец капилляра выступал из нагревательного элемента на  $15 \div 20$  мм. Левые и правые фронты осевых раздутых профилей соответствуют начальному и конечному положениям капилляров. По достижению некоторого наибольшего значения внутренний диаметр монотонно уменьшался, стремясь к исходному значению для нераздутого капилляра. Заметим, чем больше была скорость подачи капилляра, тем меньше

раздувался капилляр. При этом осевой профиль раздутого капилляра получался более равномерным.

На основе экспериментов по раздутию одиночных капилляров были опробованы режимы спекания некоторых капиллярных сборок. Сборки состояли из опорной кварцевой трубки, одного или нескольких слоев тонкостенных капилляров и центрального стержня. Задача состояла в том, чтобы за счет раздутия запаянных капилляров устранить воздушные промежутки, имеющиеся в исходной сборке между центральным стержнем, капиллярами и внутренней поверхностью опорной трубки. Из спеченныхборок затем были вытянуты образцы микроструктурированных оптических волокон с защитным покрытием из олигоуретанакрилата.



а



б

Рис. 6. Фотография поперечного сечения: а) волокна с одним гексагональным слоем воздушных отверстий; б) микроструктурированного оптического волокна с двумя слоями воздушных отверстий

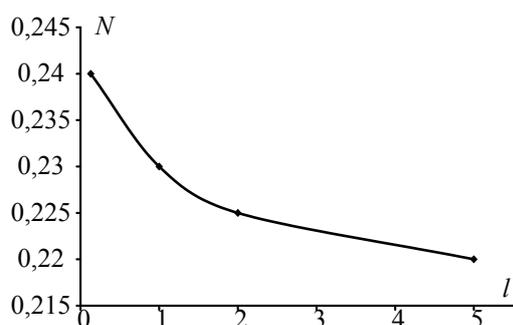


Рис. 7. Зависимость числовой апертуры микроструктурированного оптического волокна с двумя слоями воздушных отверстий; внешний диаметр волокна – 125 мкм, длина волны излучения  $\lambda = 0,63$  мкм, входная апертура луча – 0,4

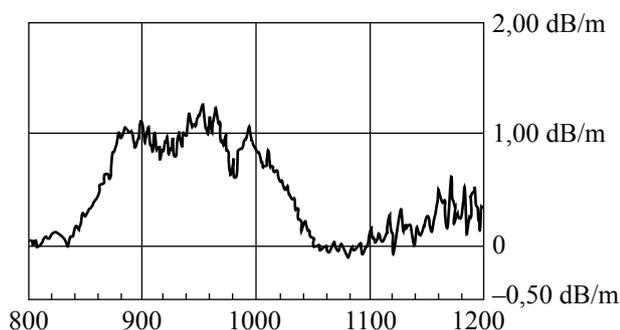


Рис. 8. Спектр оптических потерь в микроструктурированном оптическом волокне с двумя слоями воздушных отверстий; внешний диаметр волокна – 125 мкм

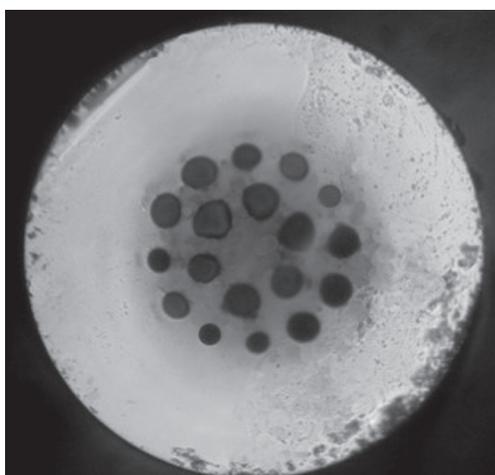


Рис. 9. Фотография поперечного сечения «предволокна» с двумя слоями гексагональных воздушных отверстий

На рис. 6а приведено поперечное сечение простейшего дырчатого волокна с одним гексагональным слоем воздушных отверстий. Это волокно вытянуто из спеченной капиллярной сборки на основе опорной трубки сечением 4,0/1,0 мм/мм, шести капилляров

диаметром 300/225 мкм/мкм и центрального волокна диаметром 300 мкм. При внешнем диаметре волокна 125 мкм диаметр центральной сердцевины составлял  $\sim 10$  мкм.

На рис. 6б приведена фотография поперечного сечения многомодового микроструктурированного волокна с двумя слоями воздушных микрокапилляров. Исходная капиллярная сборка состояла из опорной кварцевой трубки с размерами поперечного сечения 6,0/3,5 мм/мм, двух слоев капилляров 420/300 мкм/мкм и центрального кварцевого стержня диаметром 1,7 мм. После перетяжки этой сборки в волокно диаметром 125 мкм диаметр центральной сердцевины составил 35÷40 мкм, толщина воздушно-кварцевой оболочки  $\sim 17$  мкм. За счет раздутия и спекания капилляров появилась характерная кварцевая «паутина» с толщиной перемычек  $\sim 1,5$  мкм.

В волокне с двумя слоями тонкостенных микрокапилляров были измерены числовая апертура и оптические потери. В работе [5] показано, что для достижения максимальной числовой апертуры  $\sim 0,8$  необходимо, чтобы отношение толщины кварцевых перемычек к длине волны излучения было  $h/\lambda \approx 0,2$ ; при отношении  $h/\lambda = 1,5$  значение величины  $NA \approx 0/2$ . В нашем случае ( $h = 1/5$  мкм,  $\lambda = 0,63$  мкм) эти условия не выполнялись, поэтому величина  $NA$  была меньшей (рис. 7). Спектр оптических потерь в этом волокне представлен на рис. 9.

Если в двухслойной сборке заменить кварцевый стержень на стержень, полученный перетяжкой преформы активированного оптического волокна, то получим активированную капиллярную сборку. Для этой цели мы использовали преформу одномодового оптического волокна, сердцевина которой была легирована ионами иттербия  $Yb$  с концентрацией  $\sim 1,0$  % массы, при этом разность показателей преломления сердцевины и оболочки составляла  $\Delta n = 0,01$ . После вытяжки из нее активированного волокна диаметром 125 мкм диаметр активной жилы составил 3ч5 мкм, диаметр центрального стержня 35÷40 мкм, толщина воздушно-кварцевой оболочки  $\sim 17$  мкм. Данное волокно использовалось для возбуждения в нем генерации на длине волны излучения  $\lambda = 1,1$  мкм. Накачка осуществлялась от лазерного диода с  $\lambda = 0,98$  мкм в центральный стержень со сто-

роны торца волокна. В такой схеме воздушно-кварцевая оболочка служит отражающей оболочкой для излучения накачки.

На рис. 9 приведена фотография поперечного сечения «предволокна» с двумя слоями гексагональных воздушных отверстий. «Предволокно» было вытянуто из капиллярной сборки на основе опорной трубки сечением 3,0/1,5 мм/мм, восемнадцати капилляров с поперечным сечением 280/50 мкм/мкм и центрального волокна диаметром 300 мкм. Внешний диаметр «предволокна» составлял ~ 600 мкм. Отношение диаметров воздушных отверстий к периоду структуры  $d/\Lambda$  составляло ~ 0,4. Используя аналогичное «предволокно» диаметром ~ 950 мкм и опорную трубку поперечным сечением 4,0/1,0 мм/мм, методом «штабик–трубка» было вытянуто дырчатое волокно с внешним диаметром 125 мкм, демонстрировавшее одномодовый режим распространения излучения во всем спектральном диапазоне прозрачности кварцевого стекла.

Таким образом показано, что анализ кинетики раздутия запаянных капилляров может служить основанием для отработки технологии получения спеченных капиллярных сборок и вытяжки из них микроструктурированных оптических волокон различного типа.

#### Библиографический список

1. Желтиков, А.М. Дырчатые световоды / А.М. Желтиков. // Успехи физических наук. – 2000. – С. 1204–1215.
2. Дукельский, К.В. Реализация фотонно-кристаллического волоконного световода и генерация в нем широкополосного лазерного излучения / К.В. Дукельский, А.М. Желтиков, Ю.Н. Кондратьев и др. // Оптический журнал. – 2003. – № 8. – С. 101–103.
3. Замятин, А.А. Спекание капиллярныхборок для микроструктурированных оптических волокон / А.А. Замятин, А.А. Маковецкий. // Оптический журнал. – 2006. – № 1. – С. 66–72.
4. J.A. Lewis. The collapse of viscous tube. // J. Fluid Mech., 1977, 81, pp. 129 – 135.
5. N.A. Issa. High numerical aperture in multimode microstructured optical fibers. // Appl. Opt., 2004, 43, pp. 6191 – 6197.

## МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА КОНЕЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ОСНОВАННАЯ НА ПРИМЕНЕНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО И АВТОМАТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Л.В. НАЙХАНОВА, доц. каф. систем информатики Восточно-Сибирского ГТУ, канд. техн. наук

*nlv@esstu.ru*

Генетическое программирование используется для создания программ с заданными свойствами с помощью генетического алгоритма. Генетический алгоритм – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем последовательного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе.

Технологией генетического программирования для генерации автоматов управления системами со сложным поведением зани-

маются многие ученые различных научных школ в мире [5–8]. В России наиболее известной школой, занимающейся такими исследованиями, является Санкт-Петербургская школа по автоматному программированию под руководством профессора А.А. Шалыто. В зарубежных университетах – Массачусетском технологическом институте, Университете Южной Калифорнии и других научных центрах – исследования выполняются в следующих прикладных областях: теория игр, робототехника, оптимизация, распознавание, классификация, поиск в заданном пространстве состояний, построение интеллектуальных искусственных систем, построение автоматических преобразователей, проектирование логических схем для автоматов Мили, эволюционное построение клеточных автоматов и т.д. Следует отметить, что в них строятся

более простые автоматы, чем те, которые требуются в системах со сложным поведением.

Системы со сложным поведением включают два широких класса систем: реактивные системы и системы с логическим управлением, которые активно разрабатываются на основе технологии автоматного программирования. Результатами разработок являются либо конечные автоматы, либо конечные преобразователи. Школа А.А. Шалыто в настоящее время большее внимание уделяет исследованиям реактивных систем и генерации конечных автоматов для них. Исследования данной работы посвящены технологии генетического программирования для генерации автоматических преобразователей (*Finite State Transducer – FST*), предназначенных для решения прикладной задачи, связанной с представлением знаний о методах естественно-языковой обработки научного текста в виде производственных систем (*Production System – PS*). Данные методы реализуются, как правило, в виде систем логического управления.

Генерация автоматов реактивных систем основана на событийном подходе управления системой. События, возникающие во внешней среде, определяют те или иные действия, которые могут выполняться как в состояниях, так и на переходах. При генерации автоматических преобразователей как систем с логическим управлением действия, как правило, выполняются только в состояниях, и возникновение того или иного события обуславливает выполнение некоторого действия. Если у автоматов реактивных систем входные переменные и события относятся к входным воздействиям, то у преобразователей события относятся к выходным воздействиям.

Автоматная технология проектирования программных систем [1, 2] поддерживается инструментальной системой *UniMod* [3], которая обеспечивает разработку и выполнение автоматного-ориентированных программ и значительно упрощает разработку автоматов. Но проектирование автоматов, описывающих системы со сложным поведением, является трудоемкой задачей в рамках *UniMod*, и статическое определение автоматов, т.е. полное их задание на этапе написания программы, не обладает достаточной гибкостью. Поэтому необходимо

автоматизировать процесс построения модели автомата и отладки его в среде *UniMod*. Одним из возможных методов проектирования автоматов, соответствующих обозначенным требованиям, являются генетические алгоритмы.

Разрабатываемый генератор должен работать в тесном контакте с инструментальной системой *UniMod*. Это объясняется тем, что функция пригодности особей сгенерированной популяции, прошедшей предварительный отбор, вычисляется на основе результатов, полученных после прогонки каждой особи в среде *UniMod*. Принципиальную схему работы генератора (рис. 1) можно представить в виде следующей последовательности действий.

1. Пользователь выбирает тип автомата, который следует получить с помощью генетического алгоритма, и уведомляет систему о необходимости начать вычисления.

2. Создается новая популяция.

3. К каждой особи популяции применяются генетические операторы.

4. Каждая новая особь (созданный автомат) подвергается тестированию, которое состоит из двух этапов: эвристической проверки корректности автомата и расширенного тестирования, в рамках которого генерируется *XML*-описание модели автомата; запуска автомата на исполнение в среде *UniMod* на наборе тестовых данных. В результате тестирования определяется количество успешно пройденных тестов и выставляется оценка данному автомату (*Fitness*-функция).

5. На основе полученной оценки происходит определение стратегии дальнейшего изменения популяции и осуществляется переход на шаг 2.

6. После создания требуемого числа популяций генетические вычисления завершаются, и формируется отчет с результатами вычислений.

В соответствии со схемой (рис. 1) модель генератора автоматического преобразователя формально определяется тройкой

$$M = \langle WI, GA, IT \rangle,$$

где *WI* – пользовательский интерфейс;

*GA* – компонент генерации модели преобразователя;

*IT* – транслятор для сопряжения со средой *UniMod*.

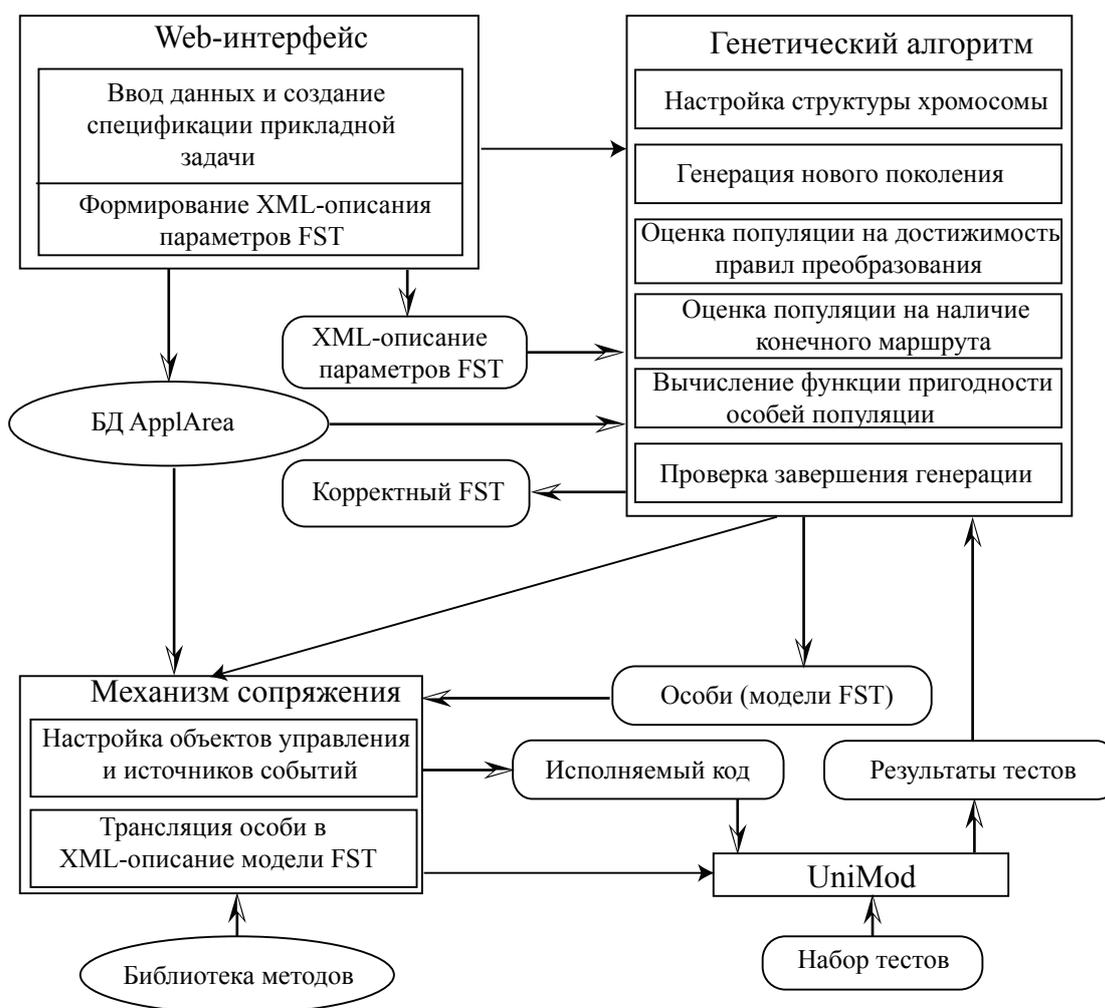


Рис. 1. Принципиальная схема модели генератора

Первый компонент имеет следующее формальное определение

$$WI = \langle CI, DBM, XML\_B \rangle,$$

где *CI* (*Conversational Input*) – компонент, отвечающий за ввод исходной информации в соответствии с выставленным шаблоном и контроль введенной информации;

*DBM* (*DataBase Maintenance*) – компонент, обеспечивающий ведение базы данных генератора;

*XML\_B* (*XML Building*) – компонент, обеспечивающий формирование *XML*-описания исходных данных о модели по введенным данным об автомате.

Второй компонент определяется пятеркой

$$GA = \langle NCh, GP0, EOP1, GP, EOP2, AFF \rangle,$$

где *NCh* – компонент, определяющий структуру хромосомы на основе анализа

*XML*-описания исходных данных о модели автомата и информации из базы данных;

*GP0* – компонент, обеспечивающий формирование начальной популяции. Возможное соотношение количества 0 и 1 в хромосоме выбирается из *XML*-описания исходных данных;

*EOP1* – компонент, выполняющий редукцию хромосом начальной популяции, на основе которой удаляются абсолютно ненужные хромосомы, и ранжирующий хромосомы на основе оценки ДНК на допустимость правил преобразования;

*GP* – компонент, генерирующий популяции хромосом на основе применения генетических операторов селекции, скрещивания и мутации. В каждом из перечисленных операторов осущест-

вляется настройка на заданный тип модели автомата по определенным правилам;

*EOP2* – компонент, выполняющий редукцию хромосом текущей популяции, на основе которой удаляются абсолютно ненужные хромосомы, и ранжирующий хромосомы по ее оценке на наличие конечного маршрута;

*AFI* – компонент, определяющий пригодность особей популяции на основе анализа результатов тестирования в среде *UniMod*. Если результаты положительные, то процесс генерации автомата завершается, в противном случае осуществляется переход на элемент GP компонента GA для генерации новой популяции.

Транслятор для сопряжения со средой *UniMod* определяется тройкой

$$IT = \langle Int, Com, Run \rangle,$$

где *Int* – компонент, анализирующий таблицу переходов и интерпретирующий ее в виде XML-описания модели автомата;

*Com* – компонент, отвечающий за компиляцию XML-описания модели в среду *UniMod* по технологии интерпретации XML-описания в *in-memory FSM* [3];

*Run* – компонент, отвечающий за исполнение автомата в среде *UniMod* [3].

Каждый вложенный компонент модели генератора автоматического преобразователя M можно детализировать в глубину. Рассмотрим суть каждого компонента.

Трехкомпонентный интерфейс пользователя представляет собой графический интерфейс, выполненный как *Web*-приложение, что делает его доступным для удаленных пользователей и нетребовательным к вычислительным ресурсам пользователя.

Компонент *CI* обеспечивает ввод и обновление данных о предметной области решаемого класса задач.

Компонент *DBM* предназначен для поддержки работы с базой данных *ApplAcea*, в которой хранится спецификация предметной области прикладной задачи.

Компонент *XML\_B* отвечает за формирование двух видов XML-описаний исходных данных о модели автоматов для генера-

ции автомата выбранного типа и для среды *UniMod*.

Результатом работы интерфейсной части является спецификация данных о предметной области задачи, записанной в базу данных, конфигурационный файл (XML-описание), содержащий необходимые исходные данные для генерации автомата. Результаты вычислений записываются в выходной файл и предоставляются пользователю интерфейсной частью после его форматирования.

В данной работе за основу взяты следующие положения генетического алгоритма.

1. Автомат (особь) представляется в виде хромосомы.

2. Хромосома состоит из динамического набора молекул ДНК в соответствии с выбранным представлением.

3. Молекула ДНК состоит из статического количества генов (минимальная неделимая составная часть молекулы ДНК).

4. Первая популяция  $P(0)$  генерируется случайным образом, при этом значение каждого гена выбирается из соответствующей области допустимых значений, заданной при описании модели автомата.

5. Каждое новое поколение  $P(t)$  генерируется при помощи оператора кроссинговера. Родительские пары выбираются оператором репродукции по методу колеса рулетки.

6. В каждой новой хромосоме повторяющиеся молекулы, если таковые есть, подвергаются мутации.

7. Все повторяющиеся хромосомы из популяции удаляются.

8. Оценка хромосом и их ранжирование осуществляются на основе эвристических правил.

9. Определение значения функции приспособленности особи осуществляется при помощи объекта (инструментальная система *UniMod*), внешнего для алгоритма класса, который, получая в качестве параметров особь и характеристики популяции, определяет ее приспособленность. Генетический алгоритм также должен указать объекту данного класса, на основе каких тестов необходимо определять значения функции приспособленности.

Структура хромосомы имеет табличное представление (таблица).

Т а б л и ц а

**Представление структуры хромосомы**

Ген1	Ген2					Ген3			Ген4				Ген5	Ген6	Ген7		
Действие Z	Входной поток					События			Выходн. поток				Index StreamStack	Новое состояние	Допустимость преобразования		
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	0	1	2	3	4		
	1										1						

По каждому гену в таблице хромосомы формируется соответствующий строительный блок: БлокZ – блок действий, БлокInp – блок данных входного потока, БлокE – блок событий, БлокOut – блок данных выходного потока, БлокInd – блок индексов, БлокS – блок новых состояний, БлокAT – блок допустимых преобразований.

Явное выделение в хромосоме генов входного и выходного потока позволяет реализовать правила преобразования. В хромосоме в общем случае  $k_{in} \neq k_{out}$ , где  $k_{in}$ ,  $k_{out}$  – мощности конечных множеств данных входного и выходного потоков соответственно. Неравенству  $k_{in} < k_{out}$  соответствует преобразование данного входного потока в несколько данных выходного потока;  $k_{in} > k_{out}$  возможно в случае, когда во входном потоке появляется разделитель, который не преобразовывается в выходной символ, а сигнализирует о наступлении какого-либо события, например, завершение распознавания левой части простой ядерной конструкции  $xRu$ .

Допустимость указанных в хромосоме преобразований должна определяться после генерации популяции при оценивании особей и отражаться в 7-м гене.

Обобщенная стратегия эволюционного поиска генетического алгоритма заключается в направленном трехэтапном поиске решения. На первом этапе «Анализ молекул ДНК» строятся популяции, особи которых должны обладать корректными правилами преобразования информации. На втором этапе «Анализ хромосомы» выбираются и генерируются особи, которые обладают маршрутом перехода из начального в конечное состояние. На тре-

тьем этапе «Выбор пригодных особей» особи сгенерированной популяции, имеющие первые две характеристики, исполняются в среде UniMod после предварительной подготовки. Будем считать, что результат достигнут, если в 95 % выполнения тестовых примеров получен положительный результат.

В данной работе используется способ создания начальной популяции  $P(0)$  в соответствии со второй стратегией [4], которая заключается в генерации случайного множества решений, достаточно большого, но не исчерпывающего все возможные варианты. Для обеспечения успеха дальнейшей эволюции целесообразно задать некоторые параметры, которые получены в результате анализа предметной области задачи. В данном случае зададим соотношение между нулями и единицами равным 2 : 8, а размер начальной популяции, так же как и для всех других, определяется

$$N = 2^{d+i-1},$$

где  $i$  – номер поколения;

$d$  – показатель степени двойки, определяющий размер популяций.

Генетический алгоритм должен самостоятельно осуществлять проверку и корректировку особей. Поэтому перед оператором редукции стоит задача удаления «плохих» особей из популяции, к которым отнесем одинаковые особи и особи, имеющие единичные или нулевые блоки БлокInp, БлокOut, БлокE. Таким образом, данный оператор осуществляет погенное сравнение всех возможных пар особей и удаление «плохих» особей.

Для выполнения генетических операторов необходимо выполнить селекцию хромосом, имеющих более высокое значение целевой функции, т.к. они должны иметь большую возможность для воспроизводства потомков.

Для каждой особи сгенерированной популяции  $P(t)$  выполним проверку на допустимость правил преобразований, описанных в ДНК. При этом проверим те ДНК, у которых одновременно имеются единичные значения во 2-м и 4-м генах. В качестве эталона используются правила, хранящиеся в базе данных. Если преобразование допустимо, то 7-й ген текущей ДНК устанавливается в единицу.

Так как основными действиями автоматов, не относящихся к управляющим, яв-

ляются чтение и запись, то в хромосоме подобных ДНК должно быть около 40 %. Тогда в качестве первой целевой функции можно использовать функцию, определяющую максимум допустимых правил преобразования (*Admissible transformation*). Обозначим термин *Admissible transformation* символом  $a$ , тогда:

$$f_i^1(a) = \sum_{j=1}^m a_j,$$

где  $m$  – количество ДНК в  $i$ -й хромосоме;  
 $j$  – индекс ДНК.

Выполним ранжирование хромосомы по значению функции  $f_i^1(a)$ . Особи с  $f_i^1(a) = 0$  удаляются из популяции. Оставшиеся особи делятся на четыре группы. Набор ДНК в хромосоме условно разделим на три слоя: верхний, средний, нижний. Первую группу составят особи, у которых 7-й ген имеет единичное значение у ДНК, принадлежащих верхнему слою; вторую – 7-й ген имеет единичное значение у ДНК, принадлежащих среднему слою; третью – 7-й ген имеет единичное значение у ДНК, принадлежащих нижнему слою. Четвертую группу составят все остальные особи. Обозначим эти группы как  $A, B, C, D$ .

Естественно, что особи последней группы должны иметь наибольшее значение

функции оценки. В этой группе можно выделить еще четыре подгруппы ( $D_1, D_2, D_3$  и  $D_4$ ), в которых единичный 7-й ген молекулы ДНК расположен соответственно а) во всех слоях хромосомы; б) в верхнем и среднем слоях; в) в верхнем и нижнем слоях; г) в среднем и нижнем слоях хромосомы.

Особи первой подгруппы  $D_1$  можно сразу скопировать в новую популяцию. Для выполнения генетических операторов особи отбираются по методу колеса рулетки.

Рассмотрим сначала скрещивание хромосом смешанной группы. Выполним скрещивание хромосом групп  $D_2$  и  $C, D_3$  и  $B, D_4$  и  $A$ . Для выполнения операции скрещивания хромосом групп  $D_2$  и  $C$  необходимо использовать односточный оператор кроссинговера. Случайным образом выберем родительские хромосомы  $P_1$  и  $P_2$  из групп  $D_2$  и  $C$  соответственно. Точкой кроссинговера будем считать точку разделения среднего и нижнего слоев хромосомы (рис. 2).

Аналогичным образом осуществляется скрещивание хромосом из пар групп  $D_3$  и  $B, D_4$  и  $A$ . После этого следует выполнить скрещивание хромосом из групп  $A, B$  и  $C$ . В этом случае имеются три родительские хромосомы  $P_1 \in A, P_2 \in B, P_3 \in C$  и используется двухточечный оператор кроссинговера.

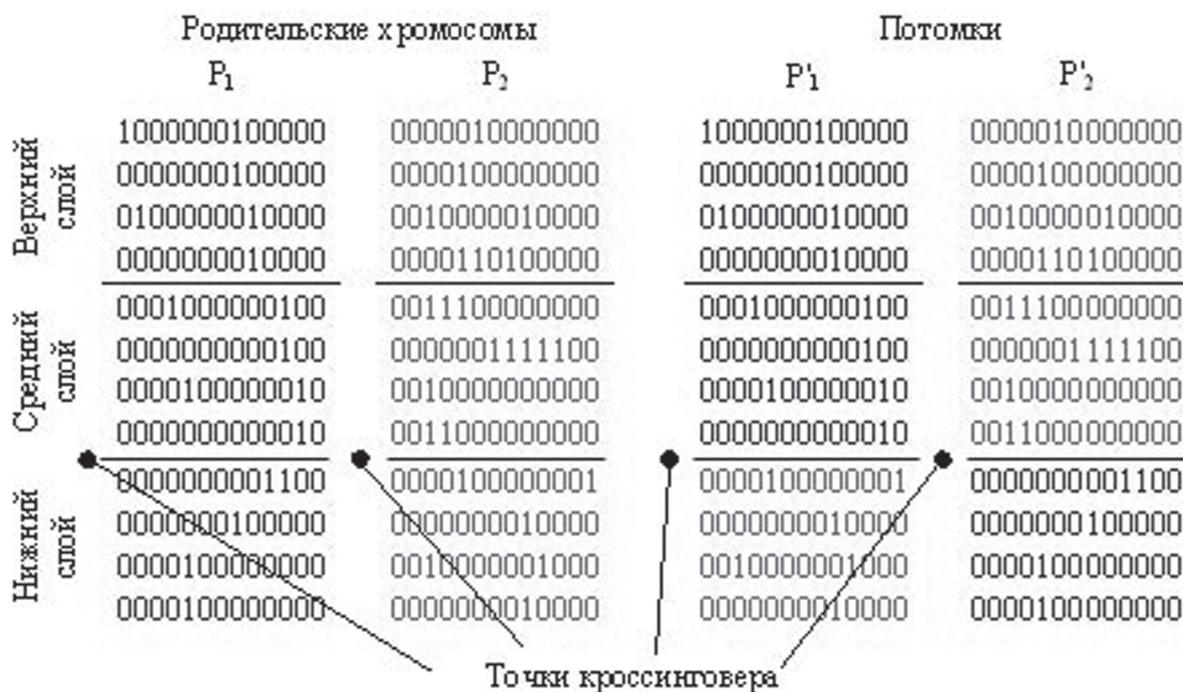


Рис. 2. Абстрактная схема скрещивания хромосом групп  $D_2$  и  $C$  односточным оператором кроссинговера

Для анализа применяется оператор редукции, затем осуществляется переход на новый расчет первой функции оценки, и так далее по алгоритму. Процесс имеет итеративный характер, цикл заканчивается тогда, когда молекулы ДНК большинства особей будут обладать корректными правилами преобразования.

Цель данной эволюции заключается в генерации особей (автоматов), обладающих конечным маршрутом, который приводит автомат из начального в конечное состояние.

Разделим популяцию на две группы. К первой группе отнесем особи, которые обладают конечным маршрутом. Будем считать, что такие особи готовы к тестированию в инструментальной системе *UniMod*. Во вторую группу войдут остальные особи, к которым необходимо применить операторы кроссинговера и мутации.

Проверка наличия в хромосоме конечного маршрута осуществляется на основе эвристических правил. В модели автомата (хромосоме) первым состоянием должно быть состояние *StartState*, последним – состояние, идентифицирующее выход из автомата *OutState*. ДНК, содержащее конечное состояние, может быть расположено в любой строке таблицы кроме первого.

Так как молекула ДНК, идентифицирующая стартовое состояние, индекс стека или входного потока, и состояние, в которое автомат, безусловно, попадает из стартового состояния, должна присутствовать во всех хромосомах, его можно не генерировать. Однако при таком условии алгоритм должен знать то состояние, в которое автомат попадает из стартового состояния.

Для каждого типа автоматов необходимо определить множество «новых» состояний (переходов – значений 6-ого гена), в которые автомат может перейти из конкретного текущего состояния. Множество «новых» состояний является статическим для каждого типа и не изменяется в процессе работы алгоритма. Таким образом, для каждого типа автоматов и каждого возможного «текущего» состояния (определяется действием, выполняющимся в этом состоянии, то есть 1-м геном) существует множество допустимых значений 6-го гена, который обозначим как *NSS (NewStateSet)*.

Каждое действие генерирует событие или ряд событий, и чтобы определить, какое значение из множества *NSS* допустимо в каждой конкретной молекуле, необходимо рассмотреть отношение типа «событие – новое состояние», то есть определенное событие (ген 3) инициализирует переход в определенное состояние (значение 6-го гена) в каждом конкретно текущем состоянии (значение 1-го гена). Таким образом, корректность молекулы ДНК определяется наличием нового допустимого состояния (ген 6), соответствующего действию (ген 1), выполненному в текущем состоянии, и возникшему вследствие этого событию (ген 3).

Значение же 3-го гена (событие) не должно противоречить значениям 2-го и 4-го генов, отвечающих за входной и выходной сигналы, которые на момент проверки уже должны удовлетворять правилу преобразования. Если это условие не выполняется, то не имеет смысла осуществлять поиск конечного маршрута.

Практически невозможно реализовать проверку существования конечного маршрута для всех возможных тестовых примеров, но это можно гарантировать при условии, что все молекулы ДНК:

- а) различны (попарно отличаются значением хотя бы одного гена);
- б) удовлетворяют правилам преобразования;
- в) удовлетворяют описанным в данном подразделе условиям.

Поскольку в автоматах, чьи хромосомы не удовлетворяют вышеописанным условиям, конечного маршрута не существует, бессмысленно осуществлять их прогон на тестовых примерах. Поэтому оценка всех хромосом производилась по формуле

$$f_i^2(p_i) = \alpha + k\varphi(p_i),$$

где  $f_i^2(p_i)$  – значение функции приспособленности  $i$ -ой особи;

$\varphi(p_i)$  – функция, вычисляющая приспособленность особи как количество молекул ДНК в хромосоме, удовлетворяющим всем правилам;

$\alpha$  – небольшое число, введенное с целью исключения возможности вырождения колеса рулетки (ситуация, когда сумма приспособленностей всех особей равна 0); в данном случае оно рав-

но 0,025, так как минимальное значение функции  $\varphi(p_i)$  может быть = 0,05;  $k$  – коэффициент, который при вращении колеса рулетки увеличивает вероятность выбора в качестве родителя более приспособленной хромосомы; в данном случае он равен двум.

Хромосомы, у которых значение функции приспособленности превышало 71 %, тестировались на примерах. В выходных файлах указывались сами хромосомы, значение их функции приспособленности ( $f_i^2(p_i)L$ , где  $L$  – количество молекул ДНК в хромосоме), идентификаторы пройденных тестов и поколение, на котором была получена данная хромосома.

Выбор родительских пар осуществляется при помощи оператора репродукции. Для построения колеса рулетки вычисляется Fitness-функция каждой особи. К выбранной при помощи оператора репродукции паре применяется оператор кроссинговера.

После получения приемлемого количества корректных хромосом сформированная популяция прогоняется в среде *UniMod*.

Принципиальная схема интеграции генетического алгоритма и инструментального средства *UniMod* показана на рис. 3. Компонент *FSMtoXML* отвечает за формирование XML-описания модели конечного преобразователя (*Finite State Transducer Production System – FSTPS*) по таблице переходов, сгенерированной генетическим алгоритмом.

Компонент *EvProvClassCreator* отвечает за создание *Java*-класса, описывающего источник событий модели автомата в *UniMod*. Компонент *ConObjClassCreator* создает *Java*-класс, описывающий контролируемый объект модели автомата в *UniMod*. Компонент *XMLtoModel* формирует исполняемый код классов, описывающих автомат.

Модель базы данных *ApplArea* построена по методологии *IE (Information Engineering)* в среде *ErWin* компании *Computer Associates*. Она обладает декларативной ссылочной целостностью данных, для обеспечения которой использован механизм внешних ключей и ограничения. Для сокращения избыточности хранимых данных использована методология нормализации отношений. Разработанная модель удовлетворяет третьей нормальной форме.

По физической модели данных сгенерированы физические схемы базы данных в РСУБД *MS SQL Server 2000* и заполнены таблицы базы данных *DBApplArea* для рассматриваемой прикладной задачи.

Библиотека *методов* состоит из двух классов: *FSMIO* и *SymbolTypeDefiner*. Первый включает методы для всех автоматов и, в частности, методы для работы с данными, позволяющие абстрагироваться от типов и вида данных, второй класс является вспомогательным для первого. Класс *SymbolTypeDefiner* включает методы для определения типов данных, которые извлекаются из базы данных.

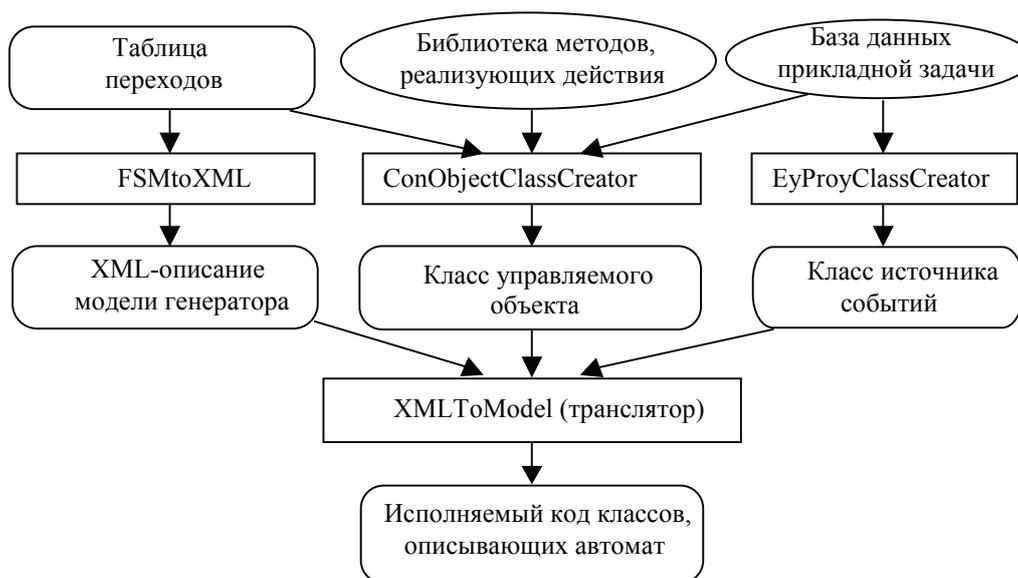


Рис. 3. Схема создания исполняемого кода

Транслятор XML-описания модели автомата в исполняемый код строится в основном по таблицам переходов автоматов, сгенерированных генетическим алгоритмом, и данным спецификации предметной области прикладной задачи, хранящимся в базе данных *ApplArea*. Транслятор предназначен для загрузки *UniMod*-автоматов в память из их *xml*-описаний. После загрузки появляется возможность отладки или запуска автомата из памяти. Транслятор реализован в виде класса *Run*, в котором инкапсулированы методы *FSM-Framework* для загрузки автоматов.

Класс *Model* используется для представления модели в памяти. Модель загружается из XML-файла и файлов с описаниями действий автоматов (файлы *UniMod* с расширением *.java*). Для загрузки модели используется класс *XmlToModel*, создающий автомат в памяти и передающий «указатель» на него объекту класса *Model*.

Для проведения экспериментов было создано программное обеспечение. Достоверность принятых в генетическом алгоритме положений была подтверждена результатами вычислительных экспериментов. В ходе тестирования были подобраны следующие значения:

- начальный размер популяции – 128;
- максимальный размер популяции – 4096;
- минимальное число поколений, необходимое для получения хромосомы, способной пройти все тестовые примеры – 12.

При таких значениях параметров генетического алгоритма первые автоматы, способные пройти от трех тестов и выше, появляются в одиннадцатом поколении (так как в алгоритме имеет место случайность, не исключено, что такие наборы хромосом могут быть получены и несколько раньше). И уже в 12-м поколении алгоритм находит оптимальный набор молекул, способный выполнить все приведенные тесты:

- 1) ЕСЛИ\_\\\_ТО\_\\\_;
- 2) ЕСЛИ\_\\\_И\_\\\_И\_\\\_ТО\_\\\_;
- 3) ЕСЛИ\_\\\_ИЛИ\_\\\_ИЛИ\_\\\_ТО\_\\\_;
- 4) ЕСЛИ\_\\\_И\_\\\_ИЛИ\_\\\_ТО\_\\\_;
- 5) ЕСЛИ\_\\\_ТО\_\\\_;
- 6) ЕСЛИ\_\\\_И\_\\\_И\_\\\_ТО\_\\\_; ЕСЛИ\_\\\_И\_\\\_И\_\\\_ТО\_\\\_;

- 7) ЕСЛИ\_\\\_ИЛИ\_\\\_ИЛИ\_\\\_ТО\_\\\_; ЕСЛИ\_\\\_ИЛИ\_\\\_ИЛИ\_\\\_ТО\_\\\_;
- 8) ЕСЛИ\_\\\_И\_\\\_ИЛИ\_\\\_ТО\_\\\_; ЕСЛИ\_\\\_ИЛИ\_\\\_И\_\\\_ТО\_\\\_;
- 9) ЕСЛИ\_\\\_ТО\_\\\_; ЕСЛИ\_\\\_ТО\_\\\_;

Первый тест введен в набор тестовых примеров с целью проверки работы автомата на обнаружение некорректных данных входного потока. Со второго по пятый тестовые примеры отображают корректные тесты с различными вариациями логических связей. Примеры с шестого по девятый позволяют проверить сгенерированный автомат на распознавание нескольких утверждений.

Все тестовые примеры были успешно пройдены одним автоматом, и 40 % особей прошли тесты от 50 % до 70 %.

Разработанный генетический алгоритм позволяет адаптироваться к заданному типу автомата посредством настройки структуры хромосомы и использования для этого конфигурационного файла. Модель механизма сопряжения обеспечивает возможность создания исполняемого кода конечного преобразователя, который может быть использован как для тестирования особей популяции, так и в качестве готового программного обеспечения.

### Библиографический список

1. Шальто, А.А. Автоматноориентированное программирование / А.А. Шальто // материалы IX всеросс. конф. «Фундаментальные исследования в технических университетах». – СПб.: Политехн. ун-т, 2005. – С. 44–52.
2. Шальто, А.А. Объектноориентированное программирование с явным выделением состояний / А.А. Шальто, Н.И. Туккель // междунар. науч.-тех. конф. «Искусственный интеллект–2002». – Т. 1. – Таганрог-Донецк: ТГРУ–ДИПИИ, 2002. – С. 198–202.
3. Сайт UniMod. – <http://unimod.sourceforge.net/>.
4. Гладков, Л.Д. Генетические алгоритмы / Л.Д. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М.: Физматлит. – 2006. – 320 с.
5. Lankhorst, M. A genetic algorithm for induction of nondeterministic pushdown automata [Электронный ресурс] // University of Groningen, Computer Science Report CS-R 9502, 1995.
6. Lucas, S.M. Structuring chromosomes for context-free grammar evolution. – IEEE World Congress on Computational Intelligence – <http://ieeexplore.ieee.org>.
7. Lucas S. M., Reynolds T. J. Learning Deterministic Finite Automata with a Smart State Labeling Evolutionary algorithm. – <http://csdl2.computer.org>.
8. Naidoo A., Pillay N. The Induction of Finite Transducers Using Genetic Programming – <http://saturn.cs.unp.ac.za>.

## ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАЧЕСТВА ТЕКСТОВОГО НАПОЛНЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ САЙТОВ

Т.Н. ЦАРЕВА, асп. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ

kingknow@mail.ru

С повсеместным распространением сети Интернет и внедрением информационно-коммуникационных технологий в образование проблема качества затронула и эту область.

Актуальность проблемы подтверждается поддержкой и заинтересованностью в этом первых лиц государства [1, 2] и существованием множества работ, посвященных данной теме [3–6].

Данная работа направлена на построение графической модели наиболее важной с точки зрения самообразования составляющей качества образовательного сайта – текстового наполнения.

Перед началом оценки качества любого объекта и последующего построения его графической модели необходимо определить ситуацию оценивания.

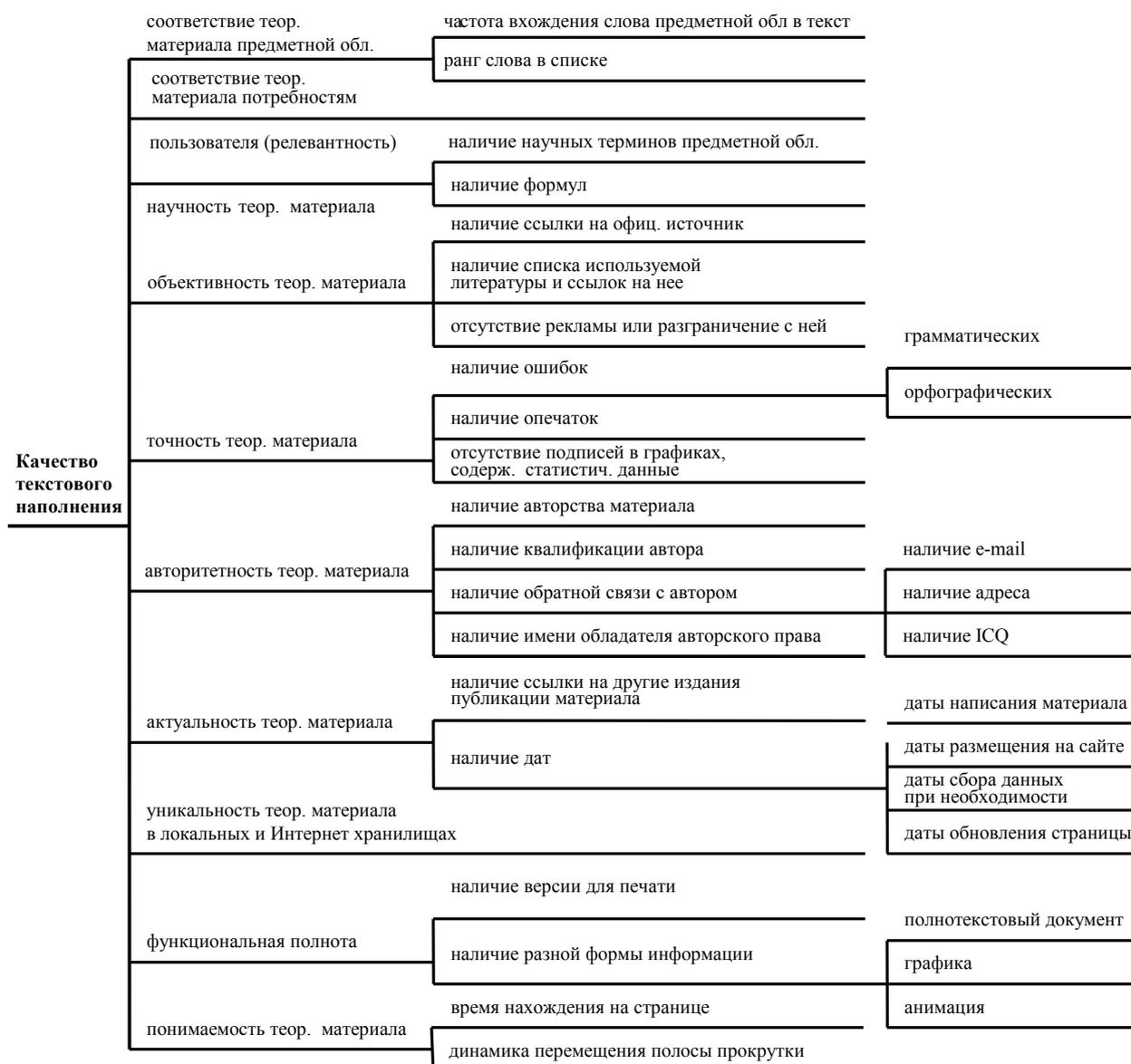


Рисунок. Структура графической модели качества текстового наполнения образовательных сайтов в виде дерева свойств

Упущение этого этапа или игнорирование его необходимости – ошибка. В зависимости от того, какой из уровней социальной иерархии будет учитываться для одного и того же конкретного объекта, могут быть получены разные значения показателей качества [7].

Субъектом оценки является группа потребителей – аспиранты российских технических вузов, выбравшие научную специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)», обращающиеся за дополнительными учебными материалами в российский сегмент Интернета (Рунета).

Следует заметить, что согласно [7], наибольшее число показателей в графической модели для одного и того же оцениваемого объекта будет, если субъектом оценки является общество в целом, а наименьшее – при малочисленной группе потребителей.

Вообще говоря, графически изобразить иерархическую модель качества текстового наполнения можно, используя различные инструменты: дерево свойств, дерево-граф, схема Исикава («рыбий скелет»). Правила их построения аналогичны.

В [7] обоснован набор правил построения дерева свойств (далее набор правил). Следование им практически гарантирует исключение многочисленных распространенных ошибок, допускаемых при построении дерева свойств.

Произведем разбиение нашего объекта – качества текстового наполнения образовательного сайта – на показатели в соответствии с этим набором правил.

В результате получается графическая модель качества текстового наполнения, имеющая три уровня иерархии, которая представлена на рисунке с использованием одного из трех инструментов изображения – дерева свойств.

В соответствии с правилом «Корректируемость» набора правил [7] графическая модель допускает возможность внесения или исключения из нее отдельных показателей в дальнейшем. Корректировка вносится в случае понимания неадекватности этой модели

существующей реальности. Однако для сравнительного анализа текстового наполнения сайтов необходимо, чтобы структура модели не менялась.

Таким образом, в результате данной работы в соответствии с набором правил было смоделировано качество текстового наполнения образовательных сайтов для определенной группы потребителей. В дальнейшем с использованием полученной структуры будет построен математический эквивалент графической модели, а впоследствии определено значение показателей и комплексный показатель качества текстового наполнения образовательных сайтов.

### Библиографический список

1. Дмитрий Медведев: главное – не «железо», а интернет. URL: <http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2007/04/05/244358> 20.12.2007
2. Дмитрий Медведев: Интернет и его возможности облегчают процесс обучения, делают его более качественным. URL: <http://www.c-society.ru/wind.php?ID=265383&soch=1> 20.12.2007
3. Домрачев, В.Г. О применении лингвистических переменных при оценке качества образовательных информационных ресурсов / В.Г. Домрачев, О.М. Полещук, И.В. Ретинская и др. // труды XIII всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2006». – СПб.: 2006. – Т. 2. – С. 334–335.
4. Царева, Т.Н. Аналитический обзор методов оценивания качества интернет-сайтов / Т.Н. Царева // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2007. – № 4(53). – С. 190–194.
5. Сиговцев, Г.С. О сравнительной оценке цифровых образовательных ресурсов. Информационно-коммуникационные технологии в образовании / Г.С. Сиговцев, М.А. Чарута, А.А. Ковалевский // труды XIV всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2007». – СПб., 2007. – Т.1.
6. Афонин, А.Ю. Организационно-методические и программные основы комплексной системы мониторинга и оценки качества информационных образовательных порталов / А.Ю. Афонин, М.И. Нежурина // труды XIII всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2003». URL: [http://tm.ifmo.ru/tm2003/db/doc/get\\_thes.php?id=276](http://tm.ifmo.ru/tm2003/db/doc/get_thes.php?id=276) 20.12.2007
7. Азгальдов, Г.Г. Количественная оценка качества продукции – квалиметрия / Г.Г. Азгальдов. – М.: Знание, 1986. – С. 7, 18–44.

## ЯЗЫК ОПИСАНИЯ ЗАДАНИЙ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.В. ЧЕРНЫШОВ, доц. каф. вычислительной техники МГУЛ, канд. техн. наук

*sch@mgul.ac.ru*

Рассмотрим кратко последовательность действий, которые необходимо выполнить в процессе первичной обработки телеметрической информации (ТМИ).

В самом начале работы необходимо задаться перечнем каналов, которые надо обработать. Перечень каналов задается по их адресам в телеметрическом потоке. Основную сложность здесь представляет то, что в каждой телеметрической системе принята своя система нумерации каналов. Кроме того, в современных телеметрических системах разные каналы могут иметь разную частоту опроса, что создает определенные сложности при их совместной обработке (если таковая требуется).

Сам процесс обработки каждого канала представляет собой циклический процесс, заключающийся в следующих шагах:

- получение очередного отсчета значения измеряемого параметра;
- калибровка полученного значения (если задано);
- получение физического значения (если задано);
- допусковый контроль значения (если задано);
- статистическая обработка значения (если задано);
- представление значения (в таблице значений, на графике и т. п.).

Процесс получения очередного отсчета значения измеряемого канала сильно зависит от способа ввода информации в ЭВМ (в реальном времени, из предварительного зарегистрированного файла) и от формата самого телеметрического потока (причем, не только от типа телеметрической системы, но и от типа устройства ввода в ЭВМ).

Процедура калибровки требует предварительного указания калибровочных уровней минимума и максимума измерительной шкалы. В зависимости от типа телеметрической системы и от типа измерительного канала это могут быть:

- жестко заданные уровни;
- значение максимума, передаваемое по другому каналу (значение минимума при этом задается жестко);
- значения максимума и минимума, передаваемые по двум другим каналам;
- несколько значений максимумов и минимумов (для разных шкал в зависимости от значения отсчета), передаваемые по другим каналам. Каналы, несущие значения максимумов и минимумов, принято называть калибровочными. Как правило, определенные, одни и те же калибровочные каналы задаются в телеметрической системе для целой группы измерительных каналов.

Процедура получения физического значения, как правило, представляет собой вычисление значения градуировочного полинома (обычно по схеме Горнера). В зависимости от типа датчика степень полинома может варьироваться от 1 до 6. Коэффициенты полинома в общем случае уникальны для каждого измерительного канала.

Допусковый контроль может в зависимости от задачи контроля выполняться как по исходному значению отсчета в канале, так и по откалиброванному значению или даже по физическому значению параметра. При этом значение канала может проверяться на жестко заданный допуск или на отклонение от значения другого канала (каналов). Результатом проверки является вывод (флаг, сигнал) о нахождении значения канала в заданном допуске.

Статистическая обработка может использоваться для анализа стабильности показаний канала и многих других целей.

Для представления значения канала также могут быть использованы как исходные значения, так и откалиброванные или физические значения параметра. При этом само представление может выполняться:

- в файл на диске в виде текстового или бинарного массива данных;
- на принтер;

– на экран терминала в текстовой или графической форме;

– на какой-либо другой интерфейс вывода (например в сеть для удаленного абонента).

По завершении обработки потока может потребоваться процедура подведения итогов, предусмотренная для данного вида обработки. Например, при статистической обработке необходима процедура окончательного расчета статистических характеристик.

В связи с показанной выше цикличностью процесса первичной обработки телеметрической информации язык подготовки заданий на обработку ориентирован не на описание самого процесса обработки (об этом должна позаботиться система программирования, для которой будут готовиться задания), а на описание тех зависимостей, которые вытекают из специфики первичной обработки. Говоря более конкретно, язык позволяет описать:

– адреса обрабатываемых каналов;  
– зависимости между информационными и калибровочными (а также, возможно, другими) каналами;

– типы выполняемой над каждым конкретным каналом обработки из перечисленных выше (имеется возможность добавления новых типов обработки);

– способ представления результатов обработки.

Язык ориентирован на специалистов по разработке и испытаниям сложных технических объектов. В частности, для этой цели язык построен на базе русской лексики.

Язык не привязан к конкретной телеметрической системе. На нем возможно написать задание на обработку потока любой телеметрической системы.

В основу реализации языка положена идея создания системы автоматизированной генерации рабочих программ [1, 2]. Но в отличие от систем, описанных в источниках, разрабатываемая система полностью строится на языке программирования Си, что обеспечивает относительно простую переносимость системы между платформами. Так, автор начал разработку и получил работающий образец системы (прошедший апробацию) в ОС *MS-DOS*, а в дальнейшем перенес

систему в ОС *RTLinux*, где она используется и развивается по настоящее время.

Еще одной отличительной особенностью системы, прямо повлиявшей на построение языка подготовки заданий, является отказ от формирования канальных программ в виде последовательностей команд программного кода. Вместо этого канальные программы образуются наборами структур данных для функций языка Си, выполняющих конкретные виды обработки. Каждая функция входит в программный код итоговой рабочей программы лишь однажды, в то время как наборы данных индивидуальны для каждого обрабатываемого канала.

Все типы обработки и представления описываются как функции языка Си, имеющие определенную структуру. Это дает возможность при необходимости создать новый тип обработки, не внося никаких изменений в сам язык.

В разработанном языке каждый обрабатываемый канал должен быть как-то именован. Программист может выбрать для канала любое уникальное имя, состоящее из букв русского и латинского алфавитов, а также цифр. Вся обработка для канала описывается как обработка для выбранного имени. Сопоставление имени с конкретным каналом осуществляется при описании адреса канала в нотации адресов выбранной телеметрической системы.

Наиболее сложным оказался вопрос обеспечения независимости языка от типа телеметрической системы и способа ввода телеметрического потока в ЭВМ. В конечном итоге было принято решение вообще не указывать тип потока в задании. Вместо этого при сборке рабочей программы к ней просто подключается библиотека ввода и распаковки, соответствующая входному потоку телеметрической информации. Но поскольку в задании необходимо указать адреса обрабатываемых каналов (структура которых зависит от типа телеметрического потока), предусмотрена секция описания адресов каналов, которая после сопоставления имен каналов с их адресами копируется в файл адресов, который затем передается сгенерированной рабочей программе. В рамках этой программы файл адресов читается и анализируется функция-

ми библиотеки ввода и распаковки, которая, естественно, ориентирована на работу с адресами каналов именно этой структуры. Сам же язык подготовки заданий не накладывает никаких ограничений на структуру адресов телеметрических каналов.

К сожалению, описанный подход обладает тем недостатком, что правильность задания адресов каналов может быть проверена лишь при запуске готовой рабочей программы, а не на этапе трансляции задания. Но этот недостаток компенсируется практически неограниченными возможностями по добавлению новых типов потоков информации. При необходимости обработать новый поток достаточно лишь разработать новую библиотеку ввода и распаковки и дать программисту, который будет готовить задание на обработку, правила записи адресов каналов в этом потоке. Сам же язык при этом дорабатывать не надо.

Последовательность операций обработки каждого канала задается на языке как последовательность так называемых типов обработки. Каждый тип обработки представляет собой группу функций, написанных на языке Си и имеющих определенную структуру. Для использования в языке каждый тип обработки (каждая группа функций) получает простое имя, причем присвоение имени выполняется в самом задании. При этом также описываются поля структуры данных, с которой работает данный тип обработки, и их значения по умолчанию.

Описание канальных программ заканчивается указанием конкретных значений полей функций типов обработки для каждого обрабатываемого канала. Поскольку (как уже было сказано) для обработки разных каналов может использоваться один и тот же тип обработки, удобнее всего задавать значения полей в виде таблиц.

Любая программа на языке представляет собой последовательность из нескольких секций, каждая из которых имеет свое назначение. Секции должны следовать в строго определенном порядке. Некоторые из секций, не используемые в конкретных заданиях, могут быть опущены.

Описанный в настоящей статье язык прошел апробацию и в настоящее время активно применяется для создания рабочих программ первичной обработки телеметрической информации в Особом конструкторском бюро Московского энергетического института, на Ижевском радиозаводе и ряде других предприятий.

#### Библиографический список

1. Махонькин, Ю.Е. Системы обработки результатов измерений и управления летным экспериментом / Ю.Е. Махонькин, Р.М. Паверман, В.И. Корчаков и др. // Летные исследования и испытания. Фрагменты истории и современное состояние: Науч.-техн. сб. – М.: Машиностроение, 1993. – С. 234–253.
2. Фомин, А.Ф. Цифровые информационно-измерительные системы: Теория и практика / А.Ф. Фомин, О.Н. Новоселов, К.А. Победоносцев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1996.

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕДЕНИЕМ ИСПЫТАНИЙ РАБОЧЕГО МЕСТА КОНТРОЛЯ БОРТОВОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

А.В. ЧЕРНЫШОВ, доц. каф. вычислительной техники МГУЛ, канд. техн. наук

*sch@mgul.ac.ru*

**В**виду сложности современной бортовой телеметрической аппаратуры (БТА) полный цикл проверок качества каждого ее блока включает большое количество тестов в различных условиях окружающей среды и занимает несколько суток. В соответствии с техническими условиями (ТУ) на блоки и их комплекты необходимо проверить работу БТА

при нормальном, пониженном и повышенном напряжении питания на каждом из тестов и во всех условиях окружающей среды.

На практике выполнение тестов в полном объеме ТУ затруднительно, так как до сих пор требует больших затрат труда высококвалифицированных испытателей. Например, проведение проверок при нормальном,

пониженном и повышенном напряжении питания для какого-либо одного вида теста в конкретных условиях окружающей среды требует трехкратной ручной установки соответствующих напряжений с последующим ручным запуском контролирующей программы и анализом результатов ее работы. Можно автоматизировать запуск программы, выдавая на экран сообщения для испытателя о необходимости установить нужное напряжение питания и нажать кнопку на клавиатуре по готовности, но принципиально проблему ручного труда это не решит.

Поэтому чаще всего уже в самих ТУ закладываются ничем не обоснованные ограничения проверок, при которых в нормальных условиях проверяют блоки на нормальном напряжении, при повышенной температуре – на повышенном напряжении, а при пониженной температуре – на пониженном напряжении. На практике же в процессе таких температурных прогонов испытатели забывают переключать напряжение.

Целью создания системы управления проведением испытаний (СУПИ) является максимальное исключение ручного труда при проведении испытаний БТА с одновременным углублением контроля и повышением его качества.

В настоящий момент СУПИ реализована и применяется для испытаний БТА в упрощенном варианте. Основными причинами этого являются следующие.

1) Сильно ограниченное время на разработку ПО и невозможность расширить фронт работ. Основное внимание было уделено разработке программных систем, жизненно важных для настройки, проверки и эксплуатации БТА. При острой необходимости тестирующие программы можно было запустить и вручную по отдельности.

2) Невозможность использовать для автоматизации процесса испытаний стандартные приборы (блоки питания, вольтметры и т. п.). Вся работа со стандартными приборами выполняется операторами вручную.

3) Невнимание завода-изготовителя к необходимости разработки недостающих блоков сопряжения испытательного оборудования с ПЭВМ РМК. Как следствие, необхо-

димость работы с этим оборудованием в ручном режиме.

4) Нежелание операторов, проводящих испытания БТА, переходить на полностью автоматизированный режим проверок. За ручной труд (и большое время проверки) они получают большую зарплату.

В итоге на данный момент времени СУПИ позволяет организовать следующие виды циклограмм:

– запуск проверочных программ в определенной последовательности. Перед каждым запуском очередной программы оператору выдается сообщение о необходимых манипуляциях с БТА, включая перестыковку кабелей и заглушек, замер тока потребления и т. п.;

– запуск проверочных программ в определенной последовательности. При этом используются электронные имитаторы датчиков, позволяющие менять имитируемые значения по командам от компьютера. Последовательность проверок выполняется в автоматическом режиме. Замеры стандартными приборами проводятся оператором однажды – обычно после включения питания БТА до запуска циклограммы;

– комбинация двух предыдущих типов циклограмм;

– предоставление оператору выбора следующего запускаемого теста в интерактивном режиме, включая возможность повторного запуска только что завершившейся проверки.

Во всех случаях предусмотрена возможность автоматизированного ведения протокола испытаний, что теоретически позволяет накапливать информацию о поведении каждого испытываемого экземпляра БТА. На практике применение такого протокола оказалось ограничено случаями длительных циклических испытаний и получения в бумажном виде (документа) протокола ПСИ на заводе-изготовителе. Применение протокола для других целей – вопрос уже не только технический, но и административный.

Для примера далее показана простейшая циклограмма проверки модуля, реализованная на Shell.

```
#!/bin/sh
echo Проверка модуля ИмяМодуля
echo
echo Соберите схему проверки согласно рисунку Б1
ТУ.
echo Включите питание системы и корзины, выключи-
те ПД.
echo Нажмите Enter для начала записи
read

# Загрузка имитатора МПИ
pwwdl modul.pwwdl
# Технологическая запись
pwwd -t 2
rm test.dmp

# Фиксация времени начала проверки
date >d
cat d >prot1
# Испытательная запись потока информации от моду-
ля
# Запись выполняется по умолчанию в файл с именем
test.dmp
pwwd -t 10
# Контроль записанного потока
./modul test.dmp >>prot1 2>err
# Формирование интегрального результата контроля
if [ -s err ]
then
    echo >>prot1
    echo «Параметры НЕ соответствуют ТУ»
>>prot1
else
    echo >>prot1
    echo «Параметры соответствуют ТУ»
>>prot1
fi
cat prot1 >>prot.all
echo "*****"
" >>prot.all
# Вывод на экран результата контроля
cat prot1
```

В циклограмме:

*pwwdl* – программа загрузки корзины имитаторов (в данном случае обеспечивает загрузку платы имитатора МПИ),  
*modul.pwwdl* – файл загружаемых дан-ных;  
*pwwd* – программа записи полного по-тока информации, поступающего от платы МПИ, на диск;  
*modul* – рабочая программа проверки записанного потока информации;  
*prot1* – файл протокола текущего ис-пытания;

*prot.all* – файл с протоколами всех про-веденных испытаний;

*err* – файл регистрации ошибок в про-цессе испытаний.

Остальные команды являются стан-дартными командами Shell.

Простейшая реализация СУПИ поз-волила начать применение ПО РМК для про-верки БТА в указанных выше режимах без разработки специализированного языка опи-сания циклограмм. Все циклограммы, вклю-чая зависящие от действий оператора, были составлены на языке *Shell ОС Linux*. Такая реализация позволила значительно сократить время разработки работоспособного ПО РМК и в заданные сроки обеспечить выпуск пер-вых экземпляров БТА, но усложнила задачу программистам. Для описания на универ-сальном *Shell* ориентированных на испыта-ния БТА циклограмм пришлось писать значи-тельный по объему код. Модификация таких циклограмм сильно затруднена. Поэтому ре-ализация полноценного языка описания цикло-грамм испытаний в рамках СУПИ – это лишь вопрос времени и имеющихся ресурсов.

В полной реализации СУПИ должна быть представлена языком описания цикло-граммы испытаний. Язык должен включать поддержку следующих возможностей:

- ведение журнала испытаний;
- запуск программ (регистрирующих, контролирующих, управляющих) в опреде-ленной последовательности и/или в опреде-ленные моменты времени;
- запуск программ при наступлении определенных внешних условий и/или собы-тий;
- сбор информации о параметрах ок-ружающей среды испытываемого блока БТА, электрических параметрах (например напря-жении питания) и т. п.;
- выполнение каких-либо действий в зависимости от проверяемых условий;
- организация циклов;
- реализация интерфейса с операто-ром внешних испытательных установок и ис-пытателем.

Дополнительно (например, при ис-пользовании РМК в составе автоматизиро-ванной испытательной системы целевого

изделия) может потребоваться реализация интерфейса с внешними абонентами. Однако вероятнее всего в каждом конкретном случае потребуются создание специального модуля сопряжения протоколов обмена, так как такие системы обычно создаются группами разработчиков, не стремящихся к единым стандартам в обменных сечениях.

Кроме реализации языка описания циклограмм, необходима разработка как минимум следующих типов ПО:

- комплекса обработки и анализа журнала испытаний;
- синхронизации с единым временем;
- драйверов сопряжения с аппаратурой РМК сбора внешних данных и управления.

О журнале испытаний и его обработке следует сказать особо.

Журнал – это документ, содержащий сведения обо всех событиях, произошедших в РМК в процессе испытания. В нем должны содержаться сведения о начале и окончании испытания, об изменении условий окружающей среды, об отданных и полученных командах, об отказах и сбоях, о запусках тестов и их результатах и т. п.

При проведении длительных испытаний в автоматическом режиме эти сведения являются важнейшей информацией, позволяющей сделать вывод об исправности объекта контроля. А при серьезных сбоях записи журнала могут помочь в определении их причин.

## РЕШЕНИЕ ОДНОЙ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ

А.Ю. ЗУБОВ, доц. ИКСИ, канд. физ.-мат. наук

*webmaster@academy.fsb.ru*

Приводится пример решения матричной игры с параметрической матрицей размера  $3 \times 8$  путем сведения задачи к вычислению вероятности успеха активной атаки для кода аутентификации с матрицей кодирования размеров  $3 \times 3$ .

В [1] рассмотрен класс матричных игр, ассоциированных с кодами аутентификации. Речь идет о защите данных от активных атак при передаче информации по общедоступному каналу связи. Под активными атаками понимаются действия злоумышленника по модификации (атака подмены), фальсификации (атака имитации) данных или их комбинация (комбинированная атака). Для защиты от активных атак используются системы аутентификации, обеспечивающие возможность проверки целостности данных и подлинности источника информации. Модель системы аутентификации называется кодом аутентификации. Эта модель появилась в 70-е годы прошлого века в работах Г. Симмонса [4, 5], посвященных разработке методов проверки выполнения международных соглашений, таких как Договор о запрещении испытаний ядерного оружия. Код аутентификации использует кодирование данных с помощью правил кодирования, выбираемых случайно и

играющих роль секретных ключей при симметричном шифровании. Надежность защиты определяется вероятностью успеха атаки. Эта вероятность совпадает со значением соответствующей матричной игры. Специфика задачи в некоторых случаях позволяет полностью решить соответствующую матричную игру, то есть найти ее значение, а также оптимальные стратегии защиты и нападения. В этой статье приводится небольшой пример.

Требуется решить матричную игру с матрицей выигрышей (1)

$$A = \begin{pmatrix} p & p & 1 & 1 & 0 & 0 & 1-p & 1-p \\ p & 0 & p & 0 & 1 & 1-p & 1 & 1-p \\ 1-p & 1 & 0 & p & 1-p & 1 & 0 & p \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $p$  – действительное число,  $0 < p < 1$ . Можно попытаться сделать это, используя один из известных методов решения матричных игр, например, сведение к задаче линейного программирования или итеративный метод типа метода фиктивного разыгрывания (метод Брауна-Робинсона [3]). Однако итеративные методы дают лишь приближенное значение игры, а решение задачи линейного программирования сводится к громоздкой системе линейных уравнений, решить которую не представляется возможным. Задача усложня-

ется наличием параметра  $p$ , а также тем, что в данной матрице ни одна строка не доминирует над другой (то же свойство имеет место и для столбцов). Тем не менее, эта задача имеет довольно простое решение. Для того чтобы убедиться в этом, нужно заметить, что матрица (1) представляет собой матрицу «игры в подмену» для кода аутентификации с матрицей кодирования размеров  $3 \times 3$ .

Код аутентификации (кратко –  $A$ -код) – это тройка конечных множеств  $S, M, E$ , называемых соответственно множеством состояний источника, сообщений и правил кодирования. Состояниями источника  $s \in S$  могут быть текстовые сообщения, результаты случайного бросания монеты и т.п. Каждое правило кодирования  $e \in E$  представляет собой инъективное отображение  $e: S \rightarrow M$ . Оно определяет обратное отображение  $e^{-1}: M \rightarrow S \cup \{0\}$  формулой

$$e^{-1}(m) = \begin{cases} s \in S, & \text{если } m \in e(S), \text{ причем } m = e(s), \\ 0, & \text{если } m \notin e(S), \end{cases}$$

где  $e(S) = \{e(S): s \in S\}$  и  $0 \notin S$ .

Для аутентификации передаваемых состояний источника отправитель и получатель выбирают (в секрете от посторонних) правило кодирования  $e$ . Отправитель вычисляет  $m = e(s)$  и направляет сообщение  $m$  получателю. Критерием аутентичности сообщения является условие  $e^{-1}(m) \neq 0$ .

Состояния источника и правила кодирования выбираются независимо друг от друга и случайно, в соответствии с заданными на  $S$  и  $E$  распределениями вероятностей  $P(S) = (p_s(s), s \in S)$  и  $P(E) = (p_e(e), e \in E)$ . Пусть  $\tilde{S}$  и  $\tilde{E}$  – соответствующие случайные величины. Они индуцируют случайную величину  $\tilde{M}$  с множеством исходов  $M$ . При этом вероятность  $p_M(m)$  вычисляется

$$p_M(m) = \sum_{e \in E(m)} p_E(e) \cdot p_S(e^{-1}(m)), \quad (2)$$

где  $E(m) = \{e \in E: e^{-1}(m) \neq 0\}$ .

Матрицей кодирования  $A$ -кода называется  $|E| \times |M|$ -матрица, строки которой занумерованы правилами кодирования  $e \in E$ , столбцы – сообщениями  $m \in M$ ; на пересечении строки матрицы с номером  $e$  и столбца с номером  $m$  расположен элемент  $e^{-1}(m)$ . Матрица инцидентности  $A$ -кода – это матрица  $X_A$ , имеющая те же размеры. Ее элементы  $x(e, m)$  определяются формулой

$$x(e, m) = \begin{cases} 1, & \text{если } e^{-1}(m) \neq 0, \\ 0, & \text{если } e^{-1}(m) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

С  $A$ -кодом ассоциируются три матричные игры. Участниками каждой игры являются злоумышленник (сторона нападения) – первый игрок, а также отправитель и получатель (сторона защиты) – второй игрок. В «игре в имитацию» с матрицей  $X_A$  ход первого игрока состоит в выборе сообщения  $m \in M$ , а ход второго – в выборе правила кодирования  $e \in E$ . Если  $e^{-1}(m) \neq 0$ , то выигрывает первый игрок, если  $e^{-1}(m) = 0$ , то – второй. Чистая стратегия защиты соответствует выбору строки матрицы, а чистая стратегия нападения – выбору столбца. Значение функции выигрыша  $\Phi_{ii}$  в ситуации  $(e, m)$  определяется равенством  $\Phi_{ii}(e, m) = x(e, m)$ .

Если игроки выбирают чистые стратегии в игре случайно, в соответствии с распределениями вероятностей  $Q = Q(M)$  и  $P = P(E)$ , то говорят о смешанном расширении матричной игры.  $Q$  и  $P$  называют соответственно смешанной стратегией нападения и смешанной стратегией защиты. Выигрыш первого игрока в ситуации  $(Q, P)$  выражается

$$\begin{aligned} v_{ii}(Q, P) &= \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} p(e) \cdot x(e, m) \cdot q(m) = \\ &= \sum_{m \in M} \sum_{e \in E(m)} p(e) \cdot q(m). \end{aligned} \quad (4)$$

Согласно теореме о минимаксе [3] существуют оптимальные смешанные стратегии, которые максимизируют выигрыш первого игрока и минимизируют проигрыш второго. Выигрыш, полученный при использовании игроками оптимальных смешанных стратегий, называется значением игры в имитацию и обозначается  $v_{ii}$ . Если  $Q^{(0)}$  и  $P^{(0)}$  – любая пара оптимальных смешанных стратегий, то

$$v_{ii} = v_{ii}(Q^{(0)}, P^{(0)}). \quad (5)$$

Эта величина характеризует стойкость  $A$ -кода к атаке имитации.

В «игре в подмену» второй игрок выбирает пару  $(e, s)$ ,  $e \in E, s \in S$ , а первый, наблюдая  $m = e(s)$ , выбирает сообщение  $n \in M$ , подменяющее  $m$ . Первый игрок выигрывает в том и только том случае, когда  $e^{-1}(n) \neq 0$ . Значение функции выигрыша в ситуации  $((e, s), n)$

$$y((e, s), n) = \begin{cases} 1, & \text{если } e \in E(n), n \neq e(s), \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Пусть  $Y_A$  – матрица, составленная из элементов  $y((e,s),n)$ , строки которой пронумерованы парами  $(e,s)$ ,  $e \in E, s \in S$ , столбцы – сообщениями  $n \in M$ .

Смешанными стратегиями игроков служат соответственно распределение вероятностей  $V = \{v(e,s), e \in E, s \in S\}$  на множестве  $E \times S$  и совокупность  $U = \{U_m, m \in M\}$  распределений  $U_m = (u_{m,n}, n \in M)$ , где  $u_{m,n}$  – вероятность выбора сообщения  $n$ , подменяющего  $m$ . Выигрыш  $v_n(U, V)$  первого игрока в ситуации  $(U, V)$  определяется средним значением выигрыша  $y((e,s),n)$  при случайном выборе  $(e,s) \in E \times S$  и  $n \in M$  в соответствии с распределениями  $V$  и  $U$ .

$$v_n(U, V) = \sum_{e \in E} \sum_{s \in S} \sum_{n \in M} v(e, s) \cdot y((e, s), n) \cdot u_{e(s), n} = \sum_{m \in M} \sum_{n \in M} \sum_{e \in E(m, n)} v(e, e^{-1}(m)) \cdot u_{m, n}, \quad (6)$$

где  $E(m, n) = E(m) \cap E(n)$ .

Эта версия игры в подмену не является традиционной матричной игрой, поскольку смешанными стратегиями ее игроков служат не одномерные распределения вероятностей на множествах строк и столбцов матрицы игры, а двумерные распределения. В силу этого требуется доказательство аналога теоремы о минимаксе для этой версии игры, то есть наличие равенства

$$\min_V \max_U v_n(U, V) = \max_U \min_V v_n(U, V). \quad (7)$$

Оказывается, что это действительно так. Равенство (7) доказывается в приводимой ниже теореме 1. Прежде чем привести ее формулировку, заметим, что имеется другая трактовка игры в подмену. В самом деле, вероятность  $v(e, s)$  выбора вторым игроком пары  $(e, s)$  (в силу независимости случайных величин  $\tilde{E}$  и  $\tilde{S}$ ) равна произведению вероятностей  $p_E(e)$  и  $p_S(s)$ :

$$v(e, s) = p_E(e) \cdot p_S(s). \quad (8)$$

А так как распределение  $P(S)$  случайной величины  $\tilde{S}$  не регулируется игроками, в смешанном расширении игры с матрицей  $Y_A$  второй игрок фактически выбирает лишь распределение  $P(E)$ , которое можно считать смешанной стратегией защиты. Первый игрок должен выбрать сообщение, отличное от того, которое он будет наблюдать. Это означает, что его ход состоит в выборе отображения  $\varphi: M \rightarrow M$  без неподвижных точек. При этом любое наблюдаемое сообщение  $m$  первый игрок за-

менит на  $\varphi(m)$ . Смешанной стратегией служит распределение вероятностей  $R(\Psi)$  на множестве  $\Psi$  отображений множества  $M$  в себя без неподвижных точек. Матрица  $\bar{Y}_A$  новой версии игры в подмену имеет размеры  $|E| \times |\Psi|$ .

Выигрыш первого игрока в ситуации  $(e, \varphi)$  (в чистых стратегиях) полагается равным вероятности  $\bar{y}(e, \varphi)$  того, что в этой ситуации модифицированное сообщение будет принято как аутентичное. Элемент  $\bar{y}(e, \varphi)$  матрицы  $\bar{Y}_A$  выражается

$$\bar{y}(e, \varphi) = \sum_{\substack{s \in S: \\ f_e(\varphi(e(s))) \neq 0}} p_s(s). \quad (9)$$

Смешанными стратегиями в игре с матрицей  $\bar{Y}_A$  служат соответственно распределения вероятностей  $P(E) = P$  и  $R(\Psi) = R = (r_R(\varphi), \varphi \in \Psi)$ . Выигрыш первого игрока в ситуации  $(R, P)$  (в смешанных стратегиях) выражается

$$\bar{v}_n(R, P) = \sum_{e \in E} \sum_{\varphi \in \Psi} p_E(e) \cdot \bar{y}(e, \varphi) \cdot r_R(\varphi). \quad (10)$$

Поскольку новая версия игры в подмену является матричной игрой, существуют оптимальные стратегии  $R^{(0)}, P^{(0)}$ , при использовании которых достигается значение игры

$$\bar{v}_n = \bar{v}_n(R^{(0)}, P^{(0)}) = \min_R \max_P \bar{v}_n(R, P) = \max_P \min_R \bar{v}_n(R, P). \quad (11)$$

Эта величина характеризует стойкость  $A$ -кода к атаке подмены.

**Теорема 1([1]).**

*Имеет место равенство (7). При этом величина  $v_n$ , представленная минимаксом (7), совпадает с величиной  $\bar{v}_n$ , представленной минимаксом (11). Оптимальные стратегии защиты в смешанных расширениях игр с матрицами  $Y_A$  и  $\bar{Y}_A$  связаны равенством (8).*

Теорема 1 позволяет при решении игры в подмену использовать в зависимости от обстоятельств любую из приведенных трактовок. В связи с тем, что стратегия  $V$  однозначно определяется стратегией  $P$ , будем заменять обозначение  $v_n(U, V)$  на  $v_n(U, P)$ .

Первый игрок может выбирать между имитацией или подменой. Этой возможности отвечает игра с матрицей  $Z_A$ , получающаяся приписыванием друг за другом матриц  $X_A$  и  $\bar{Y}_A$ . Смешанное расширение игры  $G$  с матрицей  $Z_A$  назовем *комбинированной игрой*. Стратегиями игроков в игре  $G$  служат соответственно распределения вероятностей  $P(E) = P$

и  $W(M \cup \Psi) = W$ . Значение  $v_G$  комбинированной игры – это вероятность выигрыша первого игрока при использовании игроками оптимальных стратегий.

Более подробно с  $A$ -кодами и их свойствами можно ознакомиться в книге [2].

**Пример**

Пусть для  $A$ -кода  $S = \{H, T\}$ , ( $H$  – орел,  $T$  – решка),  $E = \{e_1, e_2, e_3\}$ ,  $M = \{m_1, m_2, m_3\}$ . Пусть  $p_S(H) = p$ ,  $p_S(T) = 1 - p$ ,  $0 < p < 1$ , и

$$\begin{pmatrix} H & T & 0 \\ T & 0 & H \\ 0 & T & H \end{pmatrix} \quad (12)$$

– и матрица кодирования. Тогда матрица  $X_A$  имеет вид

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Нетрудно убедиться в том, что матрица  $Y_A$  имеет вид

	$m_1$	$m_2$	$m_3$
$(e_1, H)$	0	1	0
$(e_1, T)$	1	0	0
$(e_2, T)$	0	0	1
$(e_2, H)$	1	0	0
$(e_3, T)$	0	0	1
$(e_3, H)$	0	1	0

Для удобства указана нумерация строк и столбцов матрицы. Непосредственная проверка показывает, что матрица  $\bar{Y}_A$  совпадает с матрицей (1). При этом ее строки пронумерованы соответственно правилами кодирования  $e_1, e_2, e_3$ , а столбцы – отображениями  $\varphi_i: M \rightarrow M$  без неподвижных точек,  $i = 1, 2, \dots, 8$ , где

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \begin{pmatrix} m_1 m_2 m_3 \\ m_2 m_3 m_1 \end{pmatrix}, \varphi_2 = \begin{pmatrix} m_1 m_2 m_3 \\ m_2 m_3 m_2 \end{pmatrix}, \\ \varphi_3 &= \begin{pmatrix} m_1 m_2 m_3 \\ m_2 m_1 m_1 \end{pmatrix}, \varphi_4 = \begin{pmatrix} m_1 m_2 m_3 \\ m_2 m_1 m_2 \end{pmatrix}, \\ \varphi_5 &= \begin{pmatrix} m_1 m_2 m_3 \\ m_3 m_3 m_1 \end{pmatrix}, \varphi_6 = \begin{pmatrix} m_1 m_2 m_3 \\ m_3 m_3 m_2 \end{pmatrix}, \\ \varphi_7 &= \begin{pmatrix} m_1 m_2 m_3 \\ m_3 m_1 m_1 \end{pmatrix}, \varphi_8 = \begin{pmatrix} m_1 m_2 m_3 \\ m_3 m_1 m_2 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Каждое отображение  $\varphi_i$  соответствует стратегии нападения (подмены) и представляется двустрочной записью. Элементы матрицы  $\bar{Y}_A$  вычислены по формуле (9).

Для вычисления значения  $v_n$  игры в подмену для данного  $A$ -кода нам понадобится формула, выражающая вероятность  $p_n$  успеха подмены.

**Вероятности успеха активных атак**

Пусть  $P(E) = P$  и  $Q(M) = Q$  – смешанные стратегии защиты и нападения при имитации. Успех первого игрока при попытке имитации с помощью сообщения  $m \in M$  определяется вероятностью события « $m \in e(S)$ » при случайном выборе  $e \in E$ . Обозначим эту вероятность через  $p_n(m)$ . Она выражается формулой

$$p_n(m) = \sum_{e \in E(m)} p_E(e). \quad (14)$$

Если первый игрок случайно выбирает сообщение  $m \in M$  в соответствии с распределением  $Q(M)$ , то среднее значение  $p_n(m)$ , равное

$\sum_{m \in M} q(m) p_n(m)$ , совпадает с величиной  $v_n(Q, P)$ , выраженной формулой (4). Получим удобное выражение для значения игры  $v_n$ .

Пусть  $P(E) = P$  – произвольная стратегия защиты и  $m_0 = m_0(P) \in M$  – сообщение, для которого выполняется равенство

$$p_n(m_0) = \max_{m \in M} p_n(m). \quad (15)$$

**Теорема 2**

Имеет место равенство

$$v_n = \min_P \sum_{e \in E(m_0(P))} p_E(e), \quad (16)$$

где сообщение  $m_0(P)$  определено условием (15).

Это утверждение следует из известного свойства оптимальных стратегий (см. [3]), состоящего в следующем. Пусть  $A = (a_{ij})_{m \times n}$  – матрица игры,  $Q, P$  – смешанные стратегии игроков. Тогда

$$v_A = \max_Q \min_{i \in 1, m} \bar{A}_i \cdot Q^\downarrow = \min_P \max_{j \in 1, n} \bar{P} \cdot A_j^\downarrow,$$

где  $v_A$  – значение игры;

$\bar{Q}, P^\downarrow$  – распределения, выписанные в виде вектор-строки и вектор-столбца соответственно;

$A_j^\downarrow, \bar{A}_i$  –  $j$ -й столбец и  $i$ -я строка матрицы  $A$ .

Приведем формулу для вычисления значения игры в подмену.

Успех первого игрока при подмене наблюдаемого сообщения  $m \in M$  сообщением  $n$  характеризуется вероятностью того, что для случайно выбранной пары  $(e, s)$  происходит

событие (A):  $n \neq m$ ,  $e^{-1}(n) \neq 0$ , при условии, что произошло событие (B):  $e(s) = m$ . Обозначим эту условную вероятность через  $p_n(n/m)$ . Она равна отношению вероятности одновременного наступления событий A и B к вероятности события B

$$p_n(n/m) = 1/p_M(m) \cdot \sum_{e \in E(m,n)} p_E(e) p_S(e^{-1}(m)), \quad (17)$$

где  $P_M(m)$  определяется формулой (2).

Из пункта 3 следует, что стратегия нападения определяется совокупностью распределений  $U = \{U_m, m \in M\}$ , где  $U_m = (u_{m,n}, n \in M)$ , а  $u_{m,n}$  – вероятность выбора сообщения  $n$ , подменяющего  $m$ . Стратегия защиты определяется распределением  $P(E) = P$ . При выбранных стратегиях  $P$  и  $U$  успех первого игрока определяется средним значением величины  $p_n(n/m)$

$$\sum_{m \in M} \sum_{n \neq m} p(m) p_n(n/m) u_{m,n}. \quad (18)$$

Из (2, 6, 17) следует, что (18) совпадает с  $v_n(U, P)$

$$v_n(U, P) = \sum_{m \in M} \sum_{n \neq m} p(m) \cdot p_n(n/m) \cdot u_{m,n}. \quad (19)$$

Получим удобное выражение для  $v_n$ . Пусть  $P$  – произвольная стратегия защиты и  $m^0 = m^0(m, P) \in M$  – сообщение, определенное для данных  $P$  и  $m \in M$  равенством

$$p_n(m^0/m) = \max_{n \neq m} p_n(n/m). \quad (20)$$

### Теорема 3

Имеет место равенство

$$v_n = \min_P \sum_{m \in M} \sum_{e \in E(m, m^0(m, P))} p_E(e) \cdot p_S(e^{-1}(m)), \quad (21)$$

где сообщение  $m^0(m, P)$  определено условием (20).

### Решение игры

Вычислим значение  $v_n$  для A-кода из примера 4. Для этого найдем явное выражение  $\min_P p_n(m_0)$ , где  $m_0$  определяется условием (15). Пусть  $p_E(e_i) = x_i, i \in \{1, 2, 3\}$ . По матрице (12) с помощью формулы (14) находим

$$p_n(m_1) = x_1 + x_2, p_n(m_2) = x_1 + x_3, p_n(m_3) = x_2 + x_3.$$

Отсюда

$$p_n(m_0) = \max_{m \in M} p_n(m) = \max \{x_1 + x_2, x_1 + x_3, x_2 + x_3\}.$$

Для нахождения  $v_n$  с помощью формулы (16) нужно минимизировать  $p_n(m_0)$  по множеству значений

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = 1, \\ 0 < x_i < 1. \end{cases} \quad (22)$$

Легко проверить, что для  $L(x_1, x_2, x_3) = \max \{x_1 + x_2, x_1 + x_3, x_2 + x_3\}$  справедливо неравенство  $L(x_1, x_2, x_3) \geq 2/3$ , причем  $L(x_1, x_2, x_3) = 2/3$  при  $x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$ . Отсюда следует, что оптимальная стратегия защиты от имитации состоит в случайном равновероятном выборе  $e \in E$ , и  $v_n = p_0 = 2/3$ . Несложно также заметить, что для данного A-кода имеется лишь одна оптимальная стратегия защиты, причем она совпадает с единственной оптимальной стратегией нападения.

Вычислим теперь значение  $v_n$ . Найдем явное выражение суммы

$$\sum_{m \in M} p_M(m) p_n(m^0/m). \quad (23)$$

Воспользуемся тем, что

$$\begin{aligned} p_M(m) p_n(m^0/m) &= \max_{n, n \neq m} (p_M(m) p_n(n/m)) = \\ &= \max_{n, n \neq m} \sum_{e \in E(m, n)} p_E(e) p_S(e^{-1}(m)). \end{aligned}$$

По матрице (12) вычисляем

$$\begin{aligned} p_M(m_1) p_n(m_1^0/m_1) &= \max \{x_1 p, x_2(1-p)\}, \\ p_M(m_2) p_n(m_2^0/m_2) &= \max \{x_1(1-p), x_3(1-p)\}, \\ p_M(m_3) p_n(m_3^0/m_3) &= \max \{x_2 p, x_3 p\}. \end{aligned}$$

Отсюда получаем выражение для суммы (23)

$$\begin{aligned} L_1(x_1, x_2, x_3) &= \max \{x_1 p, x_2(1-p)\} + \\ &+ (1-p) \max \{x_1, x_3\} + p \max \{x_2, x_3\}. \end{aligned} \quad (24)$$

Согласно (21),

$$v_n = \min_{P(E)} L_1(x_1, x_2, x_3).$$

Для нахождения  $v_n$  вычислим минимум  $L_1(x_1, x_2, x_3)$  по множеству  $\Delta$  значений переменных  $x_1, x_2, x_3$ , определяемому условиями (22). Для этого найдем минимум  $L_1(x_1, x_2, x_3)$  в каждом из подмножеств  $\Delta_i, i \in \overline{1, 8}$ , множества  $\Delta$ , определяемых условиями достижения максимумов в трех слагаемых, составляющих правую часть выражения (24).

Подмножество  $\Delta_1$  определяется системой неравенств

$$\begin{cases} x_1 \cdot p \geq x_2 \cdot (1-p), \\ x_1 \geq x_3, \\ x_2 \geq x_3. \end{cases} \quad (25)$$

которую можно записать в виде

$$\begin{cases} x_3 \leq x_2 \leq x_1 \cdot p / (p-1), \\ x_3 \leq x_1. \end{cases} \quad (26)$$

В условиях этого случая  $L_1(x_1, x_2, x_3) = x_1 + x_2 p$ . Из равенства  $x_1 + x_2 + x_3 = 1$

и того, что  $L_1(x_1, x_2, x_3)$  – линейная функция с положительными коэффициентами, не содержащая  $x_3$ , следует, что  $L_1(x_1, x_2, x_3)$  принимает минимальное значение при максимальном значении  $x_3$ . Из (26) найдем достижимую верхнюю оценку для  $x_3$ . При  $p \leq 0,5$  имеем следующие соотношения:

$$1 = x_1 + x_2 + x_3 \geq x_3(1-p)/p + x_3 + x_3 = x_3(2 + (1-p)/p) = x_3(1+p)/p,$$

откуда  $x_3 \leq p/(1+p)$ .

При  $x_3 = p/(1+p)$  неравенство в предыдущей цепочке обращается в равенство, откуда получаем значения переменных

$$x_1 = (1-p)/(1+p), x_2 = x_3 = p/(1+p),$$

на которых функция принимает минимальное значение, равное  $(1-p+p^2)/(1+p)$ .

При  $p > 0,5$  имеем:

$$1 = x_1 + x_2 + x_3 \geq x_3 + x_3 + x_3 = 3x_3,$$

откуда  $x_3 \leq 1/3$ . При  $x_3 = 1/3$  получаем значения переменных  $x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$ , при которых функция принимает минимальное значение, равное  $(p+1)/3$ .

Подмножество  $\Delta_2$  определяется системой неравенств

$$\begin{cases} x_1 \cdot p \geq x_2 \cdot (1-p), \\ x_1 \geq x_3, \\ x_2 \leq x_3, \end{cases}$$

равносильной системе

$$\begin{cases} x_2 \leq x_3 \leq x_1, \\ x_2 \leq x_1 \cdot p / (1-p). \end{cases}$$

В этом случае  $L_1(x_1, x_2, x_3) = x_1 + x_3 p$ . Действуя, как и в предыдущем случае, убеждаемся в том, что функция достигает того же минимума при тех же значениях переменных.

Подмножество  $\Delta_3$  определяется системой неравенств

$$\begin{cases} x_1 \cdot p \geq x_2 \cdot (1-p), \\ x_1 \leq x_3, \\ x_2 \geq x_3, \end{cases}$$

которую можно записать в виде  $x_1 \leq x_3 \leq x_2 \leq x_1 p / (1-p)$ . Отсюда следует, что  $p > 0,5$  и что в рассматриваемых условиях  $L_1(x_1, x_2, x_3) = (x_1 + x_2) + x_3$ . Функция принимает минимальное значение, равное  $p(2-p)/(1+p)$ , при  $x_1 = (1-p)/(1+p)$ ,  $x_2 = x_3 = p/(1+p)$ .

Подмножество  $\Delta_4$  определяется системой неравенств

$$\begin{cases} x_1 \cdot p \geq x_2 \cdot (1-p), \\ x_1 \leq x_3, \\ x_2 \leq x_3, \end{cases}$$

равносильной системе

$$\begin{cases} x_2 \leq x_1 \cdot p / (p-1) \leq x_3 \cdot p / (p-1), \\ x_2 \leq x_3. \end{cases}$$

В этом случае  $L_1(x_1, x_2, x_3) = x_1 p + x_3$ . Если  $p \leq 0,5$ , то минимум функции равен  $(1-p^2)/(2-p)$  при  $x_1 = x_3 = (1-p)/(2-p)$ ,  $x_2 = p(2-p)$ . Если  $p > 0,5$ , то минимум функции равен  $p(2-p)/(1+p)$ . Он достигается при  $x_2 = x_3 = p/(1+p)$ ,  $x_1 = (1-p)/(1+p)$ .

$\Delta_5$  определяется системой неравенств

$$\begin{cases} x_1 \cdot p \geq x_2 \cdot (1-p), \\ x_1 \leq x_3, \\ x_2 \leq x_3, \end{cases}$$

равносильной системе

$$\begin{cases} x_3 \leq x_1 \leq x_2 \cdot (1-p) / p, \\ x_3 \leq x_2. \end{cases}$$

В этих условиях  $L_1(x_1, x_2, x_3) = x_1(1-p) + x_2$ . Если  $p \leq 0,5$ , то минимум функции равен  $(2-p)/3$  при  $x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$ , а если  $p > 0,5$ , то минимум функции равен  $(1-p+p^2)/(2-p)$ . Он достигается при  $x_1 = x_3 = (1-p)/(2-p)$ ,  $x_2 = p(2-p)$ .

$\Delta_6$  определяется системой неравенств

$$\begin{cases} x_1 \cdot p \leq x_2 \cdot (1-p), \\ x_1 \geq x_3, \\ x_2 \leq x_3, \end{cases}$$

которую можно записать в виде  $x_2 \leq x_3 \leq x_1 \leq x_2(1-p)/p$ . Отсюда следует, что  $p \leq 0,5$ . В этих условиях  $L_1(x_1, x_2, x_3) = (x_1 + x_2)(1-2p) + p$ . Минимум функции равен  $(1-p^2)(2-p)$  и достигается при  $x_1 = x_3 = (1-p)/(2-p)$ ,  $x_2 = p(2-p)$ .

$\Delta_7$  определяется системой неравенств

$$\begin{cases} x_1 \cdot p \leq x_2 \cdot (1-p), \\ x_1 \leq x_3, \\ x_2 \geq x_3, \end{cases}$$

равносильной системе

$$\begin{cases} x_1 \leq x_3 \leq x_2, \\ x_1 \leq x_2 \cdot (1-p) / p. \end{cases}$$

В этих условиях  $L_1(x_1, x_2, x_3) = x_2 + x_3(1-p)$ . Если  $p \leq 0,5$ , то минимум функции равен  $(2-p)/3$  при  $x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$ . Если  $p > 0,5$ , то ми-

нимум функции равен  $(1-p+p^2)/(2-p)$  и достигается при  $x_1 = x_3 = (1-p)/(2-p)$ ,  $x_2 = p(2-p)$ .

Наконец,  $\Delta_8$  определяется системой неравенств

$$\begin{cases} x_1 \cdot p \leq x_2 \cdot (1-p), \\ x_1 \leq x_3, \\ x_2 \leq x_3, \end{cases}$$

равносильной системе

$$\begin{cases} x_1 \leq x_2 \cdot (1-p)/p \leq x_3 \cdot (1-p)/p, \sqrt{a^2 + b^2} \\ x_1 \leq x_3. \end{cases}$$

Если  $p \leq 0,5$ , то минимум функции равен  $(1-p^2)/(2-p)$  при  $x_1 = x_3 = (1-p)/(2-p)$ ,  $x_2 = p(2-p)$ . Если  $p > 0,5$ , то минимум функции равен  $p(2-p)/(1+p)$  и достигается при  $x_1 = (1-p)/(1+p)$ ,  $x_2 = x_3 = p/(1+p)$ .

Получаем в итоге следующий результат: при  $p \leq 0,5$

$$\begin{aligned} \min L_1(x_1, x_2, x_3) = \\ = \min \left\{ \frac{1-p+p^2}{1+p}, \frac{1-p^2}{2-p}, \frac{2-p}{3} \right\} = \frac{1-p^2}{2-p}, \end{aligned}$$

а при  $p > 0,5$

$$\begin{aligned} \min L_1(x_1, x_2, x_3) = \\ = \min \left\{ \frac{1+p}{3}, \frac{p(2-p)}{1+p}, \frac{1-p+p^2}{2-p} \right\} = \frac{p(2-p)}{1+p}. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$v_n = \begin{cases} (1-p^2)/(2-p), & \text{если } 0 < p \leq 0,5, \\ p(2-p)/(1+p), & \text{если } 0,5 \leq p < 1. \end{cases}$$

Единственной оптимальной стратегий защиты от подмены является смешанная стратегия, определяемая распределением

$$P^{(0)}(E) = \begin{cases} ((1-p)/(2-p), p/(2-p), \\ (1-p)/(2-p)), & \text{если } 0 < p \leq 0,5, \\ ((1-p)/(p+1), \\ p/(p+1), p/(p+1)), & \text{если } 0,5 \leq p < 1. \end{cases}$$

Единственность оптимальной стратегии защиты для данного  $A$ -кода позволяет полностью описать множество оптимальных стратегий нападения. В самом деле, любая оптимальная стратегия нападения  $\vec{y} = (y_1, \dots, y_8)$  удовлетворяет условию

$$\vec{P}^{(0)}(E) \cdot \vec{Y}_A \cdot \vec{y}^T = v_n,$$

откуда при  $p \leq 0,5$  получаем уравнение

$$\begin{aligned} ((1-p)/(2-p), p/(2-p), (1-p)/(2-p)) \times \\ \times \vec{Y}_A \cdot \vec{y}^T = (1-p^2)/(2-p), \end{aligned}$$

а при  $p > 0,5$  – уравнение

$$\begin{aligned} ((1-p)/(p+1), 1/(p+1), 1/(p+1)) \times \\ \times \vec{Y}_A \cdot \vec{y}^T = p(2-p)/(p+1). \end{aligned}$$

Пользуясь видом матрицы (1), получаем эквивалентные выражения:

$$\begin{aligned} ((1-p+p^2)/(2-p)) (y_1+y_3+y_5+y_7) + \\ + ((1-p^2)/(2-p)) (y_2+y_4+y_6+y_8) = (1-p^2)/(2-p), \\ (p(2-p)/(p+1)) (y_1+y_2+y_5+y_6) + \\ + ((1-p+p^2)/(p+1)) (y_3+y_4+y_7+y_8) = p(2-p)/(p+1), \end{aligned}$$

Отсюда следует, что при  $p \leq 0,5$  множество оптимальных стратегий нападения совпадает с множеством решений уравнения  $y_2+y_4+y_6+y_8=1$ , а при  $p > 0,5$  – с множеством решений уравнения  $y_1+y_2+y_5+y_6=1$ .

Для данного  $A$ -кода значение комбинированной игры  $v_G$  совпадает со значением  $v_n$ . В этом нетрудно убедиться, заметив, что в матрице игры  $(X_A \vec{Y}_A)$  столбцы подматрицы  $X_A$  доминируются столбцами подматрицы  $\vec{Y}_A$ .

В заключение отметим, что точное вычисление вероятности успеха подмены для  $A$ -кода является весьма сложной задачей, которую удастся решить лишь в отдельных случаях: либо когда матрица кодирования имеет небольшие размеры, как в рассмотренном здесь примере, либо когда матрица кодирования имеет специфический вид. В общем случае речь идет о матрице  $\vec{Y}_A$ , имеющей размеры  $|E| \times (|M|-1)^{|M|}$  и состоящей из элементов  $0, p, 1-p, 1$ . Легко проверить, что  $\vec{Y}_A$  содержит ровно  $|E| \times (|M|-1)^{|M|-2}$  элементов  $1$ ,  $|E| \times (|M|-2)^2 (|M|-1)^{|M|-2}$  элементов  $0$ ,  $|E| \times (|M|-2) (|M|-1)^{|M|-2}$  элементов  $p$ , и столько же элементов  $1-p$ .

### Библиографический список

1. Зубов, А.Ю. К теоретико-игровому подходу исследования кодов аутентификации / А.Ю. Зубов. – М.: Дискретная математика, 2008.
2. Зубов, А.Ю. Математика кодов аутентификации / А.Ю. Зубов. – М.: Гелиос АРВ, 2007.
3. Петросян, Л.А. Теория игр / Л.А. Петросян, Н.А. Зенкевич, Е.А. Семина. – М.: Высшая школа, 1998.
4. Simmons G.J. A game theoretical model of digital message authentication. Congressus Numerantium, Vol. 34 (1982), pp. 413–424.
5. Simmons G.J. Authentication theory / Coding theory. Crypto'84. Lecture Notes in Computer Science Vol.196 (1985), pp. 411–432.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЙТИНГОВЫХ ОЦЕНОК ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.М. ПОЛЕЩУК, *проф. каф. высшей математики МГУЛ, д-р техн. наук,*  
Е.Г. КОМАРОВ, *зав. каф. ЭМТ МГУЛ, канд. техн. наук*

*komarov@mgul.ac.ru*

Основная проблема при построении рейтинговых оценок объектов, как известно, состоит в том, что для оценивания состояний объектов используются разнородные характеристики, одни из которых качественные (нечисловые), а другие количественные (числовые). Многие качественные характеристики описываются с помощью вербальных шкал, элементами которых являются слова естественного языка. Это приводит к тому, что исходная информация о состояниях объектов содержит много нечетких данных, которые могут возникать в результате процесса искусственного размывания четких данных. Этот процесс имеет место, например, при использовании вербальных шкал для описания физических значений количественных характеристик. Например, в [1] для описания параметра «давление пара на входе» (с областью изменения [1,1, 6,7]) изделие «подогреватель высокого давления», которое предназначается для повышения КПД турбоустановки, используется вербальная шкала с уровнями «малое давление пара», «давление близкое к 4», «большое давление пара». Другим примером является вербальная шкала для описания вероятностей наступления события. Как известно, вероятность события выражается обычной числовой величиной и изменяется от нуля до единицы. Однако когда речь идет, например, о вероятности банкротства предприятия, то руководителя этого предприятия интересует не конкретное число, которое для него, скорее всего, мало информативно, а определение одного из вербальных уровней вероятности банкротства: «очень малая», «малая», «средняя», «высокая», «очень высокая».

Если известна область определения (универсальное множество) количественной характеристики и уровни вербальной шкалы, то эксперт разбивает эту область на непере-секающиеся множества, которые соответс-

твуют вербальным уровням. Однако при таком подходе есть существенный недостаток, состоящий в том, что при описании объектов с пограничными значениями показателя эксперт испытывает трудности в связи со скачкообразным переходом от одного значения к другому.

Устранить этот недостаток позволяет аппарат теории нечетких множеств. С позиции этого аппарата вербальным уровням количественной характеристики в соответствие ставятся не четкие интервалы значений, а нечеткие множества. Полученная при этом вербально-нечеткая шкала получила название *лингвистической* шкалы [2–3], применяемой для описания количественных характеристик. В результате таких построений количественная характеристика, с одной стороны, имеет физические значения, измеренные техническим прибором, и, с другой стороны, имеет лингвистические значения, измеренные экспертом. Каждое физическое значение принадлежит некоторому лингвистическому значению с определенной степенью уверенности в этом эксперта.

Будем предполагать, что оценивание качественной характеристики  $X$  осуществляется в рамках вербальной шкалы с уровнями  $X_l, l=1, m, m \geq 2$ , упорядоченными по возрастанию интенсивности проявления. В качестве формализаций уровней  $X_l, l=1, m, m \geq 2$  будут использоваться нечеткие переменные, составляющие в совокупности полное ортогональное семантическое пространство [4].

*Нечеткой переменной* называется тройка

$$\{X, U, \tilde{A}\},$$

где  $X$  – название переменной;

$U$  – область ее определения (универсальное множество);

$\tilde{A}$  – нечеткое множество универсального множества, описывающее возможные значения нечеткой переменной.

Лингвистической переменной называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где  $X$  – название переменной;

$T(X) = \{X_i, i=1, m\}$  – терм-множество переменной  $X$ , то есть множество термов или названий лингвистических значений переменной  $X$  (каждое из этих значений – нечеткая переменная со значениями из универсального множества  $U$ );

$V$  – синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной  $X$ ;

$S$  – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из  $T(X)$  нечеткое подмножество универсального множества  $U$ .

Семантическим пространством называется лингвистическая переменная с фиксированным терм-множеством  $\{X, T(X), U, S\}$ .

Полным ортогональным семантическим пространством (ПОСП) называется семантическое пространство, функции принадлежности термов которого  $\mu_l(x), l=1, m$  удовлетворяют следующим требованиям:

1. Для каждого понятия  $X_l, l=1, m$  существует  $\hat{U}_l \neq \emptyset$ , где  $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$  есть точка или отрезок.

2. Пусть  $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$ , тогда  $\mu_l(x), l=1, m$  не убывает слева от  $\hat{U}_l$  и не возрастает справа от  $\hat{U}_l$ .

3.  $\mu_l(x), l=1, m$  имеют не более двух точек разрыва первого рода.

4. Для каждого  $x \in U \sum_{l=1}^m \mu_l(x) = 1$ .

Рассмотрим данные, полученные в результате оценивания качественной характеристики  $X$  у некоторой совокупности объектов. Уровни используемой вербальной шкалы однозначно задают терм-множество ПОСП –  $T(X) = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ . В качестве универсального множества ПОСП с названием  $X$  выбирается  $U = [0, 1]$ . Точка  $x = 0$  соответствует полному отсутствию проявления качественной характеристики  $X$ , и поэтому считается типичной точкой терма  $X_1$ , точка  $x = 1$  соответствует полному присутствию проявления качественной характеристики  $X$ , и поэтому считается типичной точкой терма  $X_m$ .

В качестве нечетких чисел, формализующих термы ПОСП, предлагается использовать треугольные числа и числа  $T$ -типа ( $T$ -числа) [4]. Их функции принадлежности будут построены таким образом, чтобы ограниченные ими и осью абсцисс площади треугольников или трапеций равнялись  $a_l, l=1, m$  (аналог геометрических вероятностей).

Обозначим  $\min(a_1, a_2)$  через  $b_1$ ,  $\min(a_{l-1}, a_l, a_{l+1}), l=2, m-2$  через  $b_l, l=2, m-2$ , а  $\min(a_{m-1}, a_m)$  через  $b_{m-1}$ . Тогда

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a_1 - (b_1/2) \\ 1 - \frac{x - (a_1 - (b_1/2))}{b_1}, & a_1 - \frac{b_1}{2} < x \leq a_1 + \frac{b_1}{2} \\ 0, & a_1 + (b_1/2) < x \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_l(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \sum_{i=1}^{l-1} a_i - \frac{b_{l-1}}{2} \\ 1 + \frac{x - (\sum_{i=1}^{l-1} a_i + \frac{b_{l-1}}{2})}{b_{l-1}}, & \sum_{i=1}^{l-1} a_i - \frac{b_{l-1}}{2} < x \leq \sum_{i=1}^{l-1} a_i + \frac{b_{l-1}}{2} \\ 1 - \frac{x - \sum_{i=1}^{l-1} a_i + \frac{b_{l-1}}{2}}{b_{l-1}}, & \sum_{i=1}^{l-1} a_i + \frac{b_{l-1}}{2} < x \leq \sum_{i=1}^l a_i - \frac{b_l}{2} \\ 1 - \frac{x - (\sum_{i=1}^l a_i - \frac{b_l}{2})}{b_l}, & \sum_{i=1}^l a_i - \frac{b_l}{2} < x \leq \sum_{i=1}^l a_i + \frac{b_l}{2} \\ 0, & \sum_{i=1}^l a_i + \frac{b_l}{2} < x \leq 1 \end{cases},$$

$$l = 2, m-2,$$

$$\mu_{m-1}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \sum_{i=1}^{m-2} a_i - \frac{b_{m-2}}{2} \\ 1 + \frac{x - (\sum_{i=1}^{m-2} a_i + \frac{b_{m-2}}{2})}{b_{m-2}}, & \sum_{i=1}^{m-2} a_i - \frac{b_{m-2}}{2} < x \leq \sum_{i=1}^{m-2} a_i + \frac{b_{m-2}}{2} \\ 1 - \frac{x - \sum_{i=1}^{m-2} a_i + \frac{b_{m-2}}{2}}{b_{m-2}}, & \sum_{i=1}^{m-2} a_i + \frac{b_{m-2}}{2} < x \leq 1 - a_m - \frac{b_{m-1}}{2} \\ 1 - \frac{x - (1 - a_m - \frac{b_{m-1}}{2})}{b_{m-1}}, & 1 - a_m - \frac{b_{m-1}}{2} < x \leq 1 - a_m + \frac{b_{m-1}}{2} \\ 0, & 1 - a_m + (b_{m-1}/2) < x \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_m(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 1 - a_m - (b_{m-1}/2) \\ 1 + \frac{x - (1 - a_m + \frac{b_{m-1}}{2})}{b_{m-1}}, & 1 - a_m - \frac{b_{m-1}}{2} < x \leq 1 - a_m + \frac{b_{m-1}}{2} \\ 1, & 1 - a_m + (b_{m-1}/2) < x \leq 1 \end{cases}$$

Подобное представление элементов шкал, используемых для оценивания качественных характеристик объектов, позволяет привести все данные к единому виду незави-

симо от того, какие шкалы были использованы для их оценивания.

Рассмотрим совокупность  $N$  объектов, у которых оцениваются количественные характеристики  $X_j, j=1, l$  и интенсивности проявления качественных характеристик  $X_v, v=l+1, k$ . В совокупности оцениваемые характеристики оказывают существенное влияние на характеристику  $Y$  – успешность функционирования объектов, которая оценивается в рамках вышеприведенной шкалы. Областями значений количественных характеристик  $X_j, j=1, l$  могут являться несчетные множества точек действительной прямой –  $R_j, j=1, l$ .

Построим на  $R_j, j=1, l$  ПОСП с названиями  $X_j, j=1, l$ , термами «очень малое значение характеристики  $X_j$ », «малое значение характеристики  $X_j$ », «среднее значение характеристики  $X_j$ », «большое значение характеристики  $X_j$ », «очень большое значение характеристики  $X_j$ » и функциями принадлежности  $\mu_{ij}(x), i=1, 5, j=1, l$ .

Обозначим через  $x_j^n, n=1, N, j=1, l$  значения характеристик  $X_j, j=1, l$  у  $n$ -го объекта,  $n=1, N$ , а через  $\mu_{ij}(x_j^n), i=1, 5, j=1, l, n=1, N$  степени принадлежности этих значений к термам ПОСП с названием  $X_j, j=1, l$ .

Пусть  $X_v, l=1, m_v$  – уровни вербальных шкал, применяемых для оценивания соответственно характеристик  $X_v, v=l+1, k$ . Уровни расположены в порядке возрастания интенсивности проявления этих характеристик. Построим  $k-l$  ПОСП с названиями  $X_v, v=l+1, k$ , терм-множествами соответственно  $X_{lv}, l=1, m_v, v=l+1, k$  и функциями принадлежности  $\mu_{lv}(x), l=1, m_v, v=l+1, k$ . В качестве универсальных множеств ПОСП выбирается  $U = [0, 1]$ . Будем называть оценками объектов нечеткие числа  $\tilde{X}_{lv}, l=1, m_v, v=l+1, k$  или их функции принадлежности  $\mu_{lv}(x), l=1, m_v, v=l+1, k$ . Обозначим через  $\tilde{X}_v^n$  и  $\mu_v^n(x) \equiv (a_{v1}^n, a_{v2}^n, a_{vL}^n, a_{vR}^n), n=1, N, v=l+1, k$ , оценку  $n$ -го объекта в рамках характеристики  $X_v, v=l+1, k$ . Нечеткое число  $\tilde{X}_v^n$  с функцией принадлежности  $\mu_v^n(x)$  равно одному из нечетких чисел  $\tilde{X}_{lv}, l=1, m_v, v=l+1, k$ .

Дефаззифицируем  $\tilde{X}_v^n, n=1, N, v=l+1, k$  по методу центра тяжести и обозначим полученные числа через  $x_v^n, n=1, N, v=l+1, k$ , а степени их принадлежности к термам ПОСП

с названием  $Y$  (к нечетким числам  $\tilde{Y}_i, i=1, 5$  с функциями принадлежности  $\mu_i(x)$ ) через  $\mu_i(x_v^n), n=1, N, v=l+1, k, i=1, 5$ .

Обозначим через  $\omega_j, j=1, k, \sum_{j=1}^k \omega_j = 1$  весовые коэффициенты оцениваемых характеристик, а через  $\delta_j, j=1, k$  функцию, которая принимает значение 1, если рост характеристики  $X_j, j=1, k$  сопровождается ростом  $Y$ , и -1, если рост характеристики  $X_j, j=1, k$  сопровождается уменьшением  $Y$ .

Вычислим следующие коэффициенты

$$\lambda_i^n = \frac{\sum_{j=1}^l \omega_j \delta_j \mu_{ij}(x_j^n) + \sum_{v=l+1}^k \omega_v \delta_v \mu_i(x_v^n)}{\sum_{j=1}^k \omega_j \delta_j}, i=1, 5, n=1, N.$$

Нечеткая рейтинговая оценка  $n$ -го объекта,  $n=1, N$  в рамках характеристик  $X_j, j=1, k$  определяется в виде нечеткого числа

$$\tilde{A}_n = \lambda_1^n \otimes \tilde{Y}_1 \oplus \dots \oplus \lambda_5^n \otimes \tilde{Y}_5.$$

с функцией принадлежности

$$\mu_n(x) \equiv (\sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{i1}, \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{i2}, \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{iL}, \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{iR}), n=1, N,$$

где  $\tilde{Y}_i \equiv (a_{i1}, a_{i2}, a_{iL}, a_{iR}), i=1, 5$

Определим доверительный интервал для четкой рейтинговой оценки  $y_n$ . При уровне доверия  $\mu(y_n) \geq \alpha, 0 < \alpha \leq 1$  рейтинговая оценка  $y_n$   $n$ -го объекта,  $n=1, N$  лежит в интервале

$$\sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{i1} - (1-\alpha) \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{iL} \leq y_n \leq \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{i2} + (1-\alpha) \sum_{i=1}^5 \lambda_i^n a_{iR}.$$

Дефаззифицируем нечеткое число  $\tilde{A}_n, n=1, N$ , по методу центра тяжести, полученное четкое число обозначим через  $A_n, n=1, N$ .

Для распознавания успешности функционирования объектов необходимо идентифицировать нечеткое число с функцией принадлежности  $\mu_n(x), n=1, N$  с одним из термов ПОСП с названием  $Y$  (с одним из нечетких чисел  $\tilde{Y}_i, i=1, 5$  с функциями принадлежности  $\mu_i(x), i=1, 5$ ). Для этого вычислим идентификационные показатели

$$\beta_n^i = \frac{\int_0^1 \min(\mu_i(x), \mu_n(x)) dx}{\int_0^1 \max(\mu_i(x), \mu_n(x)) dx}, i=1, 5, n=1, N.$$

Если  $\beta_n^p = \max \beta_n^i$ , то состояние  $n$ -го объекта определяется  $p$ -м уровнем шкалы  $Y_1 =$  «предельно неуспешно»,  $Y_2 =$  «неуспешно»,  $Y_3 =$  «средне успешно»,  $Y_4 =$  «относительно успешно»,  $Y_5 =$  «предельно успешно»,  $p=1, 5$ .

Обозначим соответственно через  $A_n^1$ ,  $A_n^2$  рейтинговые оценки  $n$ -го объекта за периоды 1 и 2. В зависимости от соотношений между  $A_n^1$ ,  $A_n^2$  делаются следующие выводы: если  $A_n^1 > A_n^2$ , то состояние  $n$ -го объекта ухудшилось; если  $A_n^1 < A_n^2$ , то состояние  $n$ -го объекта улучшилось; если  $A_n^1 = A_n^2$ , то состояние  $n$ -го объекта не изменилось.

### Библиографический список

1. Малышев, Н.Г. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР / Н.Г. Малышев, Л.С. Берштейн, А.В. Боженок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
2. Домрачев, В.Г. Определение оптимального множества значений лингвистических шкал для экспертного оценивания качества программных

средств / В.Г. Домрачев, О.М. Полещук, И.В. Ретинская // Телематика. Труды Всероссийской научно-методической конференции. – СПб., 2003. – Т.1. – С. 255–257.

3. Рыжов, А.П. Степень нечеткости лингвистической шкалы и ее свойства. Нечеткие системы поддержки принятия решений / А.П. Рыжов, А.Н. Аверкина и др. – Калинин.: Изд-во Калининского государственного университета, 1988. – С. 82–92.
4. Полещук, О.М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности терм-множеств полных ортогональных семантических пространств / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2002. – № 5(25). – С. 198–216.
5. Домрачев, В.Г. О построении регрессионной модели при нечетких исходных данных / В.Г. Домрачев, О.М. Полещук // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11. – С. 74–83.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ БИОРЕЗОНАНСОВ ВО ФРАКТАЛЬНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

А.С. НОВИКОВ, доц. каф. электронных вычислительных машин Тульского ГУ, канд. техн. наук,  
 А.А. ЯШИН, проф. каф. медико-биологических дисциплин Тульского ГУ, д-р техн. наук,  
 С.А. ЯШИН, доц. каф. медико-биологических дисциплин Тульского ГУ, канд. техн. наук

*alsnovikov@yandex.ru*

Технические (биотехнические) аспекты резонансных эффектов во фрактальных растительных средах в настоящее время наиболее активно исследуются в радиолокации [1, 2]. Рассмотрим явление ослабления (затухания) мощности электромагнитного излучения (ЭМИ) (диапазон ультракрасных волн) в лесном массиве. На рис. 1 приведена общая схема проведенного эксперимента.

Модель данного эксперимента можно построить для случая дискретной случайно-неоднородной среды, где электрическое поле  $\vec{E}$  изменяется в зависимости от расстояния распространения электромагнитного возмущения (ЭМВ) как

$$\vec{E}(\vec{R}) = \vec{E}_0(\vec{R}) + \sum_{i=1}^N k_0^2 \int_v [\varepsilon(\vec{R}_i) - 1] \vec{E}_i(\vec{R}_i) \psi(\vec{R}, \vec{R}_i) d\vec{R}_i, \quad (1)$$

где индекс  $i$  означает, что данная величина относится к  $i$ -му рассеивателю;  $N$  – общее число рассеивателей;  $\vec{E}_0(\vec{R})$  – падающее поле;  $k_0$  – волновое число в свободном пространстве;  $\varepsilon(\vec{R}_i)$  – случайная диэлектрическая проницаемость;  $\psi(\vec{R}, \vec{R}_i)$  – функция Грина свободного пространства.

Условие же применения модели сплошной среды к реально дискретной среде есть

$$k_0 d |\varepsilon_s - 1| \ll 1. \quad (2)$$

Для листьев  $d \approx 0,2$  мм (толщина листьев большинства сельскохозяйственных культур и деревьев),  $\varepsilon_s \sim 20$

Модель (1–2) является общей, поэтому более объективные результаты, совпадающие с приведенными выше (рис. 2), были получены в экспериментах по схеме, адекватной схеме на рис. 1, но в диапазоне мобильной телефонной связи (частота 1 ГГц-диапазона) (рис. 3).

Пояснения к схеме эксперимента: высота антенны станции сотовой связи  $H_{CC} - \text{const}$ ; однако ввиду  $R \gg H_{CC}$ , величина  $H_{CC}$  на результатах эксперимента не сказывается. Изменение же высоты  $H_n$  положения сотового телефона над подстилающей поверхностью лесного массива производилось перемещением оператора эксперимента в окрестности  $R^{+200...500 \text{ м}}$  с подъемом на высокое место (+ 50...100 м над поверхностью ближнего лесного массива) и опусканием в ложбины (–10...20 м под поверхностью ближнего лесного массива).

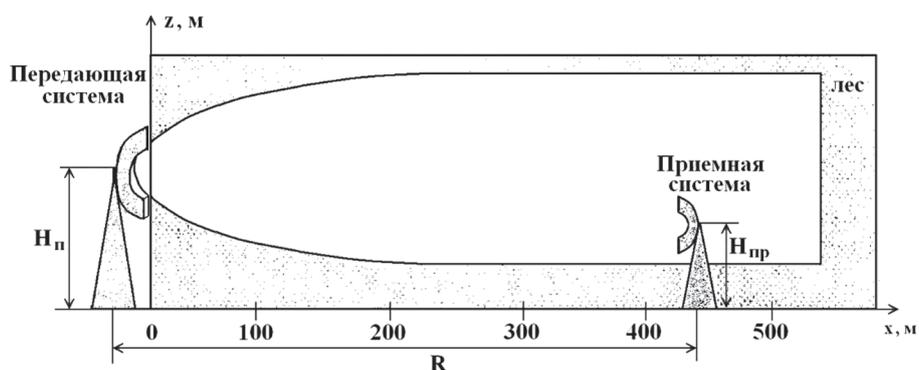


Рис. 1. Общая схема эксперимента по определению величины затухания – потери энергии при распространении ЭМВ в сплошном лесном массиве:  $Z$  – высота излучателя ЭМИ ( $H_n$ );  $H_{гр}$  – высота приемника ЭМИ;  $R$  – расстояние распространения ЭМВ

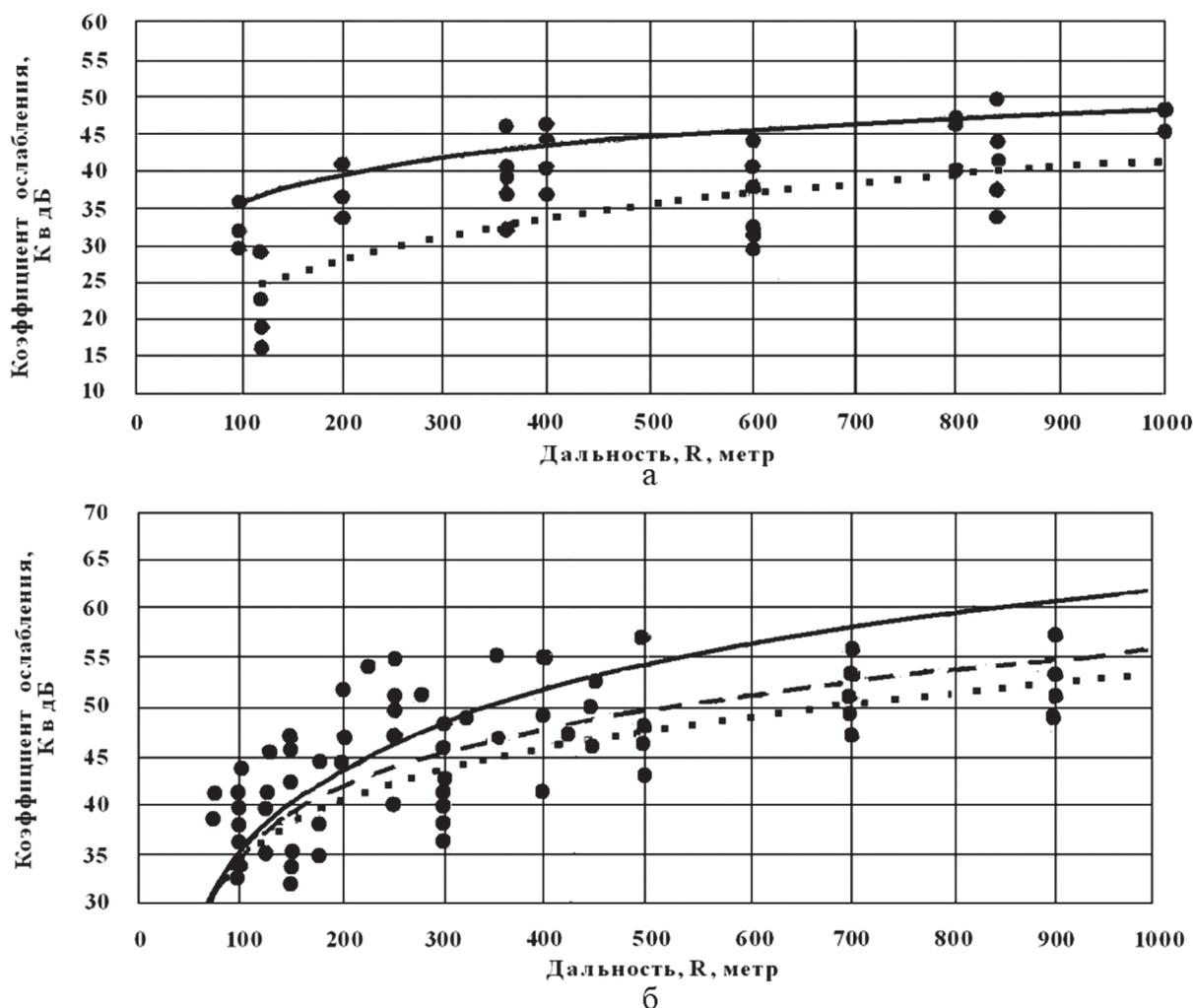


Рис. 2. Экспериментальное исследование ослабления ЭМИ в растительном массиве: с различными видами растений (а) и с различными частотами ЭМИ (б): --- № 1, 150 МГц; — № 2, 235 МГц; — № 3, 440 МГц

В результате проведения эксперимента были получены следующие результаты, относящиеся к фрактальной специфике биорезонансов.

1. Ослабление сигнала (затухание ЭМВ в растительной среде) существенно зависит

от преобладающего вида растений (рис. 2а): наибольшее затухание для хвойного леса, наименьшее – для лиственного леса. Данный факт можно объяснить тем, что крона лиственного дерева имеет более высокий показатель дробной размерности, чем хвойный:  $D_{листв} > D_{хв}$ .

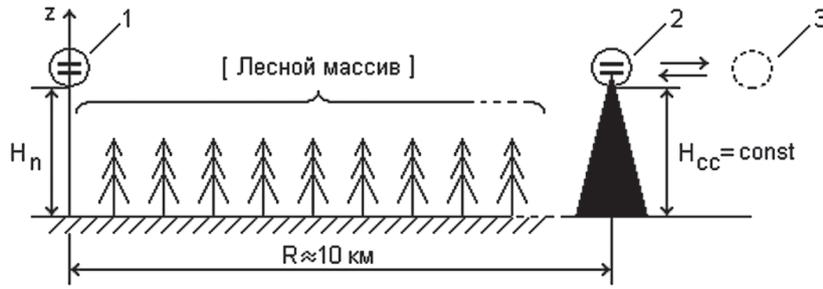


Рис. 3. Схема эксперимента в диапазоне мобильной связи ( $f \leq 1$  ГГц) по выявлению биорезонансных электромагнитных свойств фрактальных растительных сред (1 – сотовый телефон; 2 – ближайшая станция сотовой связи; 3 – мобильный телефон абонента, участвующего в эксперименте)

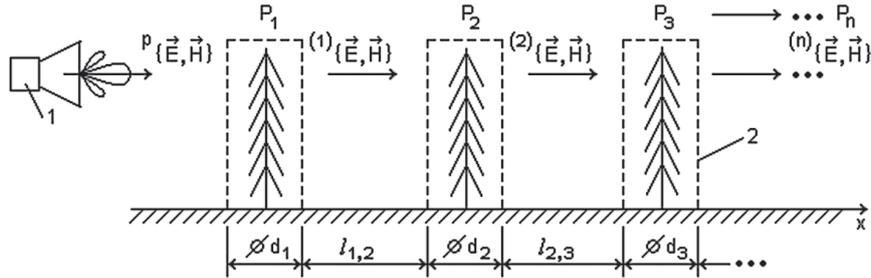


Рис. 4. Резонансная модель («большой фрактал») распространения ЭМВ в лесном массиве:  $\{\vec{E}, \vec{H}\}$  – источник ЭМИ; 1 – генератор ЭМИ; 2 – условный резонатор

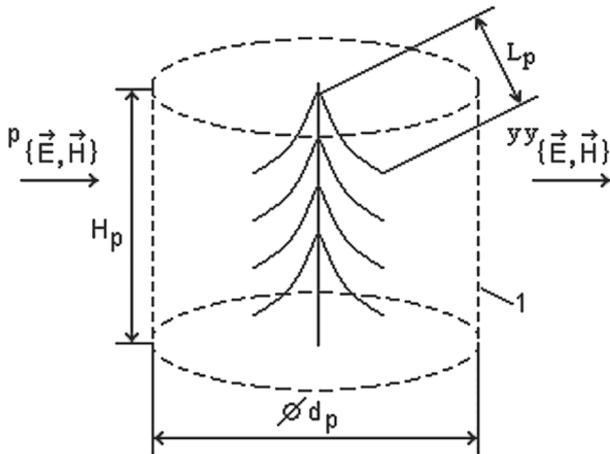


Рис. 5. Резонансная модель («средний фрактал») одиночного растения:  $L_p$  – резонансный размер ветви;  $P\{\vec{E}, \vec{H}\}$  – падающая ЭМВ;  $y^y\{\vec{E}, \vec{H}\}$  – условно усиленная ЭМВ; 1 – условный резонатор

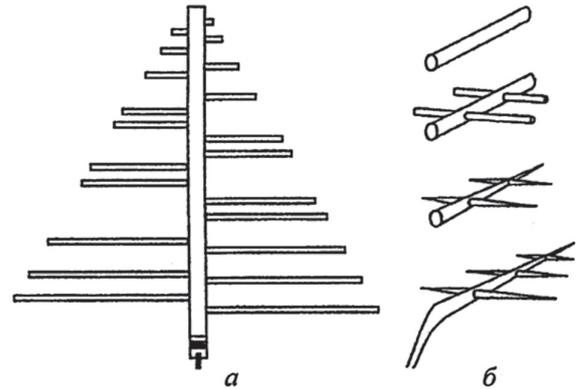


Рис. 6. Резонансная модель («малый фрактал») восприятия растениями внешних электромагнитных полей (ЭМП) и аналогия технических и природных приемных антенн: логарифмически-периодическая телевизионная антенна (а) и модель остовов иглы и листьев растений (б)

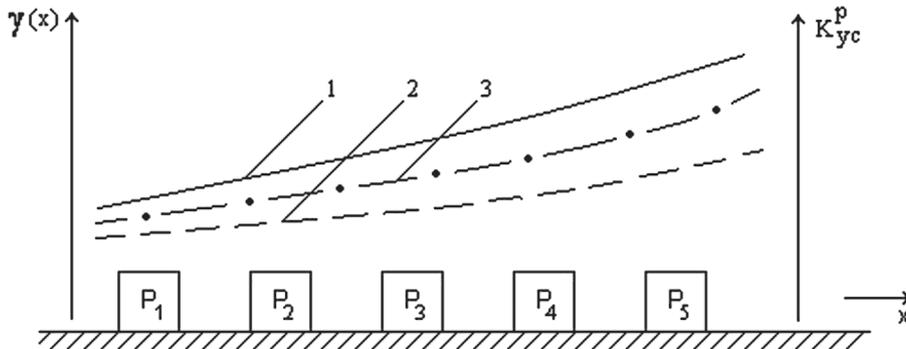


Рис. 7. К эффекту относительного усиления сигнала ЭМИ при прохождении через лесной массив: — — зависимость  $\gamma(x)$  без учета резонансного эффекта; - - - - зависимость  $K_{yc}^p(x)$ ; - · - · - реальная зависимость  $\gamma(x)$

Действительно, строение листа, с позиций фрактальности, более сложное, нежели хвойной иглы или даже хвойной ветки, крона листового дерева также более «фрактально разупорядочена».

2. Ослабление тем меньше, чем более разрежен лесной массив; наименьшее затухание наблюдается в искусственных лесопосадках, где деревья высажены (и выросли) с равномерными интервалами.

3. Обнаружен ранее четко не сформулированный эффект: уменьшение ослабления при переносе сотового телефона с безлесного места в лесное, даже если последнее имеет меньшую высоту  $H_n$  (рис. 3), хотя, по логике рассуждений, результат должен быть обратным.

Примечание: ослабление (затухание) оценивалось по уровню громкости получаемого и ответного (рис. 3) звуковых сигналов – вплоть до невозможности установления связи, поскольку эксперимент проводился в сельской местности в зоне неуверенного приема сотовой связи.

Из полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы.

Фрактальная структура растительности обеспечивает множественное распределение биорезонансов; это видно из сравнения экспериментов по схеме рис. 1 и по схеме рис. 3, где используются частоты ЭМИ, различающиеся на порядок, а в фрактальной радиолокации [1] используются ЭМИ СВЧ- и КВЧ-диапазонов.

В растительных средах следует выделить три группы биорезонансов: «большой», «средний» и «малый» (рис. 4–6), соответствующие большому, среднему и малому фракталам.

В первой группе (рис. 4) с излучаемой ЭМВ с характеристиками

$${}^P \{ \vec{E}, \vec{H} \} = \frac{I_m I_0}{4\pi\epsilon\omega} \cdot \frac{e^{-ikR}}{R} \vec{l}_0 e^{i\omega t}, \quad (3)$$

то есть полем электрического диполя (антенны) в неограниченном пространстве наблюдаем резонанс  $\langle R \rangle$  с последовательной цепочкой резонаторов  $P_1, P_2, \dots, P_n$ . Частота резонанса  $\omega_{\text{рез}}$  определяется обобщенными геометрическими размерами ( $d_i H_i$ , где  $H_i$  – высота растения) и диэлектрической проницаемостью

$\epsilon_{\text{ср}}$  зеленой массы и ствола растения (дерева), то есть

$$\omega_{\text{рез}}^i \sim \langle R \rangle \{ d_i, H_i, \epsilon_{\text{ср}} \}. \quad (4)$$

Соответственно, затухание энергии сигнала  $\gamma_j \sim \{ l_{ij}, d_i, \epsilon_{\text{ср}} \}$  после прохождения ЭМВ очередного резонатора. Исходя из (3, 4) и схемы на рис. 4 имеем противоборствующую ситуацию (рис. 7): с одной стороны, затухание  $\gamma$  увеличивается по мере распространения ЭМВ, а с другой – сигнал усиливается на каждом резонаторе  $P_i$ .

В итоге имеем ослабление сигнала, но не в той степени, как если бы отсутствовал резонаторный эффект. Сказанное и объясняет эффект, который каждый может проверить, находясь в сельской местности: с открытого пространства, даже с холма, мобильная связь не работает или работает неудовлетворительно, но стоит войти в лес, даже спустившись с холма, как связь улучшается. По схеме на рис. 4 деревья являются хорошо известной в электродинамике [3, 4] линией передачи ЭМВ в форме последовательной цепочки резонаторов.

Средний резонатор есть компонент растения, например его отдельная ветвь (рис. 5). Здесь ЭМВ резонирует по ее длине  $L_p$ .

Таким образом, выполненные эксперименты показали:

- фрактальные биоструктуры на макроуровне (растения) обеспечивают множественный биорезонанс;
- на фрактальных структурах на макроуровне происходит усиление ЭМП, так называемый резонаторный эффект.

### Библиографический список

1. Потапов, А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации / А.А. Потапов. – М.: Логос, 2002. – 664 с.
2. Потапов, А.А. Фрактальный анализ в современных задачах радиолокации и радиофизики / А.А. Потапов // Радиотехника. – 2003. – № 8. – С. 55–66.
3. Афромеев, В.И. Биофизика полей и излучений и биоинформатика. Ч. III. Основы физико-биологической и технической реализации управляющих воздействий высокочастотными электромагнитными полями в медицине / В.И. Афромеев, А.А. Хадарцев, А.А. Яшин. – Тула: Изд-во Тульского ГУ, 1999. – 508 с.
4. Вайнштейн, Л.А. Электромагнитные волны / Л.А. Вайнштейн. – 2-е изд. – М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТРАСЛЕВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС

С.И. КОЖУРИН, доц. каф. лесоинженерного дела КГТУ, канд. техн. наук,  
 С.А. УГРЮМОВ, доц. каф. механической технологии древесины КГТУ, канд. техн. наук,  
 Н.С. КУЗНЕЦОВА, ассистент каф. механической технологии волокнистых материалов КГТУ, канд. техн. наук,  
 И.М. ШАПКИНА, асп. каф. лесоинженерного дела КГТУ

*lmdepart@kstu.edu.ru*

Промышленные предприятия являются основным звеном хозяйственного комплекса России, значительную долю которого составляют предприятия лесопромышленного комплекса. Именно от их эффективной деятельности зависит решение множества социально-экономических проблем. Если в период плановой экономики новые производства создавались исходя из государственных планов развития народного хозяйства, организации и укрепления действующих предприятий, то в условиях рыночной экономики этим правом пользуются органы государственной власти, местного самоуправления, физические и юридические лица, общественные организации. Они являются по действующему законодательству не зависимыми друг от друга субъектами и решают аналогичные задачи в области предпринимательской деятельности.

Проблемы проектирования и создания эффективного производства необходимо рассматривать с позиций конструктивной предпринимательской деятельности в промышленной сфере. Основная роль проектирования заключается в разработке экономически выгодного, экологически безопасного и наиболее приемлемого варианта производства в данных условиях. Термин «проект» долгое время мало использовался инженерами и был связан с представлениями о комплекте технической и сметной документации, необходимой для создания новых сооружений или машин, т.е. технических систем. Его роль была хоть и очень важной, но весьма ограниченной, что приводило к значительному объему незавершенного строительства.

В рыночной экономике понятие проекта значительно шире, в него включаются не только документация, но и все, что связано

с его реализацией [1]. Для инвестора наиболее важным является не величина вложенных средств, а скорость получения и величина отдачи от проекта. Согласно действующему законодательству термин «проект» имеет два значения:

- комплект документов, содержащих формулирование цели предстоящей деятельности и определение комплекса действий, направленных на ее достижение – технико-экономическое обоснование (ТЭО);

- комплекс действий (работ, услуг, приобретений, управленческих операций и решений), направленных на достижение сформулированной цели, т.е. документация и деятельность.

Любой проект, независимо от его технических, технологических и других особенностей, требует вложений инвестиций. Иными словами, некий проект (понимаемый в смысле второго определения) всегда порождает инвестиционный проект. В самом общем смысле инвестиционным проектом называется план или программа вложения капитала с целью последующего получения прибыли [2]. Для принятия решения о долгосрочном вложении капитала необходимо располагать информацией, в той или иной степени подтверждающей два основополагающих положения:

- вложенные средства должны быть полностью возмещены;

- прибыль, полученная в результате данной операции, должна быть достаточно велика, чтобы компенсировать временный отказ от использования средств, а также риск, возникающий в силу неопределенности конечного результата.

Следует заметить, что между моментом начала инвестирования и моментом,

когда проект начинает приносить прибыль, присутствует временной лаг (задержка). Временной фактор играет ключевую роль в оценке инвестиционного проекта. В связи с этим целесообразно представить весь цикл развития проекта в виде графика, который, как всякая классификация, носит условный характер (рис.1). Здесь отображены три основные фазы развития проекта: прединвестиционная (начальная инвестиционная), инвестиционная и эксплуатационная. График изображает взаимосвязь представленных фаз с моментом получения дохода от вложенных инвестиций. Суммарная продолжительность этих стадий составляет срок жизни проекта (жизненный цикл проекта, проектный цикл).

Выполняемые в процессе реализации проектов работы, как вышеперечисленные, так и не указанные на рисунке, осуществляются во времени и пространстве. В последовательном развитии любого проекта имеют место определенные закономерности. На схеме показано деление на фазы проектного цикла, принятое во всемирном банке и подразделении ООН – UNIDO. Данный вариант жизненного цикла проекта используется в российской банковской сфере и, следовательно, принимается в инвестиционной деятельности российских лесопромышленных предприятий. Проектные организации рассматривают проектный цикл в части процесса проектирования, который представлен на рис. 2.

Спецификой проектирования предприятий лесопромышленного комплекса является обоснование эффективной эксплуатации лесосырьевой базы на принципах:

- удовлетворения требований инвестора и персонала;
- соответствия запросам рынка;
- возобновления ресурсов, улучшения в перспективе объемных и качественных показателей эксплуатируемых лесных массивов;
- оздоровления экологической обстановки.

Содержательно фазы проектного цикла подразумевают следующее. Прединвестиционная имеет максимальную интенсивность интеллектуальной деятельности по продвижению проекта и, как правило, состоит из

трех стадий: анализ инвестиционных возможностей, предварительные технико-экономические расчеты, детальная оценка проекта – ТЭО.

Следующий отрезок времени отводится под фазу инвестирования, или фазу осуществления, где максимальные темпы освоения инвестиций. Принципиальное отличие этой фазы развития проекта от предыдущей и последующей состоит, с одной стороны, в том, что начинают предприниматься действия, требующие гораздо больших затрат и носящие уже необратимый характер (закупка оборудования или строительство), а с другой стороны, проект еще не в состоянии обеспечить развитие за счет собственных средств.

С момента ввода в действие оборудования, создания или приобретения недвижимости начинается третья стадия развития инвестиционного проекта – эксплуатационная.

Этот период характеризуется началом производства лесной продукции (оказания услуг), соответствующими поступлениями и текущими издержками.

Общим критерием продолжительности срока жизни проекта или периода использования инвестиций является существенность вызываемых ими денежных доходов с точки зрения инвестора. Как правило, устанавливаемые сроки примерно соответствуют сложившимся в данном секторе экономики периодам окупаемости или возвратности долгосрочных вложений. В условиях повышенного инвестиционного риска средняя продолжительность принимаемых к осуществлению проектов, очевидно, будет ниже, чем в стабильной экономической обстановке.

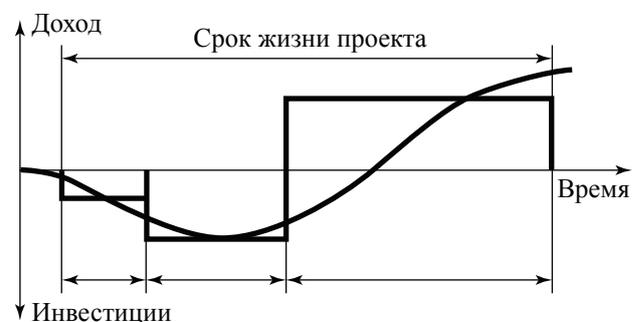


Рис. 1. Графическое представление цикла развития проекта: 1 – прединвестиционная фаза; 2 – инвестиционная фаза; 3 – эксплуатационная фаза

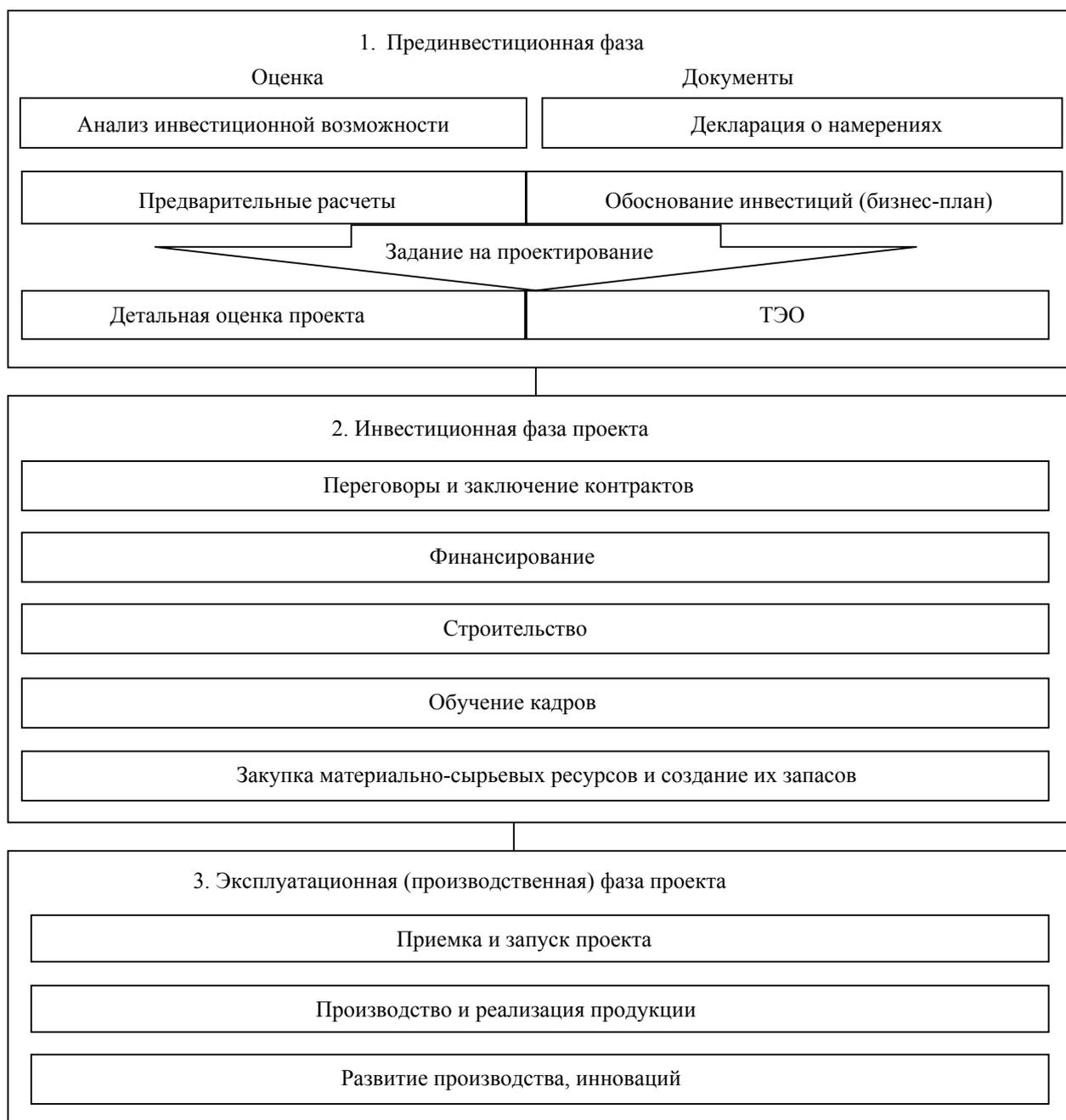


Рис. 2. Схема разработки инвестиционного проекта

В общем случае результаты прединвестиционных исследований должны дать исчерпывающую характеристику инвестиционного проекта с помощью различной глубины проработки исследования. Стоимость проведения прединвестиционных исследований в общей сумме капитальных затрат довольно велика. Она составляет от 0,8 % для крупных проектов до 5 % при небольших объемах инвестиций. Недостаточно или неправильно обоснованный проект будет обречен на серьезные трудности при

реализации, независимо от того, насколько успешно будут предприниматься все последующие действия.

#### Библиографический список

1. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. СНиП 11 – 01 – 95. – 12 с.
2. Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений. СП 11– 101 – 95. – 13 с.

## МЕТОДЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЛЕСНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

И.А. КИСЛУХИНА, доц. каф. менеджмента Югорского ГУ, канд. экон. наук

*irina\_for@mail.ru*

В настоящее время многие российские экономисты, исследуя проблему роли и функций государства в рыночной экономике, сходятся во мнении, что существует необходимость усиления его влияния на происходящие экономические процессы. Опыт экономически развитых стран также свидетельствует о важности государственного участия во всех сферах и секторах экономики. Ни одна из существующих на сегодняшний день моделей экономических систем государства не является полностью либеральной, т.е. саморегулируемой, развитие которой зависело бы только от действия рыночных механизмов.

Как отмечает проф. Э.М. Коротков, «если даже предположить, что рынок – это саморегулируемая система, что может быть верным только при очень жестких условиях, он, тем не менее, никогда не сможет быть самообразующейся системой. В нашей стране сейчас имеется не рынок, на котором господствует чистая и совершенная конкуренция, а иллюзия рынка с процветанием различных мафиозных образований» [1].

Методология государственного регулирования лесной отрасли обусловлена ее специфическими особенностями и проблемами развития. Наиболее острыми проблемами, требующими безотлагательного решения, являются:

1) слабая законодательная база, регулирующая правовые отношения в лесной отрасли;

2) правовая и экономическая обособленность лесной промышленности и лесного хозяйства;

3) низкий уровень корпоративной интеграции производственных предприятий в отрасли;

4) значительная степень износа техники и оборудования, устаревшие производственные технологии;

5) отток квалифицированных кадров, обусловленный низким уровнем заработной платы и недостаточной мотивацией труда;

6) высокий уровень криминализации отрасли, в том числе несанкционированные рубки и нелегальный товарооборот древесной продукции.

Проблема законодательного обеспечения лесного сектора экономики является одной из наиболее актуальных, требующих первостепенного внимания государства. Система законодательства лесной отрасли представлена Лесным кодексом РФ [2], федеральными законами, постановлениями и распоряжениями Правительства РФ, приказами и постановлениями органов исполнительной власти, осуществляющих определенные функции в области лесных отношений.

Современная законодательная база, регулирующая правовые отношения в лесной отрасли, по мнению многих ученых, является довольно слабой, содержащей множество неурегулированных вопросов и противоречий. Так, вступивший в силу в 2007 г. новый Лесной кодекс, проф. Н.А. Моисеев назвал «образцом неолиберального толка», подтверждающим, что «лесные законы принимаются отнюдь не благодаря научному обоснованию и передовому опыту или даже здравому смыслу, а только по принципу, кто в данный момент силен» [3]. Н.А. Моисеев выделяет целый ряд проблем развития лесной отрасли, связанных с введением нового Лесного кодекса, среди которых:

– не прямое, во многом опосредованное действие норм кодекса, требующее разработки «полсотни подзаконных актов, причем в короткий срок»;

– подмена понятия леса как объекта лесных отношений понятием земельных участков как объекта земельных отношений, а также исключение из категории недвижимости в гражданском кодексе понятия «лес и многолетние насаждения»;

– регулирование имущественных отношений, связанных с оборотом лесных участков и лесных насаждений гражданским и зе-

мельным законодательством, а не лесным, что «облегчает перевод участков лесного фонда в другие виды землепользования, а затем и в другие виды собственности»;

– передача федеральных лесов в управление и пользование субъектам РФ и фактическое возложение на губернаторов ответственности за разработку стратегии развития лесного сектора экономики и формирование национальной лесной политики.

Правовая и экономическая обособленность лесной промышленности и лесного хозяйства также является серьезной проблемой развития лесного сектора экономики, препятствующей формированию единой отраслевой политики государства, разработке стратегических планов и масштабных долгосрочных проектов, объединяющих мероприятия по эксплуатации леса и лесовосстановлению. «Во всем мире лесной сектор национальных экономик является оптимальной средой для интеграции технологически связанных отраслей и производств, начиная от выращивания леса и лесовосстановления и заканчивая глубокой переработкой древесины. В России с начала советского периода и до настоящего времени эта единая и взаимосвязанная система искусственно разделена на две сферы деятельности – лесное хозяйство и лесную промышленность. Естественно, и стратегическое планирование развития этих взаимосвязанных звеньев единого организма осуществлялось и до сих пор осуществляется по отдельности» (Н.Б. Пинягина) [4]. Так, в 2002 г. были утверждены две обособленные программы развития лесного сектора экономики: «Концепция развития лесного хозяйства на 2003–2010 гг.», в которой ничего не говорится о путях и способах взаимодействия с лесопромышленными предприятиями, а также о развитии лесного рынка в России, и «Основные направления развития лесной промышленности», принятые на период до 2015 г., где не рассматриваются проблемы лесовосстановления.

Анализ структуры и содержания этих документов выявляет их рамочный характер, что не позволяет рассматривать их в качестве программных документов, они лишь обозначают основные направления развития лесной промышленности и лесного хозяйства и «не

тянут даже на эскиз программы государственной лесной политики» [4].

В настоящее время лесопромышленный комплекс России более чем на 90 % представлен мелкими предприятиями (с объемом лесозаготовок до 50 тыс. м<sup>3</sup>/год), половина из которых является убыточными, а вторая половина не обладает достаточной платежеспособностью, чтобы нести бремя затрат на лесовосстановление, строить лесные дороги и тем более организовывать глубокую переработку древесины, без которой сегодня невозможно обеспечить рентабельность лесопромышленного производства. Вместе с тем, статья 62 нового Лесного кодекса обязывает арендаторов лесных участков (лесозаготовительные предприятия) осуществлять на этих участках лесовосстановление. Кроме того, для малых предприятий может оказаться проблематичной и сама аренда лесных участков, которая осуществляется только на длительный срок (от десяти до сорока девяти лет), а договор аренды лесного участка заключается по результатам аукциона, выиграть который в условиях конкуренции небольшим хозяйствующим субъектам довольно непросто [2].

Выходом из сложившейся ситуации может стать интеграция производственных предприятий лесной отрасли. Объединение малых и средних предприятий в крупные производственно-хозяйственные структуры – холдинги, финансово-промышленные группы или ассоциации, а также интеграция небольших предприятий с крупным бизнесом позволит решить проблему повышения их конкурентоспособности, финансовой устойчивости и эффективности лесопромышленного производства.

О необходимости усиления интеграционных процессов в лесном секторе экономики сегодня говорят все больше ученых и специалистов. В малолесных регионах, где отсутствуют крупные корпорации, малые и средние производители по заготовке, обработке и переработке древесины должны объединиться между собой в ассоциации. Для многолесных регионов желательна кооперация малого и среднего бизнеса с крупными лесными корпорациями на основе договоров и инвестиционных соглашений [5].

Препятствует развитию лесной отрасли и неудовлетворительное технологическое состояние предприятий, а также отток квалифицированных кадров. По оценкам российских аналитиков, удельный вес технологического оборудования, используемого лесопромышленными предприятиями со сроком эксплуатации более нормативного, составляет 70 %. Средний возраст основного технологического оборудования – 20–35 лет, физический износ оборудования превышает 70–80 %. Отечественная машиностроительная база по изготовлению технологического оборудования, запасных частей и быстроизнашивающихся деталей практически отсутствует. Уровень оплаты труда на предприятиях лесной отрасли ниже среднего уровня по России [5].

В целях преодоления кризисных процессов в лесной отрасли и повышения эффективной деятельности предприятий применялись следующие методы государственного регулирования:

- принятие федеральных программ и национальных проектов развития отрасли;

- приватизация нерентабельных государственных и муниципальных предприятий, осуществляемая в соответствии с Федеральным законом «О приватизации государственного и муниципального имущества» и планом приватизации предприятий лесной отрасли на текущий год, включенным в состав единой программы приватизации;

- реструктуризация предприятий и финансовой задолженности в бюджеты всех уровней, проводимая в соответствии с «Методическими рекомендациями по реформе предприятий (организаций)», постановлением Правительства РФ от 3 сентября 1999 г. № 1002 и текущими программами реструктуризации лесопромышленного комплекса.

- финансовая поддержка предприятий начиная с 1993 г. основывалась на выделении бюджетных ссуд для создания межсезонных запасов древесины, пополнения оборотных средств, строительства и технического перевооружения предприятий и финансирования отраслевой науки.

Инвестиционную политику РФ, осуществляемую на рубеже веков, российские ученые Е.В. Милякина и З.Н. Магомедов

называют «неудачными попытками стимулирования развития ЛПК, обусловленными общественно-политической и социально-экономической ситуацией в стране» и отмечают, что федеральным бюджетом 1998–2000 гг. предусматривалось выделение бюджетных ссуд на сумму 1600 млн руб., но фактически предприятиями отрасли было получено 95 млн руб. [6]. Утвержденная Правительством РФ «Федеральная целевая программа развития лесопромышленного комплекса Российской Федерации» на период 1995–2005 гг., предусматривающая реализацию комплекса мер по обеспечению выхода отрасли из кризиса, была приостановлена в 2002 г. и исключена из перечня финансируемых. Несмотря на то, что размер ежегодных инвестиций в лесопромышленный комплекс с 2000 г. по 2005 г. вырос вдвое (с 553 до 1101 млн долл. США), их объем, по оценкам российских экономистов, в два раза меньше необходимого для коренной модернизации лесного сектора экономики.

В июне 2007 г. было принято постановление Правительства РФ «О приоритетных инвестиционных проектах в области освоения лесов», которое определило порядок подготовки и формирования перечня таких проектов. По словам В. Зубкова, в настоящее время в рамках указанного постановления рассматриваются 76 инвестиционных проектов.

На заседании Совета по развитию лесопромышленного комплекса, посвященного проблемам разработки концепции стратегии развития лесной отрасли до 2020 г., В. Зубков отметил, что «необходимость формирования лесной политики назрела давно. Учитывая многопрофильность лесной отрасли, подход к ее дальнейшему развитию должен быть комплексным. Отрывать лесопромышленный комплекс от лесного хозяйства нельзя. Нам необходима внятная государственная стратегия действий, долгосрочное планирование развития всего лесного комплекса как единого организма. В том числе – в вопросах территориального размещения мощностей, технического перевооружения, сохранения и восстановления лесов» [10]. Председатель совета директоров группы «Илим» представил вариант концепции стратегии развития лесной отрасли, в котором был дан прогноз

результатов реализации стратегии. Так, выручка от реализации продукции ЛПК может вырасти с 20 млрд долл. до 51 млрд, объем налоговых поступлений увеличится в три раза – до 9,9 млрд долл., как и объемы производства бумаги и картона – до 22 млн т. Для реализации этой стратегии, по оценкам ее разработчиков, потребуются инвестиции в размере 44 млрд долл.

Серьезной проблемой развития лесной отрасли является высокий уровень криминализации. По оценкам экспертов, в судебной практике преобладают уголовные дела, связанные с незаконной порубкой леса (ст. 260 УК РФ) [7]. Наряду с ними совершаются должностные преступления, квалифицируемые Уголовным кодексом как «Получение взятки», «Злоупотребление должностными полномочиями», «Превышение должностных полномочий», «Служебный подлог». Как отмечено в [6], «низкий жизненный уровень обитателей российской глубинки, составляющих трудовые ресурсы лесной отрасли, в сочетании с развалом экономики лесных регионов фактически лишили основную массу населения легальных источников заработка. Потеря управляемости и отсутствие действенного механизма надзора со стороны заинтересованных структур создали условия для роста теневого сектора в ЛПК. Поэтому в структуре преступлений в лесопромышленном комплексе преобладают преступления против собственности».

Проблемы нелегальных рубок и незаконной торговли лесоматериалами в настоящее время привлекают все больше внимания различных российских и международных организаций. В 2002–2005 гг. в Европе и Азии различными международными организациями были проведены несколько совещаний, посвященных данной проблеме. По оценкам Комитета по лесоматериалам ЕЭК ООН, на незаконно заготавливаемую древесину приходится 8–10 % мирового производства лесобумажной продукции и приблизительно такая же доля мирового объема торговли лесными товарами, в связи с чем ежегодные экономические потери стран составляют почти 15 млрд долл. США. По расчетам ОАО «НИПИЭИЛеспром», доля нелегальных рубок по

регионам России колеблется от 3 до 15 % и зависит в основном от спроса на круглый лес и близости недобросовестных зарубежных импортеров.

Проф. Н.А. Бурдин в качестве методов борьбы с незаконными рубками и незаконной торговлей лесоматериалами предлагает применение таких методов, как введение системы подтверждения происхождения лесного товара с использованием лицензий и маркировок; международное сотрудничество и координация торговой статистики, а также обмен информацией по незаконным рубкам и незаконной торговле. Предложение Минпромэнерго РФ о замене экспортных пошлин на вывоз круглого леса аукционами по продаже экспортных квот в целях усиления государственного контроля товарооборота древесины было отклонено премьер-министром М. Фрадковым, поскольку такая мера, по его мнению, «приведет к хищнической вырубке леса» [8]. Эту мысль поддержал председатель Лесного комитета Торгово-промышленной палаты А. Беляков: «...в идеальном государстве, где коррупция контролируется, мера, предложенная Минпромэнерго, могла бы иметь успех. Но у нас введение аукционов по экспортным квотам приведет к тому, что экспортеры, которых намного меньше, чем «рубщиков», фактически окажутся в положении монополистов и будут диктовать свои условия лесозаготовителям» [9].

Методы противодействия нелегальным рубкам и незаконному товарообороту древесины должны иметь комплексный характер и охватывать такие направления, как правовое регулирование (ужесточение наказания за правонарушения в лесном секторе экономики); административное регулирование (усиление контрольных и надзорных функций органов исполнительной власти России за товарооборотом лесопромышленной продукции и международное сотрудничество в этой сфере); экономическое воздействие (разработка системы методов, стимулирующих интеграцию лесопромышленных предприятий, глубокую переработку древесины и лесовосстановление, а также условий, в которых вывоз необработанных лесоматериалов и лесозаготовки без глубокой переработки древесины станут экономически невыгодными).

Одной из таких мер экономического воздействия, уже предпринятой Правительством РФ, является повышение ставок таможенных пошлин на вывоз с территории РФ необработанных лесоматериалов [8]. С 1 июля 2007 г. ставки повышаются на 20 %, с 1 апреля 2008 г. – на 25 %, а с 1 января 2009 г. – достигнут до 80 %. Так что к началу 2009 г. вывозить круглый лес станет невыгодно» [10]. Решение Правительства РФ направлено на то, чтобы Россия не превратилась в сырьевой придаток соседних стран [10]. Повышение таможенных пошлин на вывоз необработанных лесоматериалов будет способствовать решению целого ряда проблем: позволит снизить объемы вырубki высококачественной древесины (существенно сократить объемы нелегальных рубок); будет стимулировать российских лесозаготовителей поставлять сырье на отечественные лесоперерабатывающие предприятия; стимулировать максимально глубокую переработку древесины. Кроме того, высокие таможенные пошлины заставят зарубежные компании отказаться от закупок круглого леса и перенести в нашу страну высокотехнологичные производства, которые не только обеспечат глубокую переработку древесины, но и решат проблемы занятости в регионах.

Таким образом, анализ проблем развития лесного сектора экономики и мер, принимаемых государством для их решения, позволяет сделать следующие выводы.

В условиях рынка существует объективная необходимость государственного регулирования экономики. Попытки государства самоустраниться из сферы экономики неизбежно ведут к дезорганизации экономических процессов, возникновению кризисных ситуаций на всех уровнях экономики и, в конечном итоге, к коллапсу всей социально-экономической системы.

Методология антикризисного регулирования лесной отрасли обусловлена ее специфическими особенностями и проблемами развития, такими как слабая законодательная база; правовая и экономическая обособленность лесной промышленности и лесного хозяйства; низкий уровень корпоративной интеграции производственных предприятий в отрасли; значительная степень износа тех-

ники и оборудования и использование устаревших производственных технологий; отток квалифицированных кадров; высокий уровень криминализации отрасли.

Решение проблем развития лесной отрасли во многом определяется активной позицией государства и находится в плоскости эффективной законодотворческой деятельности и проведения грамотной социально-экономической и научно-технической политики, направленной на техническое перевооружение предприятий, внедрение новейших производственных технологий и привлечение в отрасль молодых высококвалифицированных специалистов.

### Библиографический список

1. Антикризисное управление / Э.М. Короткова. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 620 с.
2. Лесной кодекс РФ от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ // Российская газета от 8 декабря 2006 г. – № 277.
3. Моисеев, Н.А. Проблемы экономики и организации лесопользования, связанные с новым Лесным кодексом / Н.А. Моисеев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2007. – № 3 (52). – С. 19–27.
4. Пинягина, Н.Б. Концептуальные подходы к стратегическому планированию развития лесного сектора экономики России / Н.Б. Пинягина // Лесной экономической вестник, 2007 – № 1 (51). – С. 21–25.
5. Моисеев, Н.А. Об основных направлениях стратегии развития лесного сектора экономики России / Н.А. Моисеев // Лесной экономической вестник, 2007. – № 3 (53). – С. 11–17.
6. Милякина, Е.В. Экономико-правовые аспекты функционирования лесопромышленного комплекса РФ / Е.В. Милякина, З.Н. Магамедов // Законодательство и экономика, 2002 – № 11 – С. 20–36.
7. Уголовный кодекс РФ. Особенная часть от 13 июня 1996 года № 63-ФЗ // Собрание законодательства РФ от 17 июня 1996 г. – № 25.
8. Постановление Правительства РФ «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2006 г. № 795 в отношении отдельных видов лесоматериалов необработанных» от 5 февраля 2007 г. № 75 // Российская газета от 9 февраля 2007 г. – № 28.
9. Ирinceва, Л. С первого июля в России увеличатся таможенные пошлины на вывоз круглой древесины / Л. Ирinceва, В. Цыбиков, Ж. Гомбожапов // Инф. сайт телерадиокомпании «Ариг Ус» от 07.05.2007 г. – www.arigus – tv.ru
10. Выступление В. Зубкова на заседании Совета по развитию лесопромышленного комплекса 29 января 2008 года в г. Сыктывкаре // Инф. сайт «ADVIS.ru» от 30.01.2008 г. – www.ADVIS.ru.

## АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РОСТЕ ПЕРЕМЕННЫХ, ПОСТОЯННЫХ ЗАТРАТ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИБЫЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

В.М. БУГАКОВ, доц. ректор ВГЛТА, канд. техн. наук

vglta@vglta.vrn.ru

Предприятия многономенклатурного мелкосерийного деревообрабатывающего производства работают в ситуациях скачков сумм составляющих переменных затрат  $U_j(n)$  в очередной месяц на единицу продукции. В частности, повышаются тарифы на электроэнергию, топливо. Увеличиваются также цены на сырье, материалы, комплектующие. Возрастает заработная плата производственного персонала. При этом увеличиваются и постоянные затраты на очередной месяц  $Z(n)$  в связи с увеличением тарифов на электроэнергию, топливо, связь; возрастает арендная и заработная плата непроизводственному персоналу.

В целом при объеме оплачиваемого спроса  $\sum_{ij} x_{ij}$  на очередной месяц увеличиваются валовые затраты  $B_3(n)$ , т.е.

$$B_3(n) = \sum_{ij} x_{ij}(n) U_j(n) + Z(n).$$

При этом вполне возможно, что в очередной период валовые затраты будут больше валовой выручки  $B_3(n)$ , т.е. в этот период предприятие может быть убыточным, так как  $B_3(n) > B_B(n)$  или

$$\begin{aligned} & [\sum_{ij} x_{ij}(n) U_j(n) + Z(n)] > \\ & > [\sum_{ij} x_{ij}(n+1) a_0 \Pi_j + \sum_{ijr=1}^m x_{ij}(n-r) a_r \Pi_j], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $j$  – количество типоразмеров изделий;

$j = \bar{I}, N$ ;  $i$  – количество единиц изделий каждого типоразмера  $j$ ;

$\Pi_j$  – цена реализации единицы  $j$ -го типоразмера изделия;

$a_0$  – удельный вес (в долях единицы) реализованных в период  $(n)$  объема изделий, изготовленных в этот период;

$a_r$  – удельный вес (в долях единицы) реализованных изделий, выпущенных в предыдущие месяцы  $(n-r)$ , выручка от реализации которых поступает в очередной месяц  $(n)$ ;

$\sum_{ij} x_{ij}(n-r)$  – объем изделий деревообработки, изготовленный в предыдущие месяцы  $(n-r)$ , но не реализованный на первый день месяца  $(n)$ .

В рассматриваемый период у предприятия будет недостаточно собственных финансовых средств  $C_{\text{срц}}(n)$  для покрытия валовых затрат  $B_3(n)$ .

Рассмотренные соотношения диктуют необходимость разработки алгоритма обоснованного выбора управленческих решений.

Ограничения:  $\Pi_j \leq \Pi_{jk}$ , здесь  $\Pi_{jk}$  – цена единицы  $j$ -ой продукции деревообработки другого предприятия, выпускающего аналогичную продукцию; на очередной месячный период  $n$  величины  $\sum X_{ij}$ ,  $\sum X_{ij}(n-r)$ ,  $a_r$ ,  $m$  известные;  $m$  – число месяцев реализации изготовленной продукции.  $U_j(n) \geq U_{j(n)\text{min}}$ , здесь  $U_{j(n)\text{min}}$  – предельно допустимые минимальные переменные затраты на выпуск единицы  $j$ -го вида продукции деревообработки за период  $n$ ;  $Z(n) \geq Z(n)\text{min}$ , здесь  $Z(n)\text{min}$  – предельно допустимые минимальные постоянные затраты предприятия на период  $n$ .

Представляется необходимым в первую очередь принять реальные меры к уменьшению некоторых составляющих переменных  $U(n)$  и постоянных затрат  $Z(n)$ , возможно увеличить величину  $a_0$  – долю реализации выпущенной за месяц  $(n)$  продукции деревообработки.

Также целесообразно в допустимых пределах повысить цены  $\Pi_j$  и объем реализации некоторых пользующихся повышенным спросом видов продукции  $\sum x_{ij}(n)$ .

Структура механизма поиска управленческих решений в рассматриваемых ситуациях показана на рис. 1.

Вполне возможно, что в этих ситуациях на месячный период  $(n)$  не появится возможность существенно снизить какие-то составляющие переменных  $U(n)$ , постоянных  $Z(n)$  затрат, нельзя увеличить  $a_0$  – долю реализации выпущенной в период  $(n)$  продукции. Также невозможно будет увеличить цены реализации продукции  $\Pi_j$  и объем ее выпуска  $\sum X_{ij}$ .

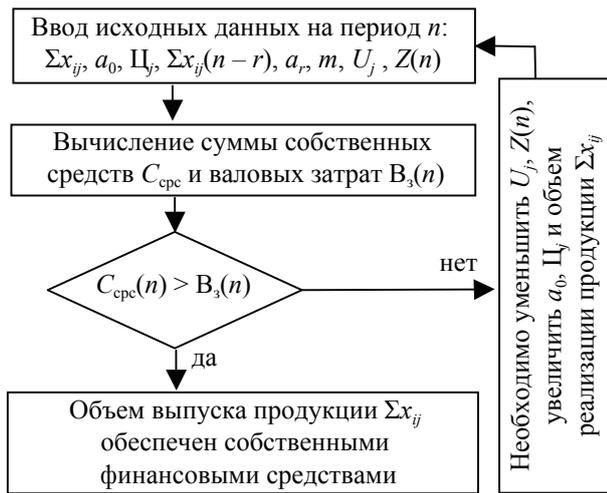


Рис. 1. Структура алгоритма выработки управленческих решений при увеличении сумм составляющих переменных  $U(n)$  и постоянных  $Z(n)$  затрат

В этой достаточно сложной ситуации придется решать вопрос получения краткосрочного кредита для обеспечения нормальных условий функционирования предприятия на месяц  $(n)$ . Но в последующий очередной месячный период  $(n+1)$ , очевидно, необходимо вернуться к рассмотренной структуре алгоритма выработки управленческих решений для обеспечения нормальной, прибыльной работы.

Систематический ежемесячный мониторинг экономических показателей предприятия с целью ежемесячного обеспечения достаточного объема прибыли создает условия эффективного развития экономики предприятия с выпуском конкурентоспособной продукции. В этих условиях ежемесячный объем выручки  $B_B(n)$  должен превышать объем ежемесячных валовых затрат, т.е. предприятие должно быть безубыточным, платежеспособным каждый месяц.

Рассмотрим условия безубыточности предприятия многономенклатурного мелкосерийного деревообрабатывающего производства.

Безубыточность предприятия – это экономическое состояние, когда производство и реализация продукции не приносит ни прибыли, ни убытков. Выручка от реализации  $B_B$  необходима для того, чтобы предприятие полностью обеспечивало все валовые затраты  $B_3$  и начало получать прибыль.

Валовая выручка  $B_B(n)$  за месяц  $n$  (на последний день месяца) состоит из двух частей: из выручки от реализации части продукции, из-

готовленной за этот месяц  $(n)$  и реализованной в этот период, и из выручки от реализации части изготовленной в предыдущие периоды  $(n-r)$  продукции деревообработки, поступившей на счета предприятия в этот месяц  $(n)$ .

$$B_B(n) = \sum_{ij} x_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ijr}(n-r) a_r \Pi_j. \quad (2)$$

Валовые затраты  $B_3(n)$  за период  $n$  состоят из переменных затрат  $U(n)$  и постоянных затрат  $Z(n)$ .

$$B_3(n) = U(n) + Z(n) \text{ или } B_3(n) = \sum_{ij} x_{ij}(n) U_j(n) + Z(n), \quad (3)$$

где  $\sum X_{ij}(n)$  –  $i$ -е количество единиц  $j$ -го вида изделий деревообработки, выпускаемых предприятием в период  $n$ ;

$a_0$  – удельный относительный вес реализованной в период  $n$  продукции, изготовленной в этот же период;

$\Pi_j$  – цена реализации единицы  $j$ -го вида продукции деревообработки;

$x_{ijr}(n-r)$  –  $i$ -ое количество единиц  $j$ -го вида продукции, изготовленной предприятием в предыдущие периоды  $(n-r)$ , для реализации в период  $n$ ;

$a_r$  – удельный относительный вес реализованной продукции, выпускаемой в предыдущие периоды  $(n-r)$ , выручка от реализации которой поступает на счета предприятия в период  $n$ ;

$U_j(n)$  – переменные затраты на выпуск и реализацию единицы  $j$ -ой продукции деревообработки в период  $n$ , определяется по калькуляции себестоимости.

$U(n) = \sum x_{ij}(n) U_j(n)$  – суммарные переменные затраты в период  $n$  на выпуск  $j$  видов продукции деревообработки в количестве  $i$ .

Точку безубыточности определим равенством валовой выручки  $B_B(n)$  валовым затратам  $B_3(n)$  в рассматриваемый период

$$B_B(n) = B_3(n) \text{ или } \sum_{ij} x_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ijr}(n-r) a_r \Pi_j = \sum_{ij} x_{ij}(n) U_j(n) + Z(n), \quad (4)$$

где  $m$  – число месяцев  $n$  для полной реализации выпущенной продукции деревообработки.

Обозначим  $\sum x_{ij}(n)_0$  – объем выпуска  $j$ -х видов продукции деревообработки в количестве  $i$ , при котором валовая выручка  $B_B(n)$  равна

валовым затратам  $B_3(n)$ . На графике представим точку безубыточности  $P_B = 0$  (рис. 2).

Зона убытков в период  $(n)$  возникает тогда, когда валовая выручка меньше валовых затрат, т.е.

$$B_B(n) < B_3(n) \text{ или } [\sum_{ij} x_{ij}(n)a_0\Pi_j + \sum_{ijr=1}^m x_{ij}(n-r)a_r\Pi_j] < [\sum_{ij} x_{ij}(n)U_j(n) + Z(n)]. \quad (5)$$

Зона прибыли возникает при условии, когда валовая выручка за период  $(n)$  будет больше валовых затрат за этот период, т.е.

$$B_B(n) > B_3(n) \text{ или } [\sum_{ij} x_{ij}(n)a_0\Pi_j + \sum_{ijr=1}^m x_{ij}(n-r)a_r\Pi_j] > [\sum_{ij} x_{ij}(n)U_j(n) + Z(n)]. \quad (6)$$

Чтобы выполнить это условие, необходимо через маркетинговую деятельность увеличивать спрос и объем выпуска продукции в период  $(n)$   $\sum_{ij} x_{ij}(n)$ , а также повысить долю реализации  $a_0$  выпущенной в этот период продукции, а, возможно, и цену отдельных пользующихся повышенным спросом видов продукции  $\Pi_j$ . С другой стороны, необходимо обоснованно снизить переменные затраты  $U_j(n)$  на отдельные виды продукции деревообработки, а также несколько снизить объем постоянных затрат  $Z(n)$ .

Такой подход позволит увеличить объем валовой прибыли  $P_B(n)$  за период  $(n)$ .

$$P_B(n) = [\sum_{ij} x_{ij}(n)a_0\Pi_j + \sum_{ijr=1}^m x_{ij}(n-r)a_r\Pi_j] - [\sum_{ij} x_{ij}(n)U_j(n) + Z(n)]. \quad (7)$$

Определим объем чистой прибыли  $P_q(n)$  с учетом налога на прибыль

$$P_q(n) = (1 - \beta_{np}) [ [\sum_{ij} x_{ij}(n)a_0\Pi_j + \sum_{ijr=1}^m x_{ij}(n-r)a_r\Pi_j] - [\sum_{ij} x_{ij}(n)U_j(n) + Z(n)] ]. \quad (8)$$

Ограничения:  $\beta_{np}$  – норма налога на прибыль на период  $n$  является постоянной величиной;  $\sum_{ij} x_{ij}(n) \leq \sum_{ij} x_{ij}(n)_\phi$  – где  $\sum_{ij} x_{ij}(n)_\phi$  – фактический объем спроса на продукцию предприятия на период  $(n)$ ;  $\Pi_{ymin} \leq \Pi_j \leq \Pi_{ymax}$ ;  $\Pi_{ymin}$ ,  $\Pi_{ymax}$  – минимальная, максимальная цена единицы  $i$ -ой продукции на период  $n$ , которая определяется договорами на поставку;  $U_j(n) \geq U_j(n)_{min}$ , здесь  $U_j(n)_{min}$  – предельно допустимые минимальные переменные затраты на выпуск единицы  $i$ -ой продукции деревообработки на период  $n$ ;  $Z(n) > Z(n)_{min}$ ,  $Z(n)_{min}$  – предельно допустимые мини-

мальные постоянные затраты на период  $n$ ; величины  $\sum_{ij} x_{ij}(n-r)$ ,  $a_0$ ,  $a_r$ ,  $m$  на период  $n$  известны из отчета за предыдущий месяц.

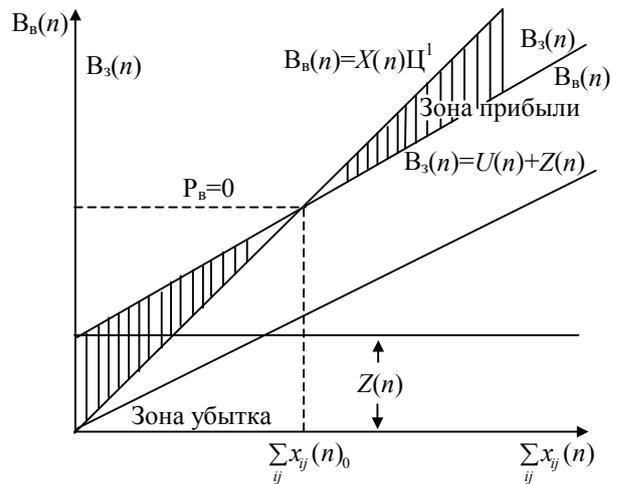


Рис. 2. Уровни прибыльности предприятия при выпуске и реализации продукции деревообработки в объеме  $\sum_{ij} x_{ij}(n)$



Рис. 3. Структура алгоритма стабильного сохранения ежемесячной прибыльной деятельности деревообрабатывающего предприятия

Представленные уравнения системных связей показателей экономики предприятия деревообработки дали возможность разработать структуру механизма управления прибыльной деятельностью в направлении увеличения валовой и чистой прибыли, показанного на рис. 3.

**Библиографический список**

1. Бугаков, В.М. Менеджмент на предприятиях лесного комплекса / В.М. Бугаков. – Воронеж: ВГЛТА, 2008. – 267 с.

## ПРОГНОЗ СПРОСА НА МЕБЕЛЬ, ОСНОВЫ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ МЕБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.М. БУГАКОВ, доц., ректор ВГЛТА, канд. техн. наук

vglta@vglta.vrn.ru

Предприятия мебельной промышленности работают по заказам оптовых и индивидуальных покупателей, т.е. выпускают различные виды, наборы мебели. Мебельные предприятия – это предприятия многономенклатурного мелкосерийного производства.

Для обеспечения ритмичности работы, финансовой устойчивости мебельных производств необходимы надежные прогнозы спроса на отдельные виды мебели на ближайший месяц, квартал. При этом необходимо учитывать жесткую конкуренцию других производителей аналогичной мебели, а также достаточно быстро меняющиеся тенденции изменения конструкций мебели и предпочтений покупателей.

В связи с этим значение эффективно действующей службы прогноза спроса на отдельные виды мебели невозможно переоценить.

Имея достаточно обоснованные прогнозы спроса на продукцию предприятия многономенклатурного мелкосерийного мебельного производства, можно в ближайшие месяцы эффективно использовать имеющиеся ресурсы для обеспечения более высокого уровня прибыли.

Прогнозирование спроса на мебель представляет собой научно обоснованное предвидение развития платежеспособных потребностей населения, организаций.

При прогнозировании наиболее распространенными являются следующие методы: экономико-математические; с использованием коэффициента эластичности спроса; с использованием структурных моделей.

Но эти методы не обеспечивают достаточно надежный прогноз спроса.

Наиболее простым и приемлемым методом прогнозирования спроса на мебельную продукцию для оперативных и краткосрочных целей является применение коэффициента эластичности спроса по цене и доходу населения [3].

Коэффициент эластичности показывает относительное изменение исследуемого экономического показателя под действием единичного относительного изменения экономического фактора, от которого он зависит при неизменных остальных влияющих на него факторах.

Если записать зависимость  $y$  от  $x$  как

$$y_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

и соответственно функцию спроса на мебель ( $Q$ ) от ее цены ( $P$ )

$$Q_p = \lim_{\Delta p \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta P},$$

то увидим, что значение производной при каждой цене  $P$  зависит от того, измеряется спрос на мебель в наборах или в отдельных конструкциях мебели, или спрос по ценам наборов. Поэтому для измерения чувствительности функции к изменению аргумента в экономике изучают связь не абсолютных изменений переменных, а относительных или процентных.

В дискретном случае определение эластичности уже не столь однозначно, как в непрерывном случае, поскольку в относительном изменении

$$\delta x = \Delta x / x = (x_2 - x_1) / x$$

неясно, что брать в качестве  $x$ : первоначальное значение ( $x = x_1$ ), конечное значение ( $x = x_2$ ) или среднее  $x = (x_2 + x_1) / 2$ .

В зависимости от этого выбора различают конечную эластичность

$$E_x(y) = [(y_2 - y_1) / y_1] / [(x_2 - x_1) / x_1], \quad (1)$$

где  $y_2$  и  $x_2$ ,  $y_1$  и  $x_1$  – это спрос и цена изделия в текущем и предыдущем месяце;

среднюю (дуговую) эластичность

$$E_x(y) = [2(y_2 - y_1) / (y_1 + y_2)] / [2(x_2 - x_1) / (x_1 + x_2)]; \quad (2)$$

а также логарифмическую эластичность

$$E_x(y) = \Delta \ln y / \Delta \ln x = \Delta \ln y_2 - \Delta \ln y_1 / \Delta \ln x_2 - \Delta \ln x_1 = \ln [y_2 / y_1] - \ln [x_2 / x_1]. \quad (3)$$

Если ценовая эластичность спроса по абсолютной величине равна единице, то это спрос с единичной эластичностью.

Если спрос неэластичный при  $E_p(q) < < | 1 |$ , то спрос на данный вид мебели обеспечен. Если  $E_p(q) \gg | 1 |$ , то спрос на данный вид мебели в ближайший период будет весьма ограниченным.

Эластичность спроса по цене тем выше, чем выше удельный вес расходов на мебель в доходе потребителя и чем ниже субъективная необходимость в этом виде мебели. Эластичность спроса по цене обычно выше, чем больше промежутки времени. Другими словами, долгосрочная эластичность спроса предполагается выше, чем за долгосрочный промежуток времени потребители могут изменить привычки и найти больше заменителей данному набору мебели.

Однако при этом не учитывается формирование запаса и время износа мебели, оказывающие существенное влияние на решения потребителей и действующие иногда в сторону понижения эластичности с течением времени.

Если спрос на набор мебели не эластичен, то повышение цены приводит к увеличению выручки. Для эластичного спроса изменение выручки происходит в направлении, противоположном изменению цены, и для повышения выручки выгодно понижать цену видов мебели, пользующихся малым спросом. При эластичном спросе выручка растет с уменьшением цены, а при неэластичном – падает.

При введении дополнительного налога, например на импортную мебель, налоговое бремя падает на экономического агента с меньшей эластичностью, у которого меньше возможностей ухода от налогового бремени. В частности, если эластичность спроса равна нулю, то все налоговое бремя ляжет на плечи потребителей, так как независимо от величины налога (а, следовательно, и величины цены) потребители не изменят объема закупок.

Если же спрос на какой-то вид мебели по импорту характеризуется совершенной эластичностью, то в проигрыше окажутся импортеры-производители, т.к. потребители при чрезмерных таможенных сборах переходят к приобретению отечественной качественной мебели. В этом случае все налоговое бремя падает на плечи фирм, импортирующих зарубежную мебель.

Таким образом, эластичность спроса важна при принятии ценовых решений произ-

водителями мебели, коммерческими структурами и другими экономическими субъектами.

От достаточно точного прогноза спроса на те или иные виды, наборы мебели зависит, прежде всего, реальная в перспективе выручка от торговли и финансовая устойчивость.

Наличие больших объемов невостребованных, нереализованных видов мебели является главной причиной низких финансово-экономических показателей производителей мебели. Значительные уценки трудно реализуемых видов мебели в лучшем случае как-то снижают убытки.

Компьютеризация учета реализованных видов мебели ценой ( $P_i$ ) по количеству ( $x_i$ ) и по выручке ( $P_i x_i$ ) дает возможность организовать систему автоматизированного прогноза спроса каждого вида мебели на ближайший месяц, квартал. Мебельные предприятия должны проводить гибкую ценовую политику при реализации своей продукции. В этом случае компьютеризация учета объемов реализации отдельных видов мебели дает возможность, с учетом сезонных колебаний спроса по прошлому кварталу, году, делать прогнозы на объем спроса ( $x_i$ ) того или иного набора мебели.

Объемы спроса по таким прогнозам должны быть скорректированы не только по наличию остатков нереализуемой мебели, но и по вычисленным величинам эластичности спроса по цене изделий. Если величина эластичности спроса по цене того или иного набора мебели меньше 5–10, то реальный спрос на этот товар на ближайший месяц, квартал, будет определенно обеспечен. Если величина показателя эластичности данного набора изделий больше 10, то спрос на ближайший месяцев будет в ограниченном количестве.

Значительная по величине отрицательная эластичность спроса по цене мебели указывает на ее слабую востребованность, и такая мебель не имеет позитивных перспектив реализации в значительных объемах. Даже реклама таких наборов мебели не увеличит существенно их реализацию в условиях активной конкуренции мебели других производителей [3, 4].

Прогнозирование спроса на мебель покупателями представляет собой задачу, решение которой реально, если работает компьютерный учет фактического спроса с оп-

ределением эластичностей по каждому виду мебели, с учетом изменения покупательной способности населения и сезонных колебаний спроса на те или иные виды, наборы мебели за отдельные месяцы прошлого года.

Особый интерес представляет прогноз спроса на абсолютно новые виды конструкций мебели. Здесь возможен большой экономический риск невостребованности таких изделий, поэтому перед началом их производства нужно провести экспертные оценки прогноза спроса.

Весь комплекс задач учета и управления в экономической системе предприятий по мелкосерийному производству многих типоразмеров мебели может эффективно решаться при использовании методов оценки показателей производственно-экономических ситуаций и принятии оперативных управленческих решений. Для этого необходимо иметь методы определения системных связей основных экономических параметров производства мебели. В этом случае представляется целесообразным использовать систему «Директ-костинг», метод маржинального анализа [3], который все затраты делит на переменные и постоянные, что значительно сокращает количество показателей информационного обеспечения уравнений системных связей экономики мелкосерийного многономенклатурного производства мебели [2, 4].

Спрос на продукцию предприятия мебельного производства на очередной месяц обычно достаточно известен, что дает основание построить показатели информационного обеспечения на дискретный период времени,  $n$ -месяц.

Для решения научных и практических задач управления в экономической системе предприятия мебельного производства используем следующие показатели: предприятие в следующем месяце ( $n$ ) выпускает  $j$  типоразмеров мебели,  $j = 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  – количество типоразмеров мебели (в очередном месяце);  $i$  – количество единиц каждого  $j$ -го типоразмера мебели в соответствии со спросом на очередной месяц;  $X(n) = \sum X_{ij}(n)$  – общее количество всех  $N$ ;  $U_j(n)$  – переменные затраты на выпуск и реализацию 1 экземпляра  $j$ -го типоразмера набора мебели в период  $n$ , опреде-

ляются по калькуляции себестоимости;  $\Pi_j(n)$  – цены реализации единицы  $j$ -го типоразмера мебели;  $Z(n)$  – постоянные затраты предприятия на месяц  $n$ ;  $a_0$  – удельный относительный вес (в долях единицы) реализованного в период  $n$  объема мебели, изготовленного в этот же период;  $a_r$  – удельный относительный вес (в долях единицы) реализованной мебельной продукции, выпущенной в предыдущие месяцы ( $n - r$ ), выручка от реализации которой поступает на счета предприятия в месяц  $n$ ;  $\sum_{ij} X_{ij}(n) a_0 \Pi_j$  – выручка от реализации части мебели, изготовленной в период  $n$  и реализованной в этот период;  $-\sum_{ij} \sum_{r=1}^m X_{ijr}(n-r) a_r \cdot \Pi_j$  – выручка от реализации изготовленного в предыдущие месяцы ( $n - r$ ) количества  $i$  единиц  $j$  – типоразмеров мебели, поступившая на счета предприятия, в месяц  $n$ ;  $m$  – среднее число месяцев изготовления и реализации набора мебели;  $C_{\text{ср}}(n)$  – собственные средства предприятия на месяц  $n$ ;  $P_{\text{кр}}(n)$  – сумма заемных средств на период  $n$ ;  $P_{\text{в}}(n)$  – валовая (балансовая) прибыль на месяц  $n$ ;  $\beta_{\text{пп}}$  – норма налога на прибыль в относительных величинах в долях единицы;  $-P_r(n) = P_{\text{в}}(n)[1 - \beta_{\text{пп}}]$  – чистая прибыль на период  $n$ ;  $-\sum_{ij} X_{ij}(n) U_j(n)$  – переменные затраты предприятия на месяц  $n$ ;  $-\sum_{ij} X_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m X_{ijr}(n-r) a_r \cdot \Pi_j$  – валовая выручка за месяц  $n$ ;  $-B_3(n) = \sum_{ij} X_{ij}(n) U_j(n) + Z(n)$  – валовые затраты на период  $n$ .

Валовые затраты  $B_3(n)$  на выпуск и реализацию всей номенклатуры мебельной продукции складываются из переменных  $U(n)$  и постоянных затрат  $Z(n)$ .

Уравнение валовых затрат имеет вид:

$$B_3(n) = U(n) + Z(n), \text{ или} \\ B_3(n) = \sum_{ij} x_{ij} U_j(n) + Z(n). \quad (1)$$

Ограничения на переменные в уравнении (1) определяются индивидуально для каждого предприятия.

Уравнение валовой выручки  $B_{\text{в}}(n)$  за период  $n$  (на последний день месяца) состоит из двух составляющих: из выручки от реализации части мебели, изготовленной в период  $n$  и реализованной в этот период, а также из выручки от реализации мебели, изготовленной в предыдущие периоды ( $n - r$ ), которая поступила на счета предприятия в очередной период  $n$

$$B_{\text{в}}(n) = \sum_{ij} x_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ijr}(n-r) a_r \cdot \Pi_j, \quad (2)$$

где  $\sum_{ij} x_{ij}(n) = X(n)$  – общее количество всех  $N$  типоразмеров мебели, выпускаемой в период  $n$ ;

Ограничения на переменные уравнений валовой выручки (2) определяются для каждого предприятия индивидуально исходя из действующих производственно-экономических условий.

В общем случае имеет место три варианта функционирования экономики предприятия и соотношения объемов валовой выручки и валовых затрат

$$B_e(n) \underset{>}{\geq} B_B(n) \text{ или } \sum_{ij} x_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ijr}(n-r) a_r \cdot \Pi_j \underset{>}{\geq} \sum_{ij} x_{ij}(n) U_j(n) + Z(n). \quad (3)$$

При  $B_3(n) > B_B(n)$  предприятие за период  $n$  является убыточным.

При  $B_3(n) = B_B(n)$  предприятие безубыточное, нет прибыли, нет убытков.

При  $B_3(n) < B_B(n)$  предприятие за период  $n$  (месяц) является прибыльным.

Условие безубыточности имеет вид

$$\sum_{ij} x_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ijr}(n-r) a_r \cdot \Pi_j = \sum_{ij} x_{ij}(n) U_j(n) + Z(n). \quad (4)$$

Если на очередной месяц  $n$  предприятие будет прибыльным, то уравнение валовой прибыли  $P_B$  имеет вид

$$P_e(n) = \sum_{ij} x_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ijr}(n-r) a_r \cdot \Pi_j - \left[ \sum_{ij} x_{ij}(n) U_j(n) + Z(n) \right]. \quad (5)$$

С учетом нормы налога на прибыль  $\beta_{np}$  в очередном месяце уравнение чистой прибыли  $P_r(n)$

$$P_c(n) = (1 - \beta_{np}) \left[ \sum_{ij} x_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ijr}(n-r) a_r \cdot \Pi_j - \sum_{ij} x_{ij}(n) U_j(n) + Z(n) \right]. \quad (6)$$

Объем собственных средств  $C_{cpc}(n)$  предприятия в очередном месяце определяются суммой остатка свободных средств от предыдущего месяца  $C_0(n-1)$  и валовой выручки  $B_B(n)$  в очередном месяце  $n$ .

$$C_{cpc}(n) = C_0(n-1) + B_B(n), \quad (7)$$

$$\text{или } C_{cpc}(n) = C_0(n-1) + \sum_{ij} x_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ijr}(n-r) a_r \cdot \Pi_j, \quad (8)$$

Повышение сезонного спроса, т.е. увеличение выпуска всей номенклатуры продукции  $\sum_{ij} x_{ij}(n)$  может проходить в условиях значительного недостатка собственных средств  $C_{cpc}(n)$ . В этих ситуациях предприятию нужны разного рода заемные средства  $C_{кр}(n)$ .

Математическое уравнение для необходимого объема заемных средств на очередной месяц ( $n$ ) имеет вид

$$C_{кр}(n) = \left[ X_{ij}(n) U_j(n) + Z_n \right] - \left[ C_0(n-1) + \sum_{ij} x_{ij}(n) a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ijr}(n-r) a_r \cdot \Pi_j \right]. \quad (9)$$

Ограничения на переменные математических уравнений определяются действующими на период месяца ( $n$ ) производственно-экономическими условиями [4].

Рассмотренный метод и математические уравнения системных связей закономерностей функционирования экономики предприятий мелкосерийного многономенклатурного производства мебельных наборов дают возможность разработать систему механизмов оценки показателей экономических ситуаций и выработки достаточно эффективных управленческих решений.

Управленческие решения находятся с помощью соответствующих алгоритмов, составленных по уравнениям (1–9) и направленных на максимизацию прибыли на каждый очередной месяц [1]. Варианты управленческих решений по спросу, по ценам, по переменным и постоянным затратам, условиям реализации, использованию заемных средств образуют единую цель алгоритмов – повышение прибыли.

### Библиографический список

1. Бугаков, В.М. Менеджмент на предприятиях лесного комплекса: / В.М. Бугаков. – Воронеж: ВГЛУ, 2008. – 267 с.
2. Жданов, С.С. Экономические модели и методы в управлении: / С.С. Жданов. – М.: Дело и сервис, 1998. – 173 с.
3. Петровский, В.С. Статика, динамика и финансовая устойчивость торговли промышленными товарами: / В.С. Петровский, Ю.Н. Кретинина. – Воронеж: ВГУ, 2001. – 212 с.
4. Степанов, Г.В. Математические модели, алгоритмы управления в системах реализации многономенклатурной мелкосерийной продукции промышленности: / Г.В. Степанов. – Воронеж: ВГЛУ, 2007. – 218 с.

## АНАЛИЗ МОТИВАЦИИ ТРУДА ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

С.А. АФОНИНА, ассистент каф. экономики и управления на предприятиях лесного комплекса и природопользования БГИТА,

М.В. БУДАНОВА, доц. каф. экономики и управления на предприятиях лесного комплекса и природопользования БГИТА, канд. экон. наук

*budanovi@mail.ru*

**В** настоящее время российские предприниматели часто недооценивают значение трудового персонала, что отрицательно влияет на производительность труда. При этом важно учитывать соотношение между производительностью труда и заработной платой. По мнению исследователей [3, 17], наша страна отстает от развитых стран по производительности труда в 5,5–6 раз, а по заработной плате – в 10–12 раз и более.

Проблему повышения производительности труда, более тесной взаимосвязи производительности с заработной платой можно решить только благодаря продуманной системе работы с персоналом, в том числе формированию эффективной системы мотивации труда, поскольку только заинтересованный в своей деятельности и довольный ею сотрудник может действительно эффективно трудиться на пользу своей организации и общества. Под мотивацией понимают процесс побуждения себя и других к деятельности для достижения личных целей или целей организации.

Можно выделить следующие проблемы, обуславливающие особое внимание к мотивации:

1) экономические – спад производительности труда, невысокие производственные показатели и уровень зарплаты, что часто порождает безответственное отношение к труду и низкое качество продукции, высокий травматизм и т.д.;

2) социальные – труд не всегда обеспечивает нормальный уровень жизни, что ведет к неудовлетворенности материальных и духовных потребностей работников и является основной причиной критического состояния демографической и экономической ситуации, наблюдается резкая дифференциация различных слоев общества.

Правильно сформированная система мотивации персонала может компенсировать недостатки других функций управления, вместе с тем слабую мотивацию труда трудно чем-либо восполнить. Именно поэтому основной функцией руководителей должно быть умение раскрывать потребности и побудительные мотивы работника и оказывать соответствующее воздействие с целью повышения эффективности функционирования предприятия в целом.

Оценка мотивации труда должна осуществляться в связке с анализом эффективности использования трудовых ресурсов предприятия, поскольку качественный анализ движения рабочей силы, заработной платы и производительности труда помогают более объективно оценить мотивацию персонала и определить некоторые ее «болевые точки».

Основной задачей подобного анализа является выявление всех тех факторов, которые мешают росту производительности труда, приводят к потерям рабочего времени и отрицательно влияют на конечные результаты работы предприятия.

Начинать работу по построению эффективной системы мотивации необходимо с анализа уже существующей на предприятии системы. Первым этапом данного анализа является проведение анкетирования или интервьюирования персонала, что само по себе ведет к увеличению удовлетворенности работой, росту готовности к сотрудничеству с администрацией. При этом важно поставить работников в известность о результатах опроса, а демотивирующие факторы должны быть по возможности устранены [1].

На первом этапе работы формулируются цели и задачи анализа мотивации и стимулирования труда.

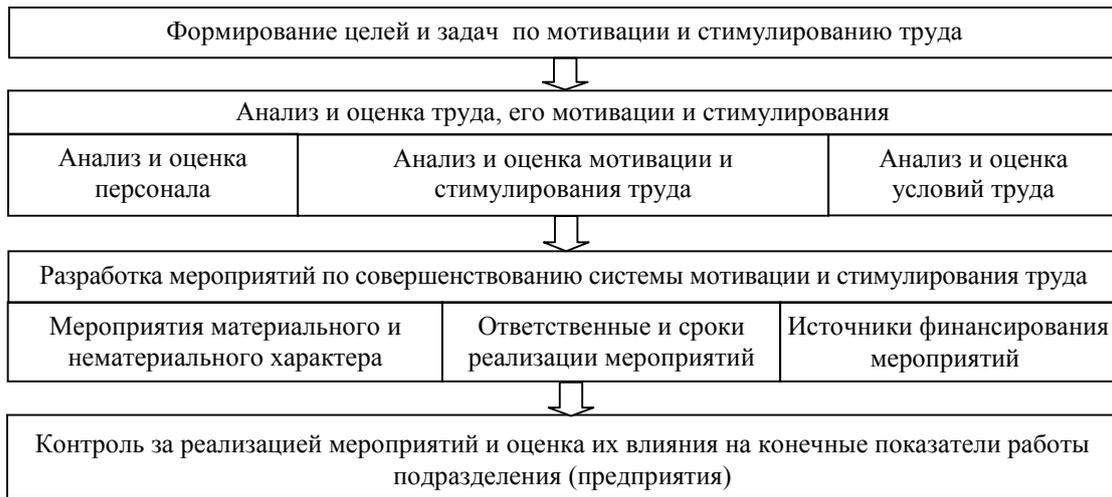


Рис. 1. Модель функционирования системы мотивации и стимулирования труда



Рис. 2. Этапы исследования состояния мотивации и стимулирования труда на предприятии

Целью анализа системы мотивации и стимулирования труда является выявление ее недостатков с целью последующего исправления и целостного формирования: от разработки политики мотивации в целом по предприятию до мотивации отдельных работников. Задачами анализа мотивации и стимулирования персонала являются изучение состояния системы мотивации и стимулирования труда, оценка ее эффективности и оптимальности принимаемых управленческих решений.

Главным принципом анализа системы мотивации является максимальная объективность. Полученные результаты должны давать

полное представление о том, испытывают ли сотрудники на себе влияние существующей на предприятии системы мотивации, соответствует ли их реакция на воздействие системы ожиданиям руководства. При этом важно помнить, что хотя на конкретном предприятии четкая, осознанная, продуманная система мотивации может отсутствовать, ее отдельные, пусть не связанные и плохо взаимодействующие друг с другом, компоненты есть всегда.

В результате анализа появляется возможность конкретно определить характеристики системы мотивации, действующей на предприятии: существующие и отсутствующие элементы системы; качество наличествующих элементов, выполняемые ими функции; наличие взаимосвязей между элементами; полнота реализации существующих связей (рис. 2).

Начать анализ системы мотивации следует с определения следующих факторов:

1. Существующие на предприятии формы мотивации, применяемые способы и конкретные стимулы.
2. Меры, которые следует принять для формирования недостающих элементов системы, порядок их применения.
3. Установление взаимосвязи между существующими элементами системы мотивации.
4. Определение целесообразности существующих связей.
5. Ознакомление в обязательном порядке работников с результатами. Подобные меры сами по себе имеют мотивирующее зна-

чение, поскольку обратная связь способствует улучшению отношений с администрацией, поскольку работники осознают заботу руководства, испытывают чувство собственной значимости, чувствуют себя не просто безликими исполнителями, но полноправными участниками процесса производства, влияющими на конечные результаты деятельности предприятия.

6. Разработка мероприятия по улучшению мотивации и стимулирования труда.

7. Оценивание влияния различных методов стимулирования труда на его производительность. При проведении подобной оценки можно использовать модель однофакторного дисперсионного анализа для связанных выборок. При этом влиянию каждой из

градаций фактора подвергается одна и та же выборка испытуемых (рабочих) (рис. 3).

Предложенная методика адекватно оценивает влияние различных видов стимулирования на производительность труда работников и могла бы использоваться на предприятиях для оценки влияния различных форм и методов стимулирования на продуктивность труда.

Был проведен анкетный опрос на некоторых деревообрабатывающих предприятиях Брянской области. Объектом исследования выбраны предприятия ОАО «Дятьково-ДОЗ», ОАО «Катюша», ОАО «Жуковская мебельная фабрика», ООО «Мебельная фабрика «Белые Берега», ОАО «Брасовская мебельная фабрика», ОАО «Селецкий ДОК», ООО «Гном».

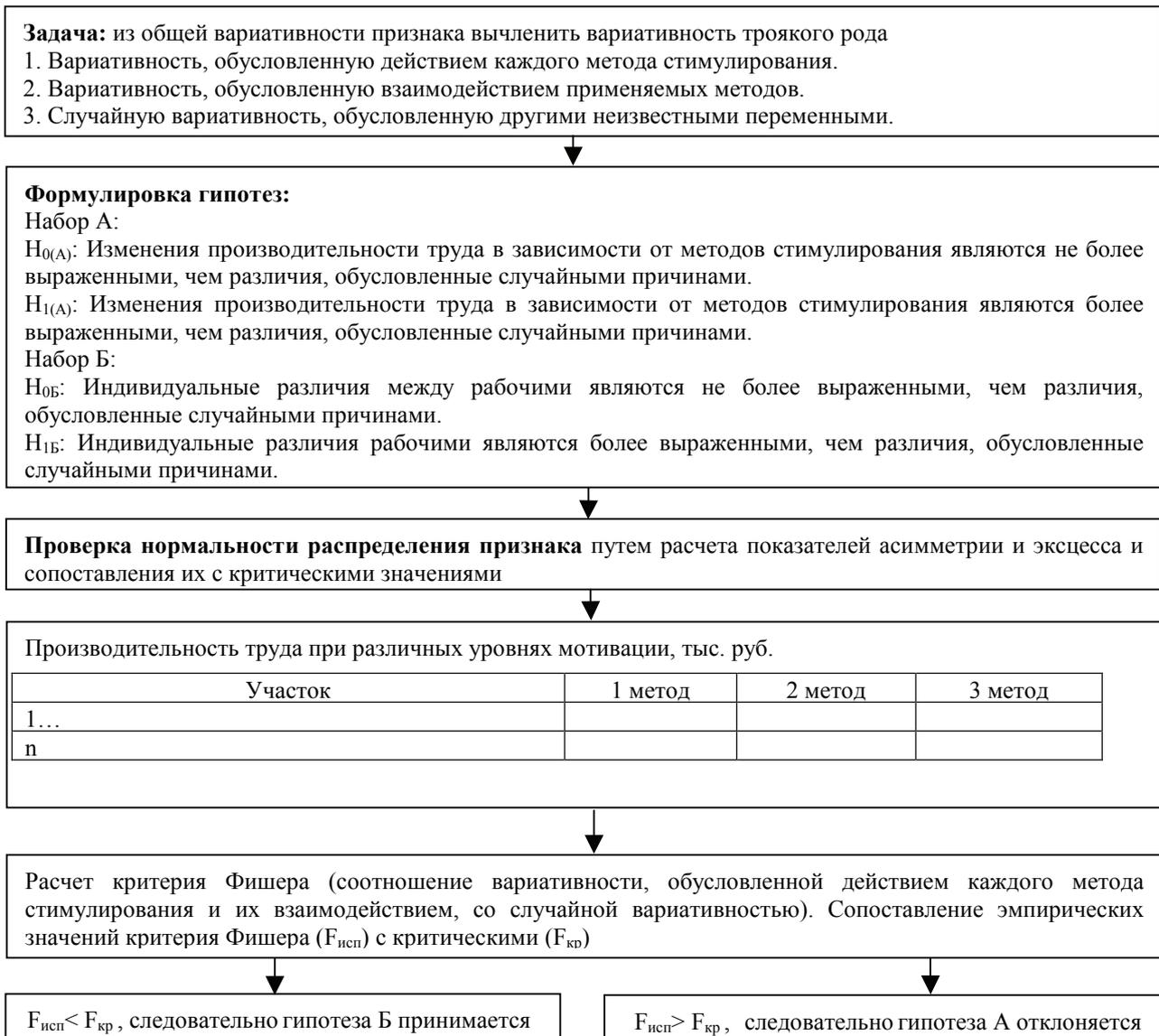


Рис. 3. Модель однофакторного дисперсионного анализа для связанных выборок

В анкетировании участвовало 210 человек, из них 10 руководителей, 150 рабочих и 50 служащих и специалистов.

В результате проведенного анкетирования было выявлено, что лишь немногие работники положительно мотивированы на процесс труда: 15,5 % – удовлетворены работой; 18,0 – удовлетворены не вполне; 55,0 – не удовлетворены; 11,5 – затруднились ответить.

Как видно из опроса, только 15,5 % опрошенных довольны своей работой, а более 70 % респондентов своей деятельностью не удовлетворены или же удовлетворены в недостаточной степени. Рассмотрим причины неудовлетворенности подробнее.

На первом месте отсутствие социальных гарантий, эту причину назвали главным демотивирующим фактором 41,5 % опрошенных работников. Особенно важным представляется то, что права работников повсеместно нарушаются. На некоторых предприятиях отсутствуют льготы и доплаты, не оплачиваются больничные листы и отпуска, есть и другие нарушения трудового законодательства, действует такая модель организации заработной платы, которая не предоставляет работникам никаких гарантий.

На втором месте – неудовлетворенность величиной заработной платы (38,8 %). Такое количество можно считать относительно невысоким, поскольку только на ОАО «Дятьково-ДОЗ», ОАО «Катюша» заработная плата достигает уровня средней заработной платы в регионе и значительно превышает среднюю заработную плату, сложившуюся на деревообрабатывающих предприятиях Брянской области (4412,3 руб. в месяц).

Другими причинами недовольства являются неудовлетворительные условия труда (15,4 %), частые конфликтные ситуации (9,6 %), несоответствие работы полученной специальности (5,4 %), а также прочие причины (4,3 %). Среди прочих причин назывались следующие:

- монотонность, однообразие в работе;
- неравномерная загруженность в течение месяца;
- удаленность от места жительства;
- отсутствие информации о перспективах развития и положении дел на предприятии;

- отсутствие перспектив карьерного роста;
- отсутствие возможностей самореализации.

В связи с этим руководителям данных предприятий целесообразно уделить особое внимание таким факторам, как материальное стимулирование труда и наличие социального пакета. У неудовлетворенных своим трудом, неуверенных в завтрашнем дне людей интерес к работе, чувство причастности к организации и ее делу отсутствуют. Опыт показывает, что труд таких работников мало эффективен. Необходимо детально разработать такую систему материального стимулирования, которая позволит увеличить производительность труда, повысить качество продукции, пробудит инициативу и творческую активность работников без необоснованного повышения оплаты труда, так как такое увеличение приводит к трудовой пассивности.

Свою причастность к процессу управления ощущают только 26 % работников, в то время как участвовать в управлении, иметь информацию о перспективах развития и положении дел на предприятии хотели бы 45 % сотрудников. В этом плане важна целенаправленная работа руководства по информированию работников о том, как администрация заботится об их интересах, учитывает мнение сотрудников по различным управленческим вопросам. Необходимо своевременно и полно информировать персонал об изменениях, происходящих на предприятии.

Условия труда и техническую оснащенность удовлетворительными признали 45 % работников, что является негативным фактором, так как именно от условий труда напрямую зависит производительность.

Значительно повышают мотивацию и нематериальные стимулы, такие как устная благодарность, уважительное отношение со стороны руководства, более свободный режим работы, предоставление творческой свободы (что особенно важно для молодых работников), индивидуальный подход к каждому работнику, выбор таких форм деятельности, которые в наибольшей степени соответствуют особенностям характера и личности сотрудника.

Опрос выявил, что вероятность карьерного роста, возможность совмещать учебу и работу существует лишь на некоторых предприятиях, что негативно сказывается на отношении к работе у молодых сотрудников.

Помимо материального стимулирования целесообразно применять социально-психологические методы: организация досуга сотрудников; совместный отдых, проведение спортивных соревнований, организация экскурсий по историческим и памятным местам и т.д.

Подводя итоги, можно отметить, что стремление руководителя максимально использовать мотивацию своих сотрудников в процессе повышения производительности труда должно стать одним из их важнейших приоритетов. При этом следует помнить, что

нет идеального способа мотивации, то, что подходит одним людям, абсолютно неприемлемо для других, интересы людей зачастую не совпадают, поэтому руководству необходимо стремиться к созданию такой системы мотивации, которая бы сочетала и обобщала интересы большинства.

#### Библиографический список

1. Магура, М.И. Мотивация труда персонала и эффективность управления / М.И. Магура // Управление персоналом. – 2003. – № 6.
2. Ванькова, О.Г. Компенсационная система: принципы и механизм формирования (на примере коммерческого банка) / О.Г. Ванькова // Справочник по управлению персоналом, 2002. – № 12.
3. Самоукина, Н.В. Эффективная мотивация персонала при минимальных финансовых затратах / Н.В. Самоукина. – М.: Вершина, 2006. – 224 с.

## РЕКРЕАЦИОННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСОВ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ И ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Б.О. ХАШИР, доц. каф. экономики и финансового менеджмента Кубанского ГТУ, канд. экон. наук,  
М.Р. ПШИДАТОК, асп. каф. экономики и финансового менеджмента Кубанского ГТУ,  
А.С. ГАРБУЗ, асп. каф. экономики и финансового менеджмента Кубанского ГТУ

*60x@mail.ru*

**В**традиционно сложившейся системе пользования лесом в Краснодарском крае все большее значение приобретает новый вид – рекреационное лесопользование, которое предусматривает, наряду с промышленным производством, использование лесных природных ресурсов в социальных целях – для отдыха и восстановления здоровья людей. В то же время использование лесных территорий в рекреационных целях обуславливает возникновение новых проблем, связанных с жизнью леса, и оказывает большое влияние на традиционно установившуюся хозяйственную деятельность человека в лесу.

Кубань является крупнейшим рекреационным регионом страны, располагающим богатыми и весьма разнообразными природными условиями. В объекты рекреационного пользования входят национальные парки, городские леса, лесопарки, лесопарковые части зеленых зон, леса второго и третьего поясов округов санитарной охраны курортов и дру-

гих лечебно-оздоровительных учреждений, лесохозяйственные части зеленых зон городов. Рекреационные функции выполняют также лесные полосы (50–250 м) по обеим сторонам туристских и прогулочных маршрутов в лесах различных категорий защитности, а также сельскохозяйственных угодий.

Вследствие приуроченности рекреационных лесов к наиболее обжитым местам и нерациональной хозяйственной деятельности в прошлом, на значительных площадях произошла смена пород, появились заросли кустарников, понизилась продуктивность лесов. Во всех группах типов леса преобладают ландшафты закрытых пространств.

Полуоткрытые и в редких случаях открытые ландшафты свойственны спелым и перестойным насаждениям. Максимальное количество ландшафтов открытых пространств приходится на участки можжевельникового редколесья. Отмеченные особенности рекреационных лесов свидетельствуют об их принципиальных

отличиях в зависимости от принадлежности к определенным лесотипологическим таксонам: формациям и группам типов леса. Территория рекреационных лесов региона освоена неравномерно. Интенсивно используются, как правило, участки, непосредственно примыкающие к санаторно-оздоровительным комплексам или находящиеся вблизи городов и курортных поселков. Здесь преобладают стационарные виды отдыха и оказывается максимальное антропогенное воздействие на лесные биогеоценозы. В более отдаленных местах распространены туризм и виды отдыха, не связанные с длительным пребыванием на ограниченных по площади территориях (сбор цветов, ягод, плодов, каштанов, грибов, пешие прогулки и т.п.). В условиях гор рекреационная пригодность лесов снижается в результате большой изрезанности рельефа (площади с очень крутыми и крутыми склонами достигают 34–64 %), трудной проходимости из-за внеярусной растительности (лианы) и зарослей шибляка, малой удельной площади открытых пространств (полян, лужаек, прогалин), однообразного породного состава насаждений, а также в связи с недостаточной благоустроенностью (низкая плотность дорожно-тропиночной сети, недостаточное количество организованных мест отдыха). Для вовлечения в зону активного отдыха больших площадей лесов и обеспечения отдыха и туризма необходимо расширить работы по общему благоустройству всех лесов и созданию лесопарков.

На территории края расположены Кавказский государственный природный биосферный заповедник, Сочинский национальный парк, 12 заказников, 6 дендропарков и ботанических садов, более 300 памятников природы.

Сохранить биологическое разнообразие призвана сеть особо охраняемых природных территорий. Законом Краснодарского края «Об особо охраняемых природных территориях Краснодарского края» к категории особо охраняемых природных территорий отнесены:

- государственные природные заповедники, в том числе биосферные;
- национальные парки;
- государственные природные заказники;
- государственные зоологические заказники;

- памятники природы;
- водно-болотные угодья;
- дендрологические парки и ботанические сады;
- лечебно-оздоровительные местности и курорты;
- ведомственные, запрещенные для охоты места (внутрихозяйственные заказники);
- водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы;
- лесопарки.

Лесами в Кавказском заповеднике занято 169,7 тыс. га, что составляет 62 %, лугами 67,2 тыс. га – 21 %, водоемами 1,2 тыс. га.

Флора заповедника насчитывает около 30 тыс. видов, из которых более половины сосудистые растения. В составе дендрофлоры 165 видов, из них 142 – листопадных, 16 – вечнозеленых лиственных и 7 – хвойных. Из общего числа видов реликтовых – 22 %, эндемичных – 24 %. Высокогорная флора включает в себя 819 видов травянистых растений, из которых 287 – эндемики. В Красную книгу России занесено 30 видов редких и исчезающих растений.

Фауна заповедника насчитывает около 70 видов млекопитающих, 241 вид птиц, в т.ч. 112 гнездящихся, 10 видов земноводных, 19 видов пресмыкающихся, 18 видов рыб. В Красную книгу РФ занесено 32 редких вида позвоночных животных, в Международную Красную книгу – 3 вида.

Сочинский национальный парк имеет утвержденные материалы лесоустройства. Согласно проведенному функциональному зонированию парк включает зоны: заповедную (51060 га); особо охраняемую /зону заказника/ (36585 га); рекреационную (75110 га); обслуживания посетителей (11882 га); хозяйственного назначения (19100 га).

В крае функционирует 12 заказников. Они организованы в целях сохранения и поддержания в естественном состоянии уникальных природных комплексов. В них сосредоточены экологические зоны с высокой плотностью животных и редких реликтовых растений. Заказники являются одним из основных факторов, сдерживающих падение численности охотничьих животных в регионе, поэтому нуждаются в постоянной поддержке природоохранных

организаций. В большинстве заказчиков наметилась устойчивая тенденция сокращения диких животных с одновременным ростом численности хищников, в частности, волков.

Памятники природы – это отдельные уникальные природные объекты и природные комплексы, имеющие научное, историческое, эколого-просветительское значение, нуждающиеся в особой охране государством. Данный статус в крае установлен для более 350 природных объектов, наибольшее их количество находится в причерноморской зоне. С целью изучения современного состояния и разработки предложений по оптимизации функционирования была проведена работа по частичной инвентаризации особо охраняемых природных территорий, в том числе памятников природы. Побочное пользование в крае по производству валовой продукции сопоставимо с объемами производства товарной продукции деревообработки. Такие виды побочного пользования, как заготовка лекарственного и технического

сырья, дикоплодовых ягод с переработкой на соки, джемы, пасты имели законченный цикл до реализации готовой продукции. По некоторым видам побочного пользования, таких как продукция пчеловодства, заготовка сырья для пищевых красителей – имеется выход на международный рынок.

Нелесные земли интенсивно используются для производства сельскохозяйственной продукции. В настоящее время лесничества начали заниматься побочным использованием, но в ограниченном объеме. В аренду для использования участков лесного фонда передано 4 участка общей площадью 11,6 га. Возросла востребованность участков лесного фонда в степных лесхозах для побочного пользования.

Сравнивая доходность от аренды участков лесного фонда в культурно-оздоровительных целях с доходностью от аренды по главному пользованию в зоне Причерноморья, можно сказать, что доходы от аренды в культурно-оздоровительных целях преобладают.

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО СЕКТОРА ПРОМЫШЛЕННОСТИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Б.О. ХАШИР, доц. каф. экономики и финансового менеджмента Кубанского ГТУ, канд. экон. наук,  
О.З. ХУАЖЕВ, доц. каф. экономики и финансового менеджмента Кубанского ГТУ, д-р экон. наук  
А.С. ГАРБУЗ, асп. каф. экономики и финансового менеджмента Кубанского ГТУ

*60x@mail.ru*

Лесосырьевой потенциал Краснодарского края представляет реальную и надежную основу для полноценного развития, функционирования экономики лесопромышленного комплекса. Леса Кубани уникальны по видовому разнообразию, экологическому и ресурсному потенциалу. Лесной фонд занимает 1,7 млн гектаров – пятую часть территории края. Основной лесообразующей породой края является дуб, удельный вес которого составляет 58,6 %, на долю хвойных насаждений приходится 5,1 %, буковых – 15,9 %, остальные породы занимают 12,6 %. По объему продукции, выпускаемой деревообрабатывающей промышленностью в 2007 г. (5,3 млрд руб.), край занимает первое место в Южном Федеральном округе. В 2007 г. рост производства продукции деревообработки по отношению к предыдущему году составил порядка 116 %, а объем нало-

говых платежей в консолидированный бюджет края 123,4 млн руб. В межотраслевой структуре промышленного производства края на долю лесопромышленного комплекса приходится 4 % товарной продукции.

Лесосырьевым потенциалом для переработки предприятиями в 2008 г. является древесина, поставляемая от рубок главного пользования (около 300 тыс. м<sup>3</sup> за год) и от рубок ухода (около 600 тыс. м<sup>3</sup>), что составляет в общем объеме 900–1000 тыс. м<sup>3</sup> в год. Доля крупных и средних предприятий в деревообрабатывающей промышленности составляет порядка 30–35 %, остальные предприятия относятся к малому бизнесу. Анализ структуры лесного производства в крае показывает, что доля продукции глубокой переработки древесины незначительна. Слабо развито производство древесных плит, фанеры, сращенного бруса, мебельного шита,

столярных изделий. Отходы деревообработки не перерабатываются в готовую продукцию, а в лучшем случае сжигаются в котлах для обогрева сушильных камер.

Так, объем выпуска товарной продукции в текущих ценах вырос в 2007 г. до 5269,8 млн руб. (240,7 % к уровню 2001 г.), в бюджет края предприятиями деревообработки перечислено 337,2 млн руб. (241 % к уровню 2001 г.).

Товарооборот организаций в мебельной промышленности в 2007 г. составил 2288,7 млн руб., индекс промышленного производства к уровню 2006 г. – 86,9 %. Предприятиями мебельной промышленности за 2007 г. перечислено налоговых платежей в консолидированный бюджет края 146,5 млн руб. Товарооборот организаций в целлюлозно-бумажной промышленности составил 3457,8 млн руб., индекс промышленного производства к уровню 2006 г. – 139,4 %. Общероссийский индекс производства за 2007 г. по предприятиям данной отрасли составил 98,8 %, предприятиями ЦБП перечислено налоговых платежей в бюджет края 221,2 млн руб.

В последние годы отмечаются некоторые положительные тенденции в инвестиционной и инновационной деятельности лесного комплекса края.

В последнее время в отрасли были введены производственные мощности за счет нового строительства, а также реконструкции существовавших ранее площадей, что позволило увеличить объемы производства продукции деревообработки в 2002–2007 гг. в среднем в 1,4–1,8 раза, а картона – на 3,5 тыс. т. Более 50 % инвестиций лесного комплекса края было направлено в деревообрабатывающую промышленность. В основном это собственные средства предприятий. В то же время лесная промышленность испытывает нехватку инвестиционных средств (порядка 2–5 млрд руб. ежегодно), необходимых для проведения технического перевооружения, внедрения современных технологий глубокой переработки древесины, организации выпуска нового, качественного ассортимента продукции.

К специфическим факторам, сдерживающим развитие лесопромышленного комплекса края относятся:

- неразвитость мощностей по глубокой переработке древесного сырья, создание которых может вовлечь в оборот невостребованную в настоящее время низкокачественную древесину, увеличить доходность лесного бизнеса в 4–5 раз;

- низкий уровень использования отходов лесопиления;

- недостаток инвестиций в лесопромышленный комплекс, связанный с низкой инвестиционной привлекательностью многих предприятий;

- сезонность и низкая концентрация лесозаготовительного производства;

- недостаточное количество лесовозных дорог круглогодичного действия;

- опережающий рост транспортных тарифов и цен на энергетические ресурсы по сравнению с ценами на лесную продукцию;

- недостаточный уровень рентабельности большинства предприятий лесного сектора промышленности, который ограничивает использование прибыли в качестве инвестиций в основной капитал;

- высокий уровень износа действующего оборудования, при котором сумма начисленной амортизации недостаточна для простого воспроизводства основных фондов;

- отсутствие ориентации отечественного банковского сектора на предоставление долгосрочных кредитов предприятиям лесной отрасли;

- недостаточное развитие лизинга в лесопромышленной отрасли;

- отсутствие долгосрочной аренды лесных ресурсов;

- менеджмент предприятий информационно закрыт от акционеров и потенциальных инвесторов;

- многочисленность лесопользователей и лесоэкспортеров, что приводит к демпингу цен на экспортную продукцию;

- неудовлетворительная товарная структура лесного экспорта, сохранение его сырьевой направленности;

- низкая структурированность лесного бизнеса;

- низкие доходы работников лесопромышленных предприятий.

Объемы древесины, переработанной ведущими предприятиями отрасли, свидетельствуют о том, что в суммарном объеме лесного сырья, переработанного этой группой предприятий, количество древесины, заготовленной на территории края, составило 46,1 тыс. м<sup>3</sup> (36,6 %). Количество древесины, ввезенной в край для переработки, составило 82,5 тыс. м<sup>3</sup> (63,4 %). Анализ использования сырья показывает, что они были загружены не более чем на 57 %, т.е. существует недозагрузка порядка 43 %.

В стратегических планах развития лесопромышленного комплекса края намечено дальнейшее наращивание ключевых мощностей по глубокой переработке древесины, созданию новых производств (МДФ, ОСБ), что может быть ускорено при использовании конкурентных преимуществ отечественного лесопромышленного производства.

Во-первых, это лучшие в стране потребительские свойства дубовой, буковой, каштановой древесины, использование которых в мебельной промышленности и строительной индустрии обеспечивает наилучший эффект.

Во-вторых, рынок края конечной продукции из древесины – бумаги, картона, упаковки – является одним из быстрорастущих в РФ.

В-третьих, в крае по-прежнему сравнительно дешевые сырьевые и энергетические ресурсы, стоимость рабочей силы.

При формировании стратегии развития лесного сектора промышленности края рассматриваются следующие сценарии развития:

- инерционный, предполагающий сохранение умеренной консервативной динамики развития;

- инвестиционный, предполагающий ускорение темпов экономического роста на основе максимального использования инвестиционного потенциала транспортного комплекса и связи.

Перспективными мероприятиями, направленными на развитие лесной промышленности Краснодарского края в 2008–2020 гг., являются следующие:

- техническое перевооружение отраслей промышленности;

- повышение качества и конкурентоспособности промышленной продукции

- внедрение новых передовых форм управления в отраслях промышленности;

- увеличение расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки в отраслях промышленности;

- развитие собственной и межрегиональной промышленной кооперации и интеграции;

- увеличение инвестиционной активности в отраслях промышленности;

- снижение удельного веса энергозатрат, транспортных расходов;

- глубокая переработка сырья и материалов;

- развитие собственной сырьевой базы;

- развитие малого предпринимательства в сфере промышленного производства;

- активизация внешнеэкономической деятельности;

- подготовка высококвалифицированных кадров для промышленности;

- обеспечение экологической безопасности производств.

- преобладание данного вида продукции в общем объеме промышленного производства края;

- удельный вес в общероссийском производстве данного вида промышленной продукции в натуральном выражении;

- экспортная и импортозамещающая значимость продукции;

- социальная значимость производства;

- прибыльность производства продукции;

- удельный вес производства продукции в консолидированном бюджете края;

- техническая и технологическая новизна продукции;

- выход с конкурентоспособным продуктом на рынки России и зарубежья.

Имея названные конкурентные преимущества, лесопромышленный комплекс края мог бы в ближайшей перспективе увеличить присутствие на внутреннем рынке и занять новые ниши на внешнем. Потенциальный спрос на лесную продукцию и имеющийся сырьевой потенциал могут обеспечить ежегодный рост выпуска продукции на 7–8 %.

## МОДЕЛЬ СОЦИАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ НА БАЗЕ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ г. ОСТАШКОВА ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.В. МИНАКОВА, *асп. каф. менеджмента и маркетинга МГУЛ*

*minakzgid@t50.ru*

Проведя анализ регулирования деятельности малых и средних предприятий промышленности и их социальной ответственности в России и за рубежом, основываясь на теоретическом материале и практическом опыте работы в структуре социально ориентированных предприятий в Италии, предлагаем экспериментальный проект формирования стратегии развития малых и средних предприятий лесного комплекса на базе муниципального образования г. Осташкова Тверской области.

Проект основан на создании учебно-производственного объединения и малого производства, продукция и услуги которых будут использоваться в данной местности. Проект направлен на формирование и возрождение малых предприятий лесного комплекса данного региона с использованием местной лесосырьевой базы и материалов местных производителей; организацию мебельного производства; создание специализированных классов и цехов по деревообработке и изготовлению разнообразных товаров народного потребления из древесины; организацию школьных лесничеств с применением при обучении эффективных новых технологий восстановления лесов для улучшения их качественных характеристик.

Проект предусматривает профессиональную подготовку специалистов лесной отрасли, что является актуальной проблемой в настоящее время, так как прямым следствием закрытия множества специализированных училищ и техникумов нашей отрасли явился дефицит высококвалифицированных рабочих кадров. Данные мероприятия будут способствовать повышению уровня занятости населения и созданию новых рабочих мест на базе учебно-производственного комплекса и малого производства; эффективных схем торгового и

бытового обслуживания, предназначенных для успешного решения стратегических задач устойчивого социально-экономического развития региона.

Учебно-производственная база с малым производством будет являться примером передового ведения хозяйствования и в дальнейшем может стать бизнес-инкубатором для распространения данной модели в других областях РФ. Одним из элементов инфраструктуры проекта также может стать развитие системы технопарков, на базе которых возможно формирование любого рода предприятий разных технологических уровней; осуществление комплекса мер, направленных на развитие малых и средних предприятий с созданием различных элементов предпринимательской инфраструктуры, таких как бизнес-центры, фонды поддержки и учебно-деловые центры. Такой подход позволит создать основу для развития производственных структур, позволяющих эффективно концентрировать и использовать экономические ресурсы лесной отрасли.

Необходимо отметить удобное экономико-географическое расположение Тверской области между крупными рынками сбыта – Москвы и Санкт-Петербурга. При этом Тверской регион обладает более дешевыми ресурсами и рабочей силой, что способствует развитию и расширению производств. Основной движущей силой на пути такого развития должны стать малые и средние предприятия.

Одной из наиболее значимых отраслей является деревообрабатывающая промышленность. Леса занимают более половины территории области, при этом около 40 % являются зоной лесозаготовок. Очевидна выгода осуществления максимально возможного объема обработки добываемой древесины на данной территории.

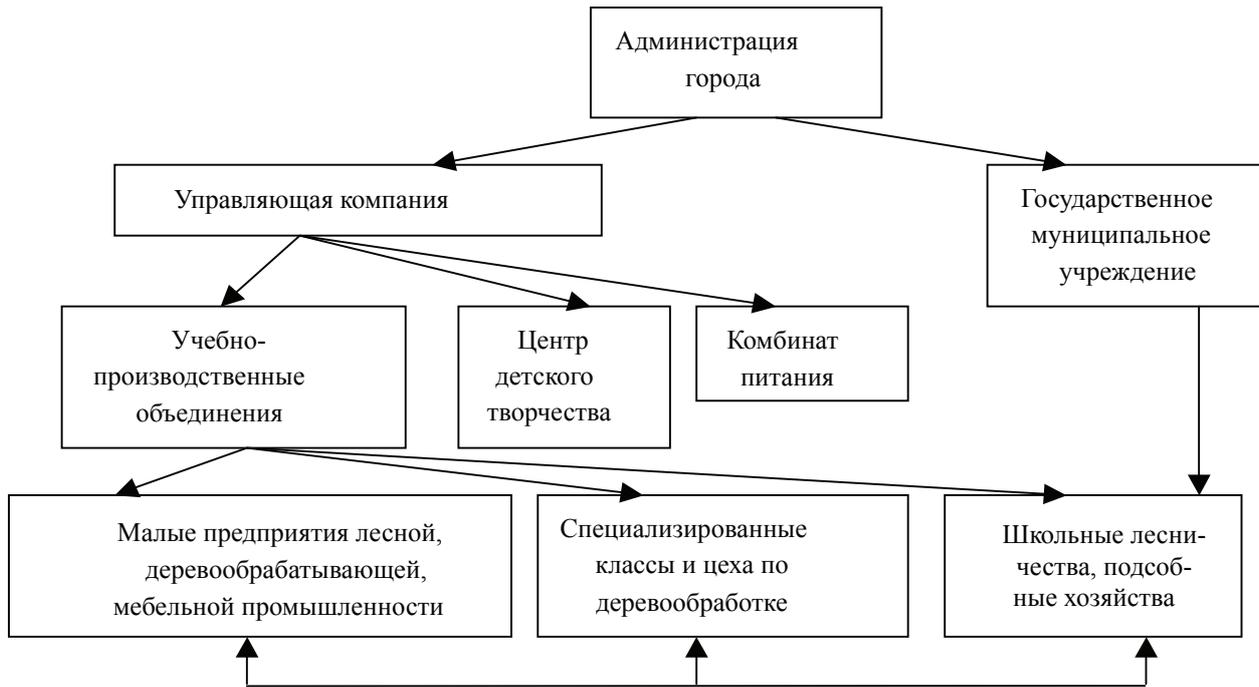


Рис. 1. Организационная структура проекта

В настоящее время по отраслевой структуре муниципальных образований около 17 % от общего количества малых предприятий в Осташковском районе заняты в лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и мебельной промышленности.

Функционирование новой структуры будет осуществляться через созданную для этих целей управляющую компанию, которой передается в собственность или аренду до 12 га земли для ведения производственной деятельности и учебного процесса.

Необходимость проекта обусловлена отсутствием стратегии развития малых и средних предприятий лесного комплекса в условиях социально ориентированной экономики и увеличением количества социально неблагополучных категорий населения. Социальный кризис в стране отразился не только на материальном аспекте проблемы, но и на нравственном здоровье молодого поколения. Обостряется проблема материально-технического обеспечения государственных образовательных учреждений, в том числе технологическим оборудованием. Имеют место проблемы адаптации выпускников государственных образовательных учреждений, вы-

бора сферы профессиональной деятельности, оптимально соответствующей запросам личностным и рынка труда.

Учебно-производственные объединения проекта являются структурным подразделением, которое приобщает к труду детей из неблагополучных, малообеспеченных и неполных семей, детей-инвалидов города. На базе учебно-производственных объединений производится практическое обучение детей и подростков специальностям лесной отрасли с обеспечением всем необходимым для работы; оплачивается трудовое участие в производственном процессе.

План размещения структур учебно-производственного объединения и малого производства представлен на рис. 2.

Организационная структура проекта предполагает создание объединений и малого производства, которые, оставаясь прежде всего учебно-производственной базой, могут быть эффективными и конкурентоспособными, изменить жизнь людей как в бытовом, так и в экономическом плане, создавая дополнительные рабочие места, принося прибыль и способствуя воспроизводству общественных благ.

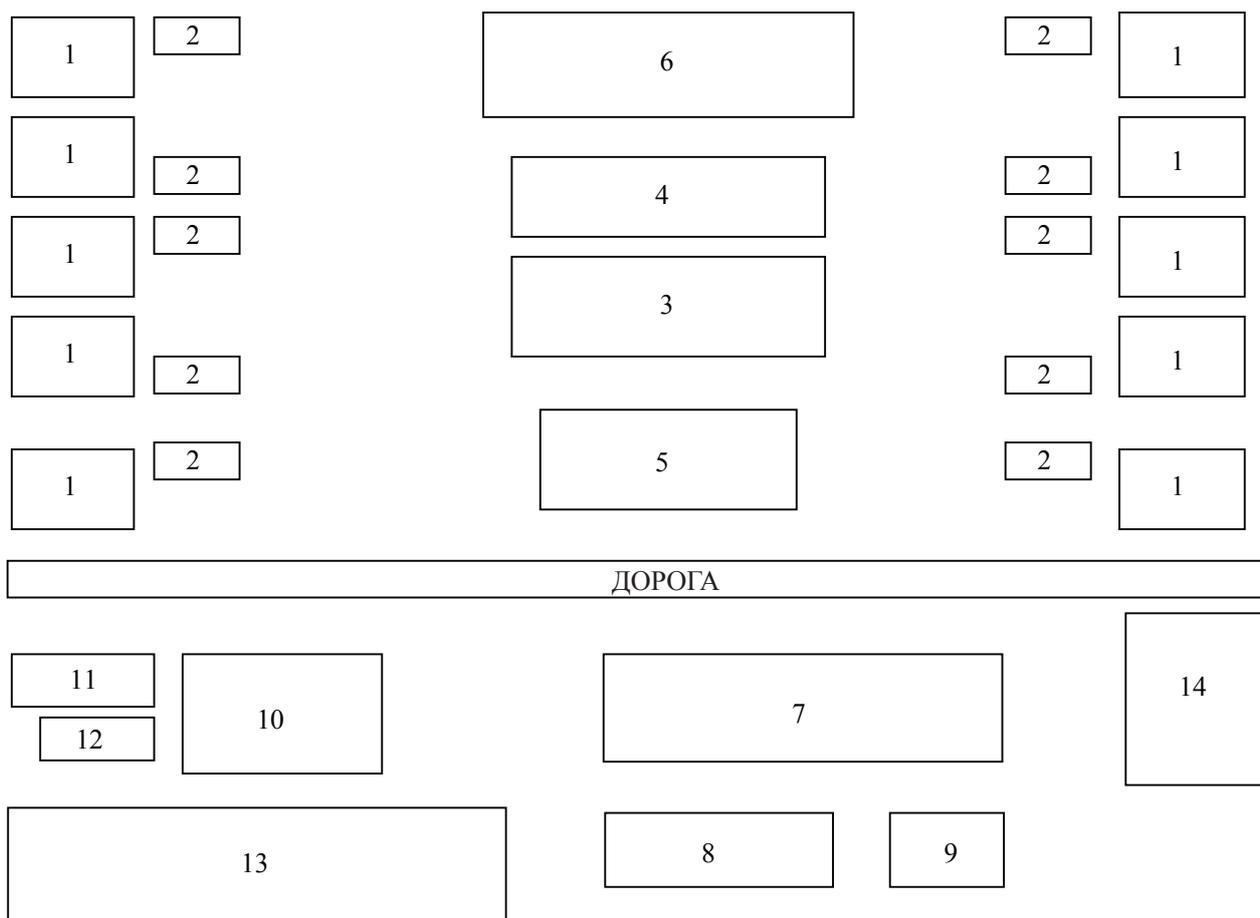


Рис. 2. План размещения структур учебно-производственного объединения и малого производства: 1 – жилые объекты; 2 – хозяйственные постройки; 3 – центр детского творчества; 4 – спортзал; 5 – бассейн, бани, медпункт; 6 – стадион; 7 – учебно-производственные объединения (специализированные цеха по деревообработке, мебельные цеха); 8 – специализированные малые производства по изготовлению товаров народного потребления из древесины; 9 – столярная мастерская, классы резьбы по дереву; 10 – комбинат питания; 11 – теплица с подогревом; 12 – птичник. 13 – школьное лесничество; 14 – гараж

Изначально определяются три цели, на которые будет выделяться часть прибыли, получаемой от деятельности учебно-производственных объединений и малых предприятий проекта:

1) на развитие малых предприятий лесного комплекса, вспомогательного производства и учебно-производственного объединения;

2) на обучение специальностям лесной отрасли и образование детей, оставшихся без попечения родителей, детей-инвалидов, детей из многодетных, неблагополучных и неполных семей города;

3) на помощь нуждающимся людям и семьям в структуре проекта, которые на-

ходятся в экономически затруднительном положении.

Особенностью проекта является сосредоточение основных усилий на человеческом факторе и связях внутри самого проекта, а основой для выживания и развития предприятий – перераспределение прибыли, полученной от реализации продукции учебно-производственных объединений и малого производства. Применение модели социальной экономики в процессе реализации стратегии развития малых и средних предприятий муниципального образования сосредотачивается не только на экономическом росте благосостояния, но и на улучшении здоровья и увеличении продолжительности жизни.

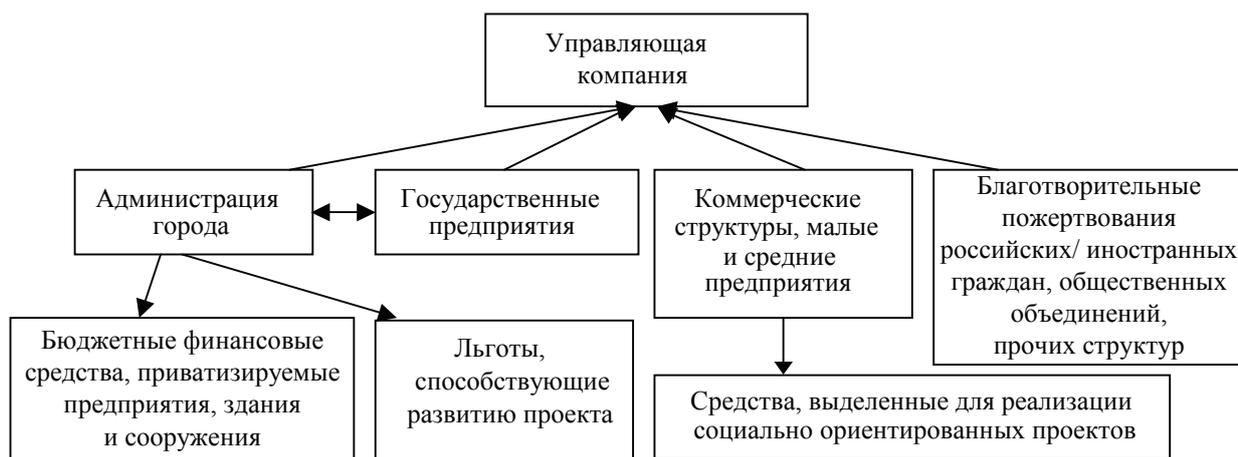


Рис. 3. Финансовое обеспечение проекта

Были определены основные этапы строительства и реализации проекта и общая сумма финансирования.

1 этап – 1 год

– создание управляющей компании, через которую идет финансирование проекта, регистрация фонда, организация административно-финансового управления;

– подготовка проектно-сметной документации на конкурсной основе;

– газификация, электрификация, водоснабжение и канализация, дорожное строительство.

2 этап – 2 год

– строительство центра детского творчества;

– строительство комбината питания и вспомогательного производства.

3 год

– строительство обособленных жилых домов для патронатных семей;

– возведение хозпостроек и покупка автомобилей для домашнего хозяйства патронатных семей.

3 этап – 4 год

– строительство стадиона с игровыми площадками и беговыми дорожками;

– обустройство сада и парковой зоны с размещением в ней шадящих аттракционов с учетом возможностей детей-инвалидов.

5 год

– строительство жилых домов для педагогов и специалистов;

– строительство учебно-производственных объединений, организация малых предприятий лесного комплекса.

4 этап – 6 год

– строительство гостиницы для приезжих специалистов, делегаций и групп по обмену опытом, гостей;

– строительство инфраструктуры: пляжа, лодочной станции и пристани с прогулочным катером на берегу озера.

Общая стоимость проекта оценивается в сумму 278 760 000 руб.

Общая сумма финансирования является примерной. По окупаемости данный проект нельзя приравнять к обычным стандартным программам, он не будет приносить прибыли в рыночном понимании этого компонента в течение 6–7 лет, но на всех этапах реализации будет получен социальный эффект, который неизмерим в стоимостном выражении и который является центральным элементом хозяйственной и экономической деятельности, проявляясь через инвестиции социальные и в человеческий капитал.

Формирование учебно-производственных программ предполагается проводить согласно прохождению определенных этапов реализации проекта. Все данные программы являются благотворительными.

Проект был утвержден к исполнению Главой администрации муниципального образования г. Осташкова.

## РЕЙТИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ВУЗОМ

В.С. ШАЛАЕВ, *проф., проректор по международным связям МГУЛ, д-р техн. наук*

*shalaev@mgul.ac.ru*

Рособразование традиционно ежегодно проводит оценку и «рейтингование» высших учебных заведений страны по определенной методике, учитывающей 41 основной показатель и отражающей определенным образом деятельность конкретного вуза. Можно спорить о достоинствах и недостатках этой методики, об объективности оценки вуза по совокупности принятых показателей и их удельном весе, однако, как известно, «отличное – враг хорошего». И в настоящее время это наиболее распространенная, достаточно долговременно и системно используемая оценка деятельности вузов в нашей стране. Укрепление ее статуса через более широкое и гибкое использование и соревновательность вузов, очевидно, позволит усилить их развитие в требуемом направлении. А целесообразность и объективность совокупности используемых показателей может совершенствоваться, корректироваться.

В печати достаточно широко обсуждаются различные системы и методики оценки деятельности и результативности вузов, их рейтинга. «Деловой рейтинг высшего образования», разработанный общероссийской общественной организацией «Деловая Россия»; рейтинг благотворительного фонда В.Потанина; независимого рейтингового агентства «РейтОР»; рейтинг «вузов в сети». Однако их объективность в таком непростом вопросе тоже не может не подвергаться определенной критике.

Методики глобальных рейтингов, например «Академический рейтинг университетов мира» Шанхайского университета (МГУ им. М.В. Ломоносова – 102–151 место, СПбГУ – 401–450 место в 2003 г.) или «Рейтинг университетов мира», приложения по высшему образованию к газете «The Times» (ни один российский вуз не вошел в число 200 лучших университетов мира в 2007 г.), вряд ли могут быть использованы для российских вузов. Действительно, такие критерии, как число сотрудников вуза, получивших Нобелевскую премию или медаль Филдса; количество статей, опубликованных в журналах

«Nature» и «Science» за последние пять лет; количество статей, вошедших в индексы научной цитируемости SCIE и SSCI в предыдущем году, весьма далеки от реалий большинства российских вузов в настоящее время.

Вместе с тем система оценки, мониторинга российских вузов, их «рейтингования» развивается и очевидно будет все более востребована обществом.

Для анализа возможно остановится на итогах оценки Рособразованием 10 российских вузов, выпускающих основное количество специалистов в области лесного дела. В первую очередь следует привести динамику исходных данных (та самая совокупность из 41 показателя) для определения рейтинга вуза по методике Рособразования (в качестве примера для Московского государственного университета леса за 2002–2007 гг.) табл. 1.

Для сравнения в табл.2 приведены исходные данные (те же самые 41 показатель, см. табл.1) за 2007 г. для 10 российских государственных вузов, выпускающих основное количество специалистов по образованию в области лесного дела.

Необходимо отметить, что в соответствии с методикой Рособразования среди 164 российских технических и технологических вузов Московский государственный университет леса находится по итогам 2007 г. на 37 позиции (табл. 3), ближайший из рассматриваемых 10 вузов, Сибирский государственный технологический университет (Красноярск) – на 75, далее следует Воронежская государственная лесотехническая академия, Марийский государственный технический университет и т.д.

Методика сбора и обработки данных Рособразования позволяет сгруппировать вузы по какому-то признаку и анализировать, оценивать, сопоставлять более детально в этом случае именно эти вузы. В табл. 4 приведены основные критерии оценок за 2007 г., сравниваемые для 10 российских вузов, выпускающих основное количество специалистов в области лесного дела.

**Динамика исходных данных за 2002–2007 гг. для определения рейтинга  
Московского государственного университета леса  
по методике Рособразования**

Наименование исходного данного	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1 Лица, имеющие ученую степень доктора наук, чел. (штатные)	82	82	82	88	90	88
2 Лица, имеющие ученое звание профессора (без учета пункта 1), чел. (штатные)	11	10	9	9	8	14
3 Доктора наук и лица, имеющие ученое звание профессора, в возрасте до 50 лет (одно и то же лицо учитывается только один раз), чел. (штатные)	6	6	15	17	16	8
4 Лица, имеющие ученую степень кандидата наук (без учета пунктов 1–3), чел. (штатные)	312	294	320	330	335	302
5 Кандидаты наук в возрасте до 30 лет (без учета пунктов 1–3), чел. (штатные)	14	19	30	35	35	40
6 Члены Российской академии наук, чел. (штатные)	0	0	0	0	0	0
7 Члены других государственных академий России (лица, относящиеся и к п. 6, не учитываются), чел. (штатные)	2	2	2	2	2	2
8 Общее количество штатных преподавателей, чел. (штатные)	672	672	695	665	663	639
9 Лица, имеющие ученую степень доктора наук, чел. (совместители)	40	36	40	40	41	41
10 Лица, имеющие ученое звание профессора (без учета пункта 9), чел. (совместители)	2	8	3	3	4	4
11 Члены Российской академии наук, чел. (совместители)	0	1	1	1	3	3
12 Члены других государственных академий России (лица, относящиеся и к п. 11, не учитываются), чел. (совместители)	1	3	3	4	4	4
13 Общее количество преподавателей, работающих по совместительству, чел. (совместители)	107	101	152	167	149	123
14. Студенты дневной формы обучения	6267	6378	6417	6599	6204	5867
15 Студенты очно-заочной формы обучения, чел.	659	520	467	523	488	476
16 Студенты заочной формы обучения, чел.	4657	4804	5179	4685	5109	5564
17 Аспиранты дневной формы обучения, чел.	249	220	220	210	210	201
18 Аспиранты заочной формы обучения, чел.	59	62	55	61	89	99
19 Все иностранные граждане, обучавшиеся в отчетном году на контрактной основе, в том числе и относящиеся к пунктам 14+18, чел.	131	95	96	130	144	167
20 Количество утвержденных ВАКом докторских диссертаций, защищенных в советах вуза за последние три года, един.	15	11	23	25	27	31
21 Количество успешно защищенных в советах вуза за последние три года кандидатских диссертаций, един.	79	83	111	117	114	129
22 Количество аспирантов вуза, успешно защитивших кандидатские диссертации в отчетном году, но не позднее одного года после окончания аспирантуры, чел.	27	18	25	32	36	39
23 Количество утвержденных ВАКом докторских диссертаций, защищенных сотрудниками вуза за последние три года вне советов вуза, един.	4	4	4	5	7	9
24 Количество аспирантов и сотрудников вуза, успешно защитивших кандидатские диссертации за последние три года вне советов вуза, един.	22	15	26	33	27	32
25 Объем госбюджетных работ и освоенных грантов на научные исследования, выполненных собственными силами, тыс. руб.	6867,1	10422	14069	10321,8	21046	28883,6
26 Объем хоздоговорных работ, выполненных собственными силами, тыс. руб.	8939,6	14571	16940	20546,9	12493	12208,4
27 Учебники с грифами Минобразования России и других министерств и ведомств, имеющих подведомственные вузы, един.	7	15	10	11	8	8

Наименование исходного данного	2002	2003	2004	2005	2006	2007
28 Учебники с грифами учебно-методических объединений вузов и научно-методических советов Минобразования России по дисциплинам, един.	3	8	10	12	10	11
29 Учебные пособия с грифами Минобразования России и других министерств и ведомств, имеющих подведомственные вузы, един.	1	1	2	9	6	10
30 Учебные пособия с грифами учебно-методических объединений вузов и научно-методических советов Минобразования России по дисциплинам, един.	21	32	36	46	48	49
31 Сумма бюджетных ассигнований на отчетный год (без учета пункта 25), тыс. руб.	102541,1	111415	162812	18808	232500	291781
32 Общая стоимость машин и оборудования, тыс. руб.	62582,1	162774	192349	212049	222050	247064
33 Общая площадь учебно-лабораторной базы, тыс. кв.м.	71,6	80	120	120	120	120
34 Общее количество персональных компьютеров и компьютерных рабочих станций в вузе, един.	588	632	1108	1200	1300	1403
35 Общее количество единиц хранения библиотечного фонда, тыс.	735	761	942	965	604	704
36 Внебюджетные средства, перечисленные вузу в отчетном году физическими и юридическими лицами (без учета п. 26 и п.37), включая стоимость переданного оборудования, тыс. руб.	140132,1	183317	228367	272030	279000	281210
37 Средства, полученные вузом в отчетном году за подготовку иностранных граждан (включая стоимость переданного оборудования), тыс. руб.	3049,8	4995	5705	7120	7500	11000
38 Обеспеченность иногородних студентов общежитием (не более 100 %, вузы, не имеющие иногородних студентов, показывают 100), %	100	100	100	100	100	100
39 Обеспеченность местами в предприятиях общественного питания (в процентах к нормативу, но не более 100 %, норматив – 200 мест на 1000 студентов), %	80	80	80	80	85	85
40 Количество мест в санаториях-профилакториях, един.	100	100	100	100	100	100
41 Общая полезная площадь крытых спортивных сооружений, кв.м.	2355	2355	8600	8600	8600	8600

Т а б л и ц а   2

**Исходные данные за 2007 год для 10 российских государственных вузов, выпускающих основное количество специалистов в области лесного дела**

Номера показателей исходных данных (табл. 1)	Наименование вуза									
	Архангельский ГТУ	Братский ГУ	Брянская ГИТА	Воронежская ГЛТА	Марийский ГТУ	МГУЛ	С.-Петербургская ГЛТА	С.-Петербургский ГТУ растительных полимеров	Сибирский ГТУ	Уральский ГЛТУ
1	52	14	26	56	70	88	78	36	57	45
2	7	3	1	2	4	14	6	5	12	6
3	7	2	2	11	13	8	3	3	2	2
4	309	144	180	193	370	302	335	169	441	232
5	54	10	36	50	40	40	13	16	41	14
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	2	0	2	3	0
8	589	346	367	352	663	639	637	309	853	497
9	7	56	10	11	18	41	36	17	104	25
10	0	0	1	2	0	4	0	0	3	0
11	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1
12	0	0	1	0	0	4	0	0	1	0

Номера показателей исходных данных (табл. 1)	Наименование вуза									
	Архангельский ГТУ	Братский ГУ	Брянская ГИТА	Воронежская ГЛТА	Марийский ГТУ	МГУЛ	С.-Петербургская ГЛТА	С.-Петербургский ГТУ растительных полимеров	Сибирский ГТУ	Уральский ГЛТУ
13	51	100	86	63	123	123	177	119	267	82
14	6714	5332	3772	3649	7322	5867	7897	2877	7121	5405
15	1216	0	0	0	0	476	548	313	240	243
16	4780	4609	2201	2577	4847	5564	7275	1611	7382	4435
17	102	165	62	134	149	201	90	60	169	91
18	33	119	11	42	59	99	26	53	157	52
19	45	6	431	41	3	167	74	12	12	14
20	1	0	1	6	11	31	5	2	9	3
21	49	27	9	86	96	129	57	19	182	62
22	13	26	16	15	14	39	46	5	30	31
23	4	8	1	5	8	9	5	3	4	3
24	26	27	27	23	30	32	7	20	43	14
25	8859	8267	1298	7517	66866	28884	12122	1596	14976	3271
26	42182	21265	3711	1107	61877	12208	5856	11104	22010	12845
27	0	0	0	0	0	8	3	1	0	0
28	0	0	0	2	5	11	7	1	0	0
29	0	0	7	0	3	10	0	0	1	1
30	46	52	14	21	43	49	15	22	13	20
31	330438	415301	121999	146223	344000	291781	390507	133324	440766	246693
32	190079	97054	44487	53146	185361	247064	76387	74311	170458	100173
33	373,5	145,1	36,3	32,1	90,6	120	121,2	39	84,4	59,7
34	1477	1176	751	664	1364	1403	1055	528	1284	1563
35	920,6	650,9	406,3	589,9	863,6	704	1524,6	889,2	1212,8	837,9
36	258732	158743	60082	85036	198542	281210	191728	86682	228641	211383
37	1741,7	0	7512	2471,1	0	11000	5727,4	595,2	46,1	509,4
38	92	69	100	80	70	100	100	100	93	88
39	71	66	66	80	25	85	68	100	67	88
40	100	50	0	0	50	100	100	80	100	100
41	6309	2180	1445	1349	4309	8600	2938	2195	4494,6	11647

Т а б л и ц а 3

**Оценка деятельности технических и технологических вузов  
за 2007 год по методике Рособразования**

№ п/п	Оценка	Наименование вуза
1	1,000	Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана
2	0,868	Московский государственный технологический университет «Станкин»
3	0,816	Российский государственный университет нефти и газа (Москва)
37	0,558	Московский государственный университет леса
75	0,444	Сибирский государственный технологический университет (Красноярск)
83	0,418	Воронежская государственная лесотехническая академия
94	0,398	Марийский государственный технический университет
114	0,358	С.-Петербургская государственная лесотехническая академия
115	0,354	Уральский государственный лесотехнический университет (Екатеринбург)
128	0,328	Архангельский государственный технический университет
134	0,321	Братский государственный университет
142	0,300	С.-Петербургский государственный технол.университет растительных полимеров
148	0,279	Брянская государственная инженерно-технологическая академия
164	0,123	Якутский государственный инженерно-технический институт

**Основные критерии оценок за 2007 год для 10 российских вузов,  
выпускающих основное количество специалистов в области лесного дела**

	Наименование вуза									
	Архангельский ГТУ	Братский ГУ	Брянская ГИТА	Воронежская ГЛТА	Марийский ГТУ	МГУЛ	С.-Петербургская ГЛТА	С.-Петербургский ГТУ раститель- ных полимеров	Сибирский ГТУ	Уральский ГЛТУ
1 вес 0,75	0,623	0,431	0,653	0,995	0,763	1,000	0,704	0,994	0,911	0,676
2 вес 0,15	0,493	0,129	0,549	1,000	0,460	0,456	0,116	0,388	0,301	0,164
3 вес 0,1	0,000	0,000	0,405	0,000	0,000	1,000	0,000	0,760	0,591	0,145
4 вес 0,2	1,000	0,495	0,184	0,165	0,233	0,361	0,273	0,254	0,208	0,201
5 вес 0,2	0,685	0,446	0,303	0,367	0,642	1,000	0,231	0,651	0,566	0,453
6 вес 0,3	0,753	0,764	0,725	0,648	0,669	0,803	0,452	0,655	0,603	1,000
7 вес 0,3	0,426	0,384	0,356	0,522	0,384	0,366	0,592	1,000	0,516	0,486
8 вес 0,25	0,920	0,690	1,000	0,800	0,700	1,000	1,000	1,000	0,930	0,880
9 вес 0,25	0,710	0,660	0,660	0,800	0,250	0,850	0,680	1,000	0,670	0,880
10 вес 0,25	0,514	0,328	0,000	0,000	0,247	0,577	0,432	1,000	0,473	0,645
11 вес 0,25	0,432	0,190	0,187	0,177	0,283	0,661	0,169	0,365	0,283	1,000
12 вес 0,4	0,840	0,659	0,444	0,439	0,874	0,748	1,000	0,345	0,012	0,669
13 вес 0,1	0,399	0,920	0,439	1,000	0,572	0,927	0,293	0,666	0,718	0,480
14 вес 0,2	0,297	0,757	0,691	0,656	0,307	1,000	0,882	0,278	0,631	0,888
15 вес 0,3	0,277	0,311	0,244	0,844	0,551	1,000	0,247	0,410	0,748	0,304
16 вес 0,25	0,138	0,164	0,038	0,224	1,000	0,505	0,158	0,060	0,215	0,064
17 вес 0,3	0,709	0,456	0,118	0,036	1,000	0,230	0,083	0,454	0,341	0,271
18 вес 0,1	0,201	0,289	0,231	0,259	0,311	1,000	0,293	0,393	0,060	0,121
19 вес 0,35	0,628	0,461	0,582	0,478	0,435	1,000	0,476	0,513	0,480	0,618

1 – квалификация профессорско-преподавательского состава; 2 – перспективность профессорско-преподавательского состава; 3 – связь с академической наукой; 4 – обеспеченность учебно-лабораторной базой; 5 – обеспеченность инструментальной базой; 6 – обеспеченность компьютерной базой; 7 – обеспеченность библиотечными фондами; 8 – обеспеченность местами в общежитии; 9 – обеспеченность общественными питанием; 10 – санаторно-профилактическая база; 11 – спортивная база; 12 – подготовка специалистов; 13 – аспирантура; 14 – эффективность аспирантуры; 15 – подготовка кадров высшей квалификации; 16 – госзаказ на научные исследования; 17 – конкурентность прикладной науки; 18 – производство учебной литературы; 19 – конкурентность учебно-производственной деятельности.

**Оценка деятельности за 2007 год для 10 российских вузов, выпускающих  
основное количество специалистов в области лесного дела**

Наименование вуза	Раздел 1 вес 0,35	Раздел 2 вес 0,1	Раздел 3 вес 0,1	Оценка «П»	Раздел 4 вес 0,3	Раздел 5 вес 0,15	Оценка «А»	Э=А/П	Оценка вуза	Раздел 1 х „Э»	Скорр. оценка «П»	Скорр. оценка вуза
Московский государственный университет леса	1,000	0,902	0,907	0,998	1,000	0,880	1,000	0,771	1,000	1,000	1,000	1,000
Марийский государственный технический университет	0,698	0,711	0,435	0,675	0,710	1,000	0,840	0,958	0,758	0,868	0,788	0,814
Сибирский государственный технологический университет (Красноярск)	0,857	0,710	0,692	0,827	0,883	0,450	0,769	0,715	0,799	0,795	0,788	0,779
Воронежская государственная лесотехническая академия	0,976	0,662	0,522	0,865	0,740	0,355	0,637	0,566	0,752	0,717	0,696	0,666
Архангельский государственный технический университет	0,589	1,000	0,756	0,718	0,581	0,664	0,634	0,680	0,677	0,520	0,673	0,654
Уральский государственный лесотехнический университет (Екатеринбург)	0,585	0,835	1,000	0,736	0,676	0,444	0,623	0,651	0,681	0,503	0,677	0,650
С.-Петербургская государственная лесотехническая академия	0,594	0,600	0,670	0,629	0,762	0,355	0,653	0,797	0,642	0,615	0,644	0,649
Братский государственный университет	0,373	0,771	0,549	0,493	0,673	0,502	0,642	1,000	0,568	0,484	0,568	0,605
С.-Петербургский государственный технол. университет растительных полимеров	0,958	0,981	0,988	1,000	0,430	0,505	0,474	0,364	0,738	0,452	0,669	0,571
Брянская государственная инженерно-технологическая академия	0,667	0,610	0,542	0,655	0,485	0,371	0,466	0,547	0,561	0,473	0,529	0,497

В табл. 5 на основании вышеприведенных 41 показателей и 19 критериев оценок, их удельных весов приведена относительная оценка деятельности по каждому из рассматриваемых 10 вузов. Структура критериев соответствует иерархической декомпозиции сложной глобальной цели системы определения оценки вузов, содержательно определенной как «Обеспечение соответствия содержания и качества образования потребностям граждан и комплексу общественно-государственных требований». Декомпозиция глобальной цели выполнена с использованием

эвристических экспертных процедур с учетом традиций и сложившихся отношений в системе образования.

Значения критериев, обеспечивающих оценку степени достижения элементарных целей, определяются по значениям исходных данных. Основными свойствами исходных данных являются релевантность, измеримость, проверяемость и относительная стабильность.

В качестве базы – параметра, обеспечивающего сопоставимость значений критериев для объектов с существенно различны-

ми масштабами деятельности, используется приведенный контингент студентов, при этом большинство критериев имеет смысл потенциального или продуктивного обеспечения образовательных услуг в расчете на одного студента. Кроме базы при формировании выражений для определения значений локальных критериев используются коэффициенты приведения, обеспечивающие соизмеримость и соразмерность исходных данных, входящих в состав критерия.

Таким образом, в разделе 1 приведена оценка интеллектуального потенциала по трем показателям: квалификация профессорско-преподавательского состава, перспективность профессорско-преподавательского состава и связь с академической наукой; в разделе 2 приведена оценка материальной и информационной базы по четырем показателям: обеспеченность учебно-лабораторной базой, инструментальной базой, компьютерной базой и библиотечным фондом; в разделе 3 приведена оценка социально-культурной базы по четырем показателям: обеспеченность местами в общежитии, общественным питанием, санаторно-профилактической базой и спортивной базой. Оценка «П» в этом случае характеризует относительный потенциал для этих 10 вузов. Соответственно раздел 4 – оценка подготовки кадров по пяти показателям: подготовке специалистов, аспирантуре, эффективности аспирантуры, продуктивности кандидатских спецсоветов и подготовке кадров высшей квалификации; раздел 5 – оценка производства и апробации знаний и технологий по четырем показателям: госзаказу на научные исследования, конкурентности прикладной науки, производству учебной литературы и конкурентности учебно-производственной деятельности. Оценка «А» в этом случае характеризует относительную результативность по 10 вузам. Соответствующая и известная методика приводит полученные по разделам оценки к сопоставимому по рассматриваемым вузам виду и позволяет привести скорректированную оценку вуза (табл. 5).

Анализ приведенных данных позволяет оценить и сопоставить характеристики вузов, сделать определенные выводы по различным (слабым и сильным) показателям, наметить направления развития. Например, в Марийском государственном техническом университете (МГТУ) наиболее значимые среди рассматриваемых вузов показатели объемов как госбюджетных, так и хоздоговорных работ. Это, очевидно, позволяет МарГТУ получить наибольшую оценку критерия по разделу 5 «Производство и апробация знаний и технологий». Или же наивысшая оценка критерия по разделу 2 «Материальная и информационная база» для Архангельского государственного технического университета подтверждается наибольшими показателями: по количеству компьютеров в вузе, площади учебно-лабораторной базы и др. Наибольшая оценка раздела «П» подтверждает потенциал Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров.

Вместе с тем для Московского государственного университета леса (МГУЛ) недостаточен уровень молодых остепененных преподавателей; по количеству успешно защищенных кандидатских диссертаций МГУЛ отстает от Сибирского государственного технологического университета, а по объемам госбюджетных НИР – от МарГТУ; по объемам хоздоговорных работ МГУЛ вообще на шестом месте среди рассматриваемых 10 вузов, так же как и по величине библиотечного фонда. Это предопределяет направления необходимого развития вуза для успешного позиционирования не только среди вузов лесного профиля.

Причем, следует отметить, если рассматривать результаты итогов 2007 года для всех 578 вузов, представивших данные в Рособразование, Московский государственный университет леса располагается (хотя и первый среди 10 анализируемых вузов) на 163 позиции. В этом случае МГУЛ имеет перспективы роста и развития в системе российского высшего образования.

**Бессчетнова Н.Н. К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ОБЩЕЙ КОМБИНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ.**

Получены оценки общей комбинационной способности плюсовых деревьев сосны обыкновенной, выделенных в лесхозах Нижегородской области. Установлена наследственно обусловленная неоднородность семенных генераций плюсовых деревьев по высоте сеянцев. Зафиксировано отсутствие существенных различий между полусибсовыми семьями и контролем по высоте сеянцев. Показана высокая степень зависимости высоты сеянцев от специфики погодных условий. Обоснована необходимость сравнений только одновременно выращенного посадочного материала.

Ключевые слова: комбинационная способность, плюсовые деревья, семенные генерации.

**Besschetnova N.N. TO THE QUESTION ON THE ESTIMATION OF THE GENERAL COMBINATIONAL ABILITY OF THE PLUS TREES OF A SCOTS PINE.**

Estimations of the general combinational ability of the plus-trees of a Scots Pine, allocated in forest's enterprises of the Nizhniy Novgorod area are received. It is established is hereditary the caused heterogeneity of seed generations of the plus-trees on height of annual plants of a seed origin. Absence of essential distinctions between semi sibling's families and the control over height of the plants which have been brought up from seeds is fixed. The high degree of dependence of height of plants of a seed origin from specificity of weather conditions is shown. Necessity of comparisons only simultaneously brought up landing material is proved.

**Дегтярева С.И. ФЛОРИСТИКО-ЦЕНОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БРИОФЛОРЫ ТИПИЧНЫХ АССОЦИАЦИЙ ЛЕСОСТЕПНЫХ ДУБРАВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ.**

Предложены информативные параметры биоразнообразия. С учетом выбранных параметров проанализирован моховой компонент типичных ассоциаций лесостепных дубрав Воронежской области. Установлены четкие тенденции в изменении показателей биоразнообразия и степень развития эпифитных мохообразных в ряду ассоциаций.

Ключевые слова: бриофлора, лесостепные дубравы, параметры.

**Degtyareva S.I. FLORA AND COEN ANALYSIS OF BIOFLORA OF VORONEZH REGION PARTIALLY-WOODED STEPPE DISTRICTS OF LEAFY WOOD TYPICAL ASSOCIATIONS.**

Informational parameters of biodiversity are offered. With consideration of chosen parameters of those associations moss component was analyzed. The tendency of biodiversity indicators changing moss development level are established.

**Ялынская Е.Е., Чернобровкина Н.П. УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ К СНЕЖНОМУ ШЮТТЕ КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ БОРОМ.**

Статья посвящена решению актуальной проблемы лесного хозяйства – разработке функциональных методов диагностики обеспеченности растений микроэлементами. Был использован метод функциональной диагностики минерального питания сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по критерию их устойчивости к снежному шютте. Установлено, что по данному критерию можно определить оптимальный уровень микроэлемента в органах в зависимости от фона минерального питания.

Ключевые слова: бор, снежное шютте, микроэлементы, минеральное питание.

**Yalynskaya E.E., Chernobrovkina N.P. RESISTANCE OF SCOTS PINE SEEDLINGS TO PHACIDIUM INFESTANS AS THE INTEGRAL INDEX OF FUNCTIONAL DIAGNOSE OF BORON SUPPLY.**

Article is devoted to decision of actual problem of forestry – developing of functional methods of diagnose of microelements plant supply. We used functional diagnostic method of mineral nutritious of

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) according criterion of their resistance to Phacidium infectans. We found, that according this criterion can be estimated the optimal level of microelements in organs, which depend from mineral nutrition level of soil.

**Фирсов Г.А., Фадеева И.В., Волчанская А.В. ВЛИЯНИЕ МЕТЕОФЕНОЛОГИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ ЗИМЫ 2006/07 г. НА ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ.**

Продолжающееся потепление климата влияет на уровни адаптированности древесных растений местной и интродуцированной дендрофлоры Санкт-Петербурга. Фенологическая зима 2006/07 гг. была рекордно короткой (41 день) и аномально теплой. В декабре и январе наблюдалось цветение, бутонизация, разверзание почек, облиствение и рост побегов ряда видов древесных экзотов и даже видов местной флоры, что в обычных условиях характерно для марта–апреля–мая. Изменение метеорологической ситуации вносит коррективы в представление об уровнях адаптированности интродуцентов и о перспективах их разведения.

Ключевые слова: потепление, дендрофлора, адаптированность, интродуценты.

**Firsov G.A., Fadeeva I.V., Volchanskaya A.V. INFLUENCE OF METEO-PHENOLOGICAL ANOMALY OF WINTER 2006/07 ON ARBOREAL PLANTS AT SAINT-PETERSBURG.**

The influence of abnormally warm winter 2006/07 at Saint-Petersburg (North-Western part of Russia) on the levels of adaptation of native and introduced arboreal plants has been discussed. The peculiarities of that winter were in abnormally warm temperatures in December and in the first and second decades of January, followed by frosty weather in the end of January and in February, which effected first of all on the plants with short period of winter rest.

**Доронищева Е.В., Мартынюк А.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КИСЛОТНЫХ ОСАДКОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЗОНЫ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ.**

В статье показаны результаты экспериментальных исследований влияния кислотных осадков, вызывающих существенные изменения катионообменных свойств лесных почв, наиболее распространенных в зоне хвойно-широколиственных лесов.

Ключевые слова: кислотные осадки, катионообменные свойства, лесные почвы.

**Doronicheva E.V., Martinujk A.A. PILOT STUDY OF ACID PRECIPITATIONS EFFECTS ON CHANGES OF SOME FOREST SOIL GROWING INDICATORS IN CONIFEROUS AND BROAD-LEAF FOREST ZONE.**

The paper shows pilot study results of acid precipitation effects that cause significant changes in cation exchange characteristics of forest soils mostly common in coniferous and broad-leaf forest zone.

**Степаненко И.И., Чумаченко С.И. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ МЕТОДОВ ЛЕСОВЫРАЩИВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ И СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ.**

В статье показаны математические модели для прогнозирования влияния разных доз и повторности внесения азотных удобрений на формирование и строение древесины сосны.

Ключевые слова: прогнозирование, повторность, азотные удобрения, древесина сосны.

**Stepanenko I.I., Chumachenko S.I. USE OF MATHEMATIC MODEL FOR PROGNOSIS OF INTENSIVE METHOD FOREST MANAGEMENT INFLUENCE ON THE PINE WOOD FORMING AND STRUCTURE.**

The mathematic model for prognosis of nitrogen fertilizers influence in different doses and repetitions on the pine wood forming and structure are presented.

**Хабибуллина Ф.М., Творожникова Т.А., Лиханова И.А., Лаптева Е.М. ПОЧВЕННАЯ МИКРОБИОТА ПРОИЗВОДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ОЛЬХИ СЕРОЙ.**

Рассмотрены особенности микробных комплексов, участвующих в минерализации растительных остатков в ольшанике, сформированном на постстехногенном суглинистом субстрате в среднетаежной зоне Республики Коми. Показано, что в органогенном слое почвы преобладает по биомассе мицелий грибов, прокариотические микроорганизмы составляют не более 1,3 % от общей биомассы микроорганизмов. Деструкция растительного опада наиболее активно протекает в весенний период, что сопровождается в этот период всплеском численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов.

Ключевые слова: микромицеты, наземные экосистемы, техногенные ландшафты.

**Khabibullina F.M., Tvorognikova T.A., Likhanova I.A., Lapteva E.M. MICROBIOTA OF SOILS UNDER THE DERIVATIVE PLANTATIONS OF ALDER-TREE.**

The features of microbial complexes, taking part in the mineralization of plant residuals in the alder-tree forests, formed on the anthropogenic loamy substratum in the middle taiga of Komi Republic, are observed in the work. It was shown that mycelium biomass of fungi predominates in the organic layer of the soils; prokaryotic microorganisms are 1,3 % of the whole microorganism's biomass. Destruction of plant residuals flows in the spring period, when there is a splash of amount of the main trophic and ecological groups of microorganisms.

**Манвелидзе З.К., Долидзе Л.Т., Варшанидзе Н.И. О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВ ДУБОВЫХ ЛЕСОВ ВНУТРИГОРНОЙ АДЖАРИИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.**

Рассматриваются закономерности трансформации основных физических и водоуправляемых свойств, показателей гумуса и питательных элементов почв дубовых лесов внутригорной Аджарии при разной степени антропогенных нагрузок.

Ключевые слова: свойства почвы, трансформация, антропогенные нагрузки.

**Manvelidze Z.K., Dolidze L.T., Varshanidze N.I. ABOUT LAWS OF TRANSFORMATION OF THE BASIC PROPERTIES OF SOILS OF OAK WOODS INTRAMOUNTAIN ADZHARIYA IN THE CONDITIONS OF ANTHROPOGENOUS INFLUENCES.**

Laws of transformation of the basic physical and water operated properties, indicators nutritious elements of soils of oak woods intramountain adzhariya are considered at different degree of anthropogenous loadings.

**Янников И.М., Козловская Н.В., Медведева А.В. БИОМОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ПО ХРАНЕНИЮ И УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ.**

Экологический мониторинг загрязнения местности, наряду с классическими подсистемами и компонентами, должен включать организацию экологического полигона. Задача мониторинга биоты – адаптация и развитие методической базы эколого-аналитического контроля, обеспечение деятельности по развитию системы контроля объектов по хранению и уничтожению химического оружия. При этом чрезвычайно важны диагностика и мониторинг влияния малых доз – в диапазоне значений от фоновых до ПДК, что редко учитывается при классическом подходе.

Ключевые слова: биомониторинг, экологический полигон, контроль, химическое оружие.

**Yannikov I.M., Kozlovskaya N.V., Medvedeva A.V. BIOMONITORING OBJECTS AS TO STORAGE AND THE ANNIHILATION OF CHEMICAL WEAPON ON THE EXAMPLE OF UDMURTSKOI REPUBLIC.**

The ecological control of the pollution of locality, alongside with classic subsystems and components, must include organising of ecological testing area. The task of control biota adaptation and the development of the methodological basis of ecology-analytical control, ensuring of activity as to the development of the system of the control of objects as to storage and the annihilation of chemical weapon. Whereat exceedingly

important diagnostics and the control of the influence of small doses – in the range of significances from background till PDK, what rarely is taken into account in classic approach.

**Бунаков П.Ю., Стариков А.В., Бакулин И.А., Старикова А.А., Харин В.Н. КОМПЛЕКСНАЯ САПР – ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СОВРЕМЕННОГО МЕБЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.**

В статье рассматриваются положения концепции безошибочного проектирования и производства сложных мебельных изделий как методологической основы комплексной автоматизации мебельных предприятий. Приводится обобщенная структурная схема информационных потоков мебельного предприятия и описание основных функциональных подсистем в составе перспективной комплексной САПР. Формулируются особенности современной организации промышленного производства на мебельном предприятии, которые определяют специфику его автоматизации.

Ключевые слова: комплексная САПР, мебельное предприятие.

**Bunakov P.J., Starikov A.V., Bakulin I.A., Starikova A.A., Kharin V.N. CAD/CAM/CAE/PDM SYSTEM is the BASIS of CONSTRUCTION of an INFORMATION INFRASTRUCTURE of the MODERN FURNIT.**

In clause the rules of the concept of correct designing and manufactures of complex furniture products, as methodological basis of complex automation of the furniture enterprises are considered. The generalized block diagram of information flows of the furniture enterprise and description of the basic functional subsystems in structure perspective CAD/CAM/CAE/PDM system is resulted. The features of modern organization of industrial manufacture at the furniture enterprise are formulated which define specificity of its automation.

**Рукомойников К.П., Виноградов П.Н. СПОСОБ ПРОДОЛЬНОЙ РАСПИЛОВКИ СОРТИМЕНТОВ И СТАНОК ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ.**

Предложены разработки способа продольной распиловки лесоматериалов и станка для ее осуществления, позволяющие повысить выход готовой продукции в виде обрезных пиломатериалов, и эффективность их производства. Внедрение полученных результатов позволит повысить эффективность продольной распиловки.

Ключевые слова: продольная распиловка, выход продукции, обрезные пиломатериалы.

**Rukomojnikov K.P., Vinogradov P.N. THE WAY OF LONGITUDINAL SAWING UP OF LOGS AND THE MACHINE TOOL FOR ITS REALIZATION.**

Scientific researches are devoted to development of a way of longitudinal sawing up of forest products and the machine tool for its realization, allowing to raise an output of finished goods in the form of edging saw-timbers. The purpose of scientific work: increase of a production efficiency of edging saw-timbers. Introduction of the received results on manufacture will allow to raise efficiency of longitudinal sawing up.

**Торопов А.С., Шарапов Е.С. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСКРОЯ ДРЕВЕСИНЫ, ПОРАЖЕННОЙ СЕРДЦЕВИННОЙ ГНИЛЬЮ.**

Представлена актуальность переработки древесины, пораженной сердцевинной гнилью. Приведены возможные объемы поступления низкокачественной древесины в производство. Рассмотрены новые технологии и оборудование для рационального использования древесины, пораженной сердцевинной гнилью.

Ключевые слова: раскрой древесины, сердцевинная гниль, новые технологии.

**Toropov A.S., Sharapov E.S. NEW TECHNOLOGIES OF DIVIDING WOOD STRUCK BY CENTRAL ROT.**

The urgency of processing of wood is submitted. Probable volumes of reception bad quality wood to manufacture are resulted. New technologies and equipment for rational using wood struck by central rot are considered.

**Шереметьева Т.В., Титунин А.А. ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.**

Рассматривается вопрос использования осины в производстве деревянных клееных конструкций. Исследуется прочность деревянных клееных конструкций из осины и сосны при скалывании вдоль волокон, при раскалывании и их стойкость к расслаиванию. Также исследуется влияние на них способа нанесения клея, способа сборки пакета, толщины слоев и ширины заготовки.

Ключевые слова: осина, клееные конструкции, прочность, нанесение клея.

**Sheremetewa T.V., Titunin A.A. THE QUESTION ASPENWOOD UTILIZATION IN MANUFACTURE OF GLUED WOODEN CONSTRUCTIONS.**

The question of use of an aspen in manufacture wooden glued of designs is considered. The durability wooden glued of designs from an aspen and pine is investigated at splitting and their stability to stratifying. Influence on them of a way of drawing of glue, way of assembly of a package, thickness of layers and width of preparation also is investigated.

**Зайцева К.В., Титунин А.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛЕЕНОГО БРУСА.**

Обоснована актуальность исследований теплопроводности деревянных клееных конструкций. В ходе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что процесс передачи тепла в деревянных клееных конструкциях отличается от теплопроводности цельной древесины.

Ключевые слова: параметры, клееный брус, теплопроводность, цельная древесина.

**Zaiceva K.V., Titunin A.A. DEVELOPMENT OF THE METHODIC OF DEFINITION OF OPERATIONAL PARAMETERS OF WOODEN GLUED CONSTRUCTIONS.**

The urgency of researches of heat conductivity of wooden glued constructions is proved. In a course theoretical and experimental researches is established, that the process of transfer of heat in wooden glued constructions differs from heat conductivity of natural wood.

**Лапшин Ю.Г., Лежень В.Н., Родионов А.И., Тулузаков Д.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ.**

На основании статистического анализа обосновывается возможность снижения объема испытаний при определении механических характеристик древесно-стружечных плит в заводских лабораториях.

Ключевые слова: статистический анализ, механические характеристики.

**Lapshin Yr.G., Lezhen V.N., Rodionov A.L., Tuluzakov D.V. IMPROVEMENT OF THE STATISTICAL CHECKING THE MECHANICAL FEATURES OF THE PARTICLE BOARDS.**

In this work on the grounds of statistical analysis is motivated possibility of the reduction of the volume of the tests at determination of the mechanical features of the particle boards in factory laboratories.

**Ивановский А.В. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ.**

Рассмотрено влияние влажности древесины мягких лиственных пород на формирование различных видов деформаций при динамических нагрузках, экспериментально получены коэффициенты упругости и пластичности для такой древесины.

Ключевые слова: мягкие лиственные породы, древесина, деформации.

**Ivanovskiy A.V. RESULTS RESEARCHES of ELASTIC-PLASTIC PROPERTIES WOOD of SOFT DECIDUOUS BREEDS AT DYNAMIC LOADINGS.**

Influence of humidity wood of soft deciduous breeds on formation of various kinds of deformations is considered at dynamic loadings; factors of elasticity and plasticity for such wood are experimentally received.

**Попов В.М., Иванов А.В., Шендриков М.А., ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ.**

Предложен способ создания клееных изделий из древесины повышенной прочности путем обработки постоянным магнитным полем полимерного компонента клея.

Ключевые слова: магнитное поле, прочность, полимеры, клееная древесина.

**Popov V.M., Ivanov A.V., Shendrikov M.A. MAGNETIC FIELD INFLUENCE ON GLUE WOOD STRENGTH.**

The method of high strength glue wood creation through polymeric composite glue processing in constant magnetic field has been suggested.

**Свиридова Т.А., Самошкин Е.Н. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДЛИНЫ И ШИРИНЫ ВОЛОКОН ЛИБРИФОРМА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И БЕРЕЗЫ КАРЕЛЬСКОЙ.**

Каповая древесина березы повислой имеет меньшую длину и ширину волокон либриформа, чем древесина ствола дерева, но высокую вариабельность. Длина волокон либриформа березы карельской постоянно увеличивается от сердцевины по радиусу ствола. Отмечена изменчивость волокон либриформа не только по длине и ширине, но и по форме.

Ключевые слова: волокна либриформа, кап, ствол, изменчивость, береза.

**Sviridova T.A., Samoshkin E.N. VARIABILITY OF LENGTH AND WIDTH OF LIBRIFORM FIBRES OF *BETULA PENDULA* AND *BETULA PENDULA F. CARELICA HORT*.**

Cyrled wood of a *Betula pendula* has smaller length and width of libriform fibers, than wood of a tree trunk, but high variability. The length of libriform fibers *Betula pendula f. carelica hort* constantly increases from a core of a trunk on radius. Variability of libriform fibers not only on length and width, but also under their form is noted.

**Тарасов С.М. ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ НА СВОЙСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ.**

Осуществлен синтез модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров по оригинальной методике. Предложена технология использования олигомеров в производстве бумажно-картонных материалов из вторичного волокнистого сырья. Показано положительное влияние модифицированных олигомеров на физико-механические показатели бумаги и картона. Отмечена возможность снижения расхода других реагентов.

Ключевые слова: олигомеры, целлюлоза, вторичное сырье, бумага, картон.

**Tarasov S.M. INFLUENCE OF THE MODIFIED AMINO-FORMALDEHYDE OLIGOMERS ON PROPERTIES OF CELLULOSE COMPOSITES FROM SECONDARY FIBROUS RAW MATERIAL.**

The synthesis of the modified amino-formaldehyde oligomers on an original technique is carried out. The technology of use of oligomers in production of paper and cardboard from secondary fibrous raw material is offered. The positive influence of the modified oligomers on physical-mechanical indexes of a paper and cardboard is shown. The opportunity of decrease of the charge of other reagents is marked.

**Мартьянова О.С., Кононов Г.Н., Говязин И.О. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БУМАГИ ДЛЯ СТРУЙНОЙ ПЕЧАТИ.**

Представлен анализ качества бумаги для струйной печати различных производителей.

Ключевые слова: бумага, струйная печать.

**Martyanova O.S., Kononov G.N., Govyazin I.O. A STUDY PROPERTIES OF PAPER FOR INKJET PRINTING.**

In this paper provides an analysis of the quality of paper for inkjet printing various manufacturers.

**Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Горбунова Н.А., Бабурина М.И. Горохов Д.Г. БИОТОПЛИВО ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ.**

Рассмотрены пути решения энергетической проблемы путем использования биотоплива из возобновляемого сырья, прежде всего растительного происхождения. Показана значимость разновидностей биотоплива – дизельного, биогаза, биоэтанола и твердого pelletного биотоплива в мировом энергетическом балансе. Сделан вывод о существенном возрастании в ближайшие годы роли биотоплива, особенно моторного биоэтанола и биодизеля, в общем балансе энергии.

Ключевые слова: биотопливо, возобновляемое сырье, энергетический баланс.

**Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Gorbunova N.A., Baburina M.I., Gorohov D.G. BIOFUEL FROM RENEWED RAW MATERIAL: MANUFACTURE AND CONSUMPTION.**

The way of the decision of a power problem by use of biofuel from renewed raw material, first of all a phyto-genesis is considered. The importance of versions of biofuel – biodiesel, biogas, bioethanol and biofuel as pellets in global energy balance is shown. It is drawn a conclusion on essential increase the nearest years the role of biofuel, especially motor bioethanol and a biodiesel engine, in the general balance of energy.

**Запруднов В.И. О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.**

Дана формулировка и постановка задачи о прогнозировании напряженно-деформированного состояния древесно-цементных материалов.

Ключевые слова: прогноз, прочность, деформации, древесно-цементные материалы.

**Zaprudnov V.I. ABOUT FORECASTING OF DURABILITY AND DEFORMATION OF WOOD-CEMENT MATERIALS.**

The formulation and problem statement about forecasting of the is intense-deformed condition of wood-cement materials is given.

**Лозовецкий В.В., Шадрин А.А., Абасов К.А., Комяков А.Н. ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОПЕРЕДАЧ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН.**

В основу качественной и количественной оценки динамики привода машин с объемными и гидродинамическими передачами (гидромуфтой и гидротрансформатором) положен метод частотных характеристик. Полученные зависимости для передаточных функций и амплитудно-частотных характеристик позволили разработать методику расчета привода транспортно-технологических машин с учетом динамических характеристик гидромуфты, гидротрансформатора и асинхронного двигателя, отражающих влияние электромагнитного, гидравлического и механического переходных процессов.

Ключевые слова: гидромуфта, гидротрансформатор, метод частотных характеристик.

**Lozovetsky V.V., Chadrin A.A., Abasov K.A., Komjakov A.N. INVESTIGATION DYNAMIC CHARACTERISTICS OF HYDRODYNAMICS TRANSMISSION OF TRANSPORTER-TECHNOLOGICAL MACHINES.**

Dynamics qualitative and quantitative assessment of machine drive unit with hydrostatic and hydrodynamic transmission (hydraulic clutch and fluid converter) is based upon the frequency characteristics method. Gained results of transfer functions and amplitude-frequency characteristics allow to develop the design procedure of transporter-technological machines including dynamic characteristics of hydraulic transmission and asynchronous motor, which reflect electromagnetic, hydraulic, and mechanical transient process combined effect.

**Бурмистрова О.Н., Шоль Н.Р., Травин Н.Н. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ.**

В статье ставятся задачи экспериментальных исследований нагруженности валочно-пакетирующих машин (ВПМ) при разборе завалов леса после ветровалов.

Ключевые слова: валочно-пакетирующие машины, нагруженность, завалы леса.

**Burmistrova O. N., Shol N.R., Travin H.H. THE TECHNIQUE OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE WOOD PROCURING CAR.**

In article problems of experimental researches of loading of wood procuring cars are put at analysis of blockages of wood after hurricane.

**Пошарников Ф.В., Абрамов В.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ТРЕЛЕВКИ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОГО И НЕПРЕРЫВНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ.**

Основным принципом ведения лесного хозяйства и лесоэксплуатации в малолесных районах является постоянное, непрерывное и неистощимое лесопользование. Эффективность рубок в значительной степени определяет трелевка – самая затратная операция на лесосеке. При ее совершенствовании важно избежать снижения лесоводственного результата, а также уменьшить негативные экологические последствия в виде повреждений оставляемого древостоя. Такой комплексный подход оценки эффективности выполнения трелевки остается проблемным по причине отсутствия критерия качества, позволяющего совершенствовать операцию по всем направлениям.

Ключевые слова: трелевка, лесопользование, повреждение древостоя.

**Posharnikow F.W., Abramov V.V. BASIS OF THE OPTIMUM LOGS SKIDDING MODEL FOR SELECTION CUTTING.**

The principles of effective forestry management especially in regions with light forest, where cuttings are not clear and, as a rule, of not mature forest orient skidding fulfillment not only by means of direct costs, but of losses in the result of wrong unqualitative carrying out of skidding. Under these conditions the development of computer theory support of skidding process management is of great scientific and practical interest. However, it is necessary to develop the methods of evaluation of the damage of trees being left, causing the problem for skidding costs decrease and the quality of skidding fulfillment. The aim of our research is to make skidding optimal taking into account forestry-ecological, technological and economical criteria.

**Дегтярева Л.А., Рыжкова Т.В. СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ НА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.**

Статья посвящена обоснованию выбора системы технического обслуживания и ремонта машин и оборудования. Дается оценка основных стратегий ремонта, рассматриваются их особенности, положительные стороны и недостатки, проводится анализ условий, в которых экономически выгодно применять ту или иную стратегию при достаточно полном использовании ресурса машин и оборудования лесозаготовительных предприятий.

Ключевые слова: лесозаготовительное предприятие, техобслуживание, ремонт.

**Degtiarova L.A., Ryzhkova T.V. SYSTEMS OF TECHNICAL SERVICE AND REPAIR OF MACHINES AND EQUIPMENT AT WOOD-HARVESTING ENTERPRISES.**

The article deals with selection of technical maintenance and care of machines and equipment. The system would allow a forest enterprise to use machineries effectively and cut costs on care and operation of equipment. The article assesses strategy of maintenance applied now. Particularities, assertive features and failures are considered. The article analyses conditions under which this or that strategy is economically profitable while using machines' resources of wood-harvesting units.

**Нахаев З.Н., Сушков А.С. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.**

В статье приведена методика построения имитационного алгоритма, задачи поставки лесопродукции по приоритетным показателям функционирования лесных предприятий. Рассмотрены вопросы реализации алгоритма при разработке комплекса программ на ЭВМ.

Ключевые слова: имитационный алгоритм, лесопродукция, комплекс программ.

**Nahaev Z.N., Sushkov A.S. CRITERIA OF AN ESTIMATION AND THE ANALYS OF TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEM OF THE TIMBER INDUSTRY ENTERPRISES.**

In clause the technique of construction of imitating algorithm is resulted. Problems of delivery traffics forest on priority parameters of functioning of the wood enterprises. Questions of realization of algorithm are considered by development of the enterprises. Questions of realization of algorithm are considered by development of a complex of programs.

**Щеголева Л.В., Пискунов М.А., Воропаев А.Н. К ВОПРОСУ О РАЗМЕЩЕНИИ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ.**

Предложена математическая модель организации размещения волоков на лесосеке. Из специального конечного множества схем трелевочных волоков, с каждой из которых сопоставляются «затраты» лесосечных отходов на укрепление волоков, находится схема, обеспечивающая наименьшие «затраты» отходов. На примере показаны различия в схемах волоков, построенных в привязке к пяти различным вариантам расположения верхнего склада при заданном распределении свойств почвогрунта по лесосеке.

Ключевые слова: лесосека, волоки, трелевка, отходы, почвогрунт.

**Shchegoleva L.V., Piskunov M.A., Voropaev A.N. TO A QUESTION ON A SKID TRAILS NETWORK DESIGNING ON A CUTTING AREA.**

The mathematical model of skid trails network designing is offered. In special final multitude of skid trails networks, the network having the least amounts of slash for skid trails covering is found. The distinctions in the skid trails networks designed for five various variants of upper landing arrangement with the given distribution of soil properties on the cutting area are shown on an example.

**Якимович С.Б., Ефимов Ю.В. ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЕВ НА СОРТИМЕНТЫ И ПИЛОМАТЕРИАЛЫ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСЕКИ.**

Предложена постановка задачи оптимизации раскроев на сортименты и пиломатериалы на основе комплексного критерия. Такой подход дает возможность обосновать максимальный выход сортиментов и пиломатериалов при минимальных затратах энергии на их производство в условиях лесосеки.

Ключевые слова: раскрой, сортименты, пиломатериалы, комплексные критерии.

**Jakimovich S.B., Efimov U.V. OPTIMIZATION OF CUT OUT ON TIMBERS AND SAW-TIMBERS AT THE HARVESTING AREA CONDITIONS.**

The formulation of optimization problems of cut out on timbers and saw-timbers by a complex criterion is offered. This approach enables to base maximum timber and saw-timbers yield by minimum energy charges on production it at the harvesting area conditions.

**Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ КОРЫ ПРИ РОТОРНОЙ ОКОРКЕ.**

На основании анализа разработана математическая модель, позволяющая исследовать механизм влияния влажности среды на развитие процесса разрушения коры различных пород деревьев.

Ключевые слова: кора, влажность, роторная окорка, математическая модель.

**Gazizov A.M., Shapiro V.J., Grigorev I.V. AGENCY OF MOISTURE ON EVOLUTION OF PROCESS OF DESTRUCTION OF A BARK AT ROTOR DISBARK.**

On the basis of the analysis the mathematical model is developed, allowing to investigate the mechanism of agency of moisture of medium on evolution of process of destruction of a bark of various mucks of trees.

**Гелес И.С., Коржова М.А. ОТХОДЫ И СТОЧНЫЕ ВОДЫ – НЕИЗБЕЖНОЕ БРЕМЯ ИЛИ НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ?**

Приведены примеры лабораторных исследований и основанных на них опытно-промышленных выработок с использованием в качестве исходного сырья различного вида отходов и сточных вод от химико-механической переработки древесного сырья целлюлозно-бумажных предприятий с получением качественной продукции. Высказано мнение о перспективности подобных работ.

Ключевые слова: отходы, сточные воды, опытно-промышленные выработки, дубильные экстракты, плиты.

**Gueles I.S., Korzhova M.A. WASTES AND WASTEWATERS – UNAVOIDABLE BURDEN OR A MOTIVE AND POSSIBILITY TO DEAL WITH PROBLEMS?**

The paper describes examples of laboratory research into utilization of various wastes and wastewaters from chemical and mechanical processing of wood materials in pulp-and-paper industry as feedstock for production of high quality goods, and reports about pilot industrial developments based thereon. The opinion is expressed that such activities are highly promising.

**Царьгородцев Ю.П., Полуэктов Н.П., Харченко В.Н., Камышов И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК.**

Проведены исследования плазмы в магнетронном разряде с полым катодом для осаждения металлических пленок, применяемых в изделиях микро- и наноэлектроники. Медный катод выполнен в виде закрытого с одного конца цилиндра диаметром 8 см, длиной 7 см. Давление разряда 0,5–10 мТор, мощность до 6 кВт. С помощью зонда измерены радиальные распределения параметров плазмы. Концентрация плазмы достигает  $10^{12} \text{ см}^{-3}$  на расстоянии 20 см от магнетрона. Большая степень ионизации распыленных атомов металла позволяет контролировать энергию и поток осаждаемых частиц полем внешнего электромагнита.

Ключевые слова: магнетронный разряд, тонкие пленки.

**Tsargorodzev U.P., Poluektov N.P., Kharchenko V.N., Kamyschov I.A. STUDY OF HOLLOW CATHODE MAGNETRON DISCHARGE FOR DEPOSITION METAL FILMS.**

Studies of hollow cathode magnetron discharge for deposition metal films are carried out. These films are used in micro-and nanoelectronic devices. The cathode consists of a cup-shaped Cu target with inner diameter of 8 cm and length of 7 cm. Argon pressure was varied from 0,5 to 10 mTorr, magnetron power – up to 6 kW in this study. Radial distributions of plasma parameters are investigated using the Langmuir probe. Plasma density achieves value of  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$  in the distance 20 cm from a cathode. The high degree of ionization of the sputtered metal atoms allows to control the energy and flux of the deposition species.

**Бурков В.Д., Потапов В.Т., Потапов Т.В., Удалов М.Е. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК РАССТОЯНИЙ.**

В статье описан волоконно-оптический датчик для измерения расстояний и малых перемещений с амплитудной модуляцией. Метод измерения основан на временном разделении информационного и измерительного каналов.

Ключевые слова: волоконно-оптический датчик, амплитудная модуляция.

**Burkov V.D., Potapov V.T., Potapov T.V., Udalov M.E. FIBER OPTIC SENSOR FOR DISTANCE MEASUREMENTS.**

The method and arranging of measurements distances and small transference using fiber-optic sensor is described. The method based on the time division multiplexing supporting and measurement channels.

**Аксенов В.А., Бурков В.Д., Замятин А.А., Иванов Г.А., Маковецкий А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАПИЛЛЯРНЫХ СБОРОК ДЛЯ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН.**

Рассмотрена задача о раздутии запаянного кварцевого капилляра при его локальном нагревании. Исследованы зависимости максимального диаметра раздутия от геометрических параметров капилляра, относительной длины нагреваемого участка, его температуры и вязкости. Опробованы режимы спеканияборок для микроструктурированных оптических волокон. Из спеченных капиллярныхборок вытянуты образцы микроструктурированных оптических волокон, в том числе активированных.

Ключевые слова: кварцевый капилляр, раздутие, нагревание, спеканиеборок.

**Aksenov V.A., Burkov V.D., Zamyatin A.A., Ivanov G.A., Makovetskii A.A. FORMFTION OF THE CAPILLARY STACKS FOR MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBERS.**

The problem of enlarging a locally heated a two ends sealed silica capillary is considered. The maximal diameter of enlarging is investigated as a function of the geometric parameters of the capillary, the reduced length of the heated region, and its temperature and viscosity. These capillaries were used to test various sintering regimes for the capillary stacks for microstructured optical fibers.

**Найханова Л.В. МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА КОНЕЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ОСНОВАННАЯ НА ПРИМЕНЕНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО И АВТОМАТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ.**

В статье описана модель генератора конечных преобразователей, предназначенных для трансляции продукционных правил с естественно-языкового представления в формулы предикатов первого порядка. Процесс генерации построен на технологиях, использующих генетическое и автоматное программирование.

Ключевые слова: генератор, генетическое и автоматное программирование.

**Naykhanova L.V. FINITE-STATE TRANSDUCERS GENERATION MODEL WITH USED AUTOMATA-BASED AND GENETIC PROGRAMMING TECHNOLOGIES.**

This paper is described finite-state transducers generation model. The finite-state transducer is used to translate the production rules from naturally-language representation to language of logic of predicates of the first order. For generation is used genetic programming. We use automat-based programming to develop finite-state transducers.

**Царева Т.Н. ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАЧЕСТВА ТЕКСТОВОГО НАПОЛНЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ САЙТОВ.**

Данная работа посвящена построению графической модели качества текстового наполнения образовательного сайта в соответствии с набором правил построения. Предлагается графическая модель качества для конкретной группы аспирантов.

Ключевые слова: текст, образовательный сайт, графическая модель, качество.

**Tsareva T.N. THE GRAPHIC QUALITY MODEL OF TEXT CONTENT OF EDUCATIONAL WEB-SITES.**

This work is dedicated to building of graphic quality model of text content of educational website using the set of rules. The graphic quality model of text content of educational web-site for certain group of post-graduate students is offered.

**Чернышов А.В. ЯЗЫК ОПИСАНИЯ ЗАДАНИЙ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.**

Описана реализация специализированного языка высокого уровня, предназначенного для описания заданий первичной обработки телеметрической информации.

Ключевые слова: телеметрическая информация, первичная обработка.

#### **Chernyshov A.V. JOBS DESCRIPTION LANGUAGE OF TELEMETRY INFORMATION PROCESSING.**

Described an implementation of special high level language for telemetry information primary processing jobs description.

#### **Чернышов А.В. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕДЕНИЕМ ИСПЫТАНИЙ РАБОЧЕГО МЕСТА КОНТРОЛЯ БОРТОВОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ.**

Рассматриваются задачи системы управления проведением испытаний для автономных проверок бортовой телеметрической аппаратуры на ее рабочем месте контроля и этапы реализации системы.

Ключевые слова: бортовая телеметрическая аппаратура, испытания, автономная проверка, система управления.

#### **Chernyshov A.V. SYSTEM OF TESTING CONTROL FOR TEST WORKPLACE OF ONBOARD TELEMETRY EQUIPMENT.**

Testing control system of autonomous tests onboard telemetry equipment on its test workplace and system implementation order described.

#### **Зубов А.Ю. РЕШЕНИЕ ОДНОЙ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ.**

Приводится пример решения матричной игры с параметрической матрицей размера  $3 \times 8$  путем сведения задачи к вычислению вероятности успеха активной атаки для кода аутентификации с матрицей кодирования размеров  $3 \times 3$ .

Ключевые слова: матричная игра, вероятность, активная атака, матрица.

#### **Zubov A.U. THE DECISION OF ONE MATRIX PLAY.**

Happens to the example of the decision of the matrix play with parametric matrix of the size  $3 \times 8$  by information of the task to calculation of probability of the success of the active attack for code of the authentications with matrix of the coding the sizes  $3 \times 3$ .

#### **Полещук О.М., Комаров Е.Г. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЙТИНГОВЫХ ОЦЕНОК ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ.**

В статье предлагается модель определения рейтинговых оценок объектов, которая используется для анализа динамики их функционирования. Разработанная модель позволяет корректно оперировать не значениями характеристик, а безразмерными абстрактными величинами – значениями их функций принадлежности.

Ключевые слова: рейтинговая оценка, анализ, функции принадлежности.

#### **Poleschuk O.M., Komarov E.G. THE DETERMINATION OF THE RATING ESTIMATION OBJECT ON BASE OF ILL-DEFINED SOURCE INFORMATION.**

In article is offered model of the determination rating estimation object, which is used for analysis speakers their operation. The Designed model allows correct to handle not with importances of the features, but with non-dimensional abstract value – importances their function accesories.

#### **Новиков А.С., Яшин А.А., Яшин С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ БИОРЕЗОНАНСОВ ВО ФРАКТАЛЬНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ.**

В статье описываются проведенные авторами эксперименты по исследованию биорезонансов во фрактальных растительных средах. Результаты опытов показывают, что лес как фрактальная биосреда усиливает проходящее электромагнитное поле, создавая резонаторный эффект.

Ключевые слова: биорезонансы, фрактальные биосреды, лес, электромагнитное поле.

**Novikov A.S., Yashin A.A., Yashin S.A. THE RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC BIORESONANCES IN A FRACTAL VEGETABLE ENVIRONMENT.**

In the article experiments by investigation of bioresonances in fractal vegetable environments is described. The results of experiments show that forest as a fractal bioenvironment intensifies passing electromagnetic fields and creates the resonator effect.

**Кожурин С.И., Угрюмов С.А., Кузнецова Н.С., Шапкина И.М. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТРАСЛЕВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС.**

Рассмотрена общая структура технико-экономического проектирования предприятий лесной отрасли, а также его роль в рыночном инвестиционном процессе.

Ключевые слова: проектирование отраслевых предприятий, инвестиционный процесс.

**Kogurin S.I., Ugryumov S.A., Kuznetsova N.S., Chapkina I.M. DESIGNING OF THE BRANCH INDUSTRIAL ENTERPRISES AND INVESTMENT PROCESS.**

The general structure of technical and economic designing of the enterprises of wood branch, and also his role in market investment process is considered.

**Кислухина И.А. МЕТОДЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЛЕСНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ.**

В статье представлен анализ основных проблем развития лесного сектора экономики, обусловленных неэффективной политикой государства, и обосновывается необходимость усиления государственного регулирования отрасли.

Ключевые слова: лесной сектор экономики, анализ, государственное регулирование.

**Kisluhina I.A. THE METHODS OF STATE REGULATION OF THE ECONOMIC TIMBER SECTOR.**

The basic problems analysis of the economic development of the timber sector is represented in this article. The problems are determined with the ineffective state policy. Thus the necessity of the intensification of the government control branch in discovered in this work.

**Бугаков В.М. АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РОСТЕ ПЕРЕМЕННЫХ, ПОСТОЯННЫХ ЗАТРАТ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИБЫЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ.**

С использованием уравнений показателей системных связей экономики многономенклатурного деревообрабатывающего производства установлена закономерность влияния роста переменных и постоянных затрат на прибыльность предприятия, представлен алгоритм поиска управленческих решений, адекватных росту переменных и постоянных затрат в себестоимости продукции деревообработки. Рассмотрена также структура алгоритма стабильного сохранения ежемесячной прибыльной деятельности деревообрабатывающего предприятия.

Ключевые слова: алгоритмы управления, рост затрат, себестоимость, прибыльность.

**Bugakov V.M. THE ALGORITHMS OF MANAGEMENT AT GROWING VARIABLES, CONSTANT EXPENSESES FOR PROVISION OF PROFITABLE ACTIVITY OF THE ENTERPRISE WOOD-PROCESSING.**

Using equations of the factors of the system relationships of the economy much top-level woods-processing production is installed regularity of the influence of the growing variable and constant expenseses on profit of the enterprise, is presented algorithm of searching for of the management decisions, identical growing variable and constant expenseses in prime cost of the product wood-processing. It is considered also structure of the algorithm of the stable conservation to monthly profitable activity wood-processing enterprises.

**Бугаков В.М. ПРОГНОЗ СПРОСА НА МЕБЕЛЬ, ОСНОВЫ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ МЕБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.**

Опыт показал, что наиболее надежным методом прогноза спроса на мебель является метод коэффициентов эластичности спроса по цене мебели или по доходу населения. Используя метод «директ-костинг», по которому все затраты делятся на постоянные и переменные, получаем показатели экономических системных связей теории функционирования экономики и управления предприятиями мебельного производства. Комплекс уравнений системных связей дает возможность составить систему алгоритмов управления в направлении повышения прибыльности.

Ключевые слова: прогноз, директ-костинг, мебельное производство.

**Bugakov V.M. FORECAST OF FURNITURE DEMAND, THE THEORY OF ECONOMICS FUNCTIONING AND FURNITURE ENTERPRISES' MANAGEMENT.**

The investigation in forecasting furniture demand showed the demand coefficient according to furniture price or to the population incomes to be the best. With the help of «direct costing» method (all the money spent are divided into constant or variable) the details on economics system links, the details on the theory of economics functioning as well as on furniture enterprises' management are received. A number of equations on system links of details on furniture enterprises' economics makes possible to determine algorithmic system of income growth.

**Афонина С.А., Буданова М.В. АНАЛИЗ МОТИВАЦИИ ТРУДА ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.**

В статье разработана методика оценки мотивации труда у персонала промышленного предприятия. Методика позволяет повысить эффективность деятельности работников и предприятия в целом. Выполнена оценка мотивации труда у работников деревообрабатывающих предприятий Брянской области.

Ключевые слова: мотивация труда, персонал, предприятие.

**Afonina S.A., Budanova M.V. ANALYSIS OF THE LABOR MOTIVATE OF THE ENTERPRISE PERSONNEL.**

This article describes rating methods of the labor motivate of the enterprise personnel. It helps to increase the effectiveness of labor and enterprise management on the whole.

**Хашир Б.О., Пшидаток М.Р. РЕКРЕАЦИОННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСОВ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ И ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ.**

Рассмотрены вопросы рационального и эффективного рекреационного лесопользования, которое предусматривает наряду с лесопромышленным производством использование лесных природных ресурсов в социальных целях – для отдыха, туризма и восстановления здоровья людей, а также территориального размещения инвестиций по организации лесопромышленного производства на основе инновационных и инвестиционных проектов развития лесной отрасли.

Ключевые слова: рекреационное лесопользование, инновации, инвестиции, природные ресурсы, проекты развития лесной отрасли.

**Khashir B.O., Pshidatok M.R. ECONOMIC ASPECTS OF RECREATIONAL USE OF WOODS OF KRASNODAR TERRITORY.**

Questions of rational and effective recreational use of a wood which provides, alongside with timber industry manufacture, use of wood natural resources in the social purposes – for rest, tourism and recovery of health of people, and also territorial accommodation of investments on the organization of timber industry manufacture are considered, on the basis of innovational and investment projects of development of wood branch.

**Хашир Б.О., Хуажев О.З. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО СЕКТОРА ПРОМЫШЛЕННОСТИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ.**

Рассмотрены вопросы рационального и эффективного использования лесных ресурсов, а также территориального размещения инвестиций при организации лесопромышленного производства. Представлены пути внедрения инновационных проектов с учетом размещения производственных сил на основе стратегии социально-экономического развития лесной отрасли.

Ключевые слова: лесные ресурсы, лесопромышленное производство, инвестиции.

**Khashir B.O., Khuazhev O.Z. ECONOMIC TENDENCIES OF REGIONAL DEVELOPMENT OF WOOD SECTOR OF THE INDUSTRY OF KRASNODAR TERRITORY.**

Questions rational and an effective utilization of wood resources, and also territorial accommodation of investments on the organization of timber industry manufacture are considered. Ways of introduction of innovational projects are submitted by the account of accommodation industrial forces, on the basis of strategy of social and economic development of wood branch.

**Минакова Т.В. МОДЕЛЬ СОЦИАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ НА БАЗЕ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ г. ОСТАШКОВА ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ.**

Проект предусматривает профессиональную подготовку специалистов лесной отрасли, что является актуальной проблемой в настоящее время, так как прямым следствием закрытия множества специализированных училищ и техникумов нашей отрасли явился дефицит высококвалифицированных рабочих кадров. Данные мероприятия будут способствовать повышению уровня занятости населения и созданию новых рабочих мест на базе учебно-производственного комплекса и малого производства; эффективных схем торгового и бытового обслуживания, предназначенных для успешного решения стратегических задач устойчивого социально-экономического развития региона.

Ключевые слова: лесной комплекс, социальная экономика, подготовка специалистов лесной отрасли, обучение подрастающего поколения

**Minakova T.V. THE MODEL OF SOCIAL ECONOMY ON THE BASE OF MUNICIPAL FORMATION OSTASHKOV OF THE TVER REGION.**

The project provides the professional training of the specialists of forest branch what is vital problem at present since the direct consequence of closing of many specialized schools and technical schools of our branch was the scarcity of the highly skilled working personnel. The project will contribute to raise the level of the employment of population and to create new working places on the base of training- production complex and small production; the effective diagrams of commercial and communal services intended for the successful solution of the strategic problems of the steady social and economic development of the region.

**Шалаев В.С. РЕЙТИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ВУЗОМ.**

Характеризуется положение России на международном рынке образовательных услуг и обосновывается важность и необходимость развития процесса экспорта. Приведены материалы выбранных 10 вузов страны при распределении иностранных граждан по программам обучения в 2005/06 учебном году.

Ключевые слова: экспорт образовательных услуг, рейтинг.

**Shalaev V.S. THE RATING AS INSTRUMENT OF HIGH SCHOOL MANAGEMENT.**

It is characterized position to Russia on international market of the educational services and is motivated importance and need of the development of the process of the export. The brought material on chosen 10 high schools of the country on sharing the foreign people on program of the education in 2005/06 school years.