

**ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА**

**ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК**

Научно-информационный журнал  
2006 г. № 6(42)

Координационный совет журнала

Главный редактор  
Зам. главного редактора

А.Н. ОБЛИВИН  
В.Д. НИКИШОВ

Члены совета

Н.И. КОЖУХОВ  
О.Н. НОВОСЕЛОВ  
А.К. РЕДЬКИН  
Е.И. МАЙОРОВА  
О.А. ХАРИН  
В.С. ШАЛАЕВ  
А.С. ЩЕРБАКОВ  
С.Н. РЫКУНИН

Ответственный секретарь

Е.А. РАСЕВА



Номер подготовили:

Ответственный секретарь  
Редактор

Е.А. РАСЕВА  
Т.Г. КРАПОТИНА

Набор и верстка

М.А. ЗВЕРЕВ

Оригинал-макет подготовлен в редакторе Microsoft Word 2000.

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

Свидетельство о регистрации журнала «Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник» ПИ № 77-12923 от 17.06.2002.

Перепечатка и воспроизведение полностью или частично текстов и фотографий журнала «Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник» только с письменного разрешения издательства.

© Московский государственный университет леса, 2006

---

Подписано к печати 11.11.2005.  
Объем 25.5 п. л.

Тираж 500 экз.  
Заказ №

---

Издательство Московского государственного университета леса.  
141005, Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.  
Телефоны: (095) 588-57-62, 588-53-48, 588-54-15, факс (095) 588-51-09

# СОДЕРЖАНИЕ

## Лесное хозяйство

Дроздов И.И., Шадрин А.А., Шадрина С.А.	<i>Искусственное лесовосстановление на сплошных вырубках в европейской части России</i>	5
Виноградов А.Н.	<i>Комплексное применение малотоксичного гербицида нового поколения АНКОР-85 при выращивании сеянцев сосны обыкновенной</i>	8
Родионов А.В.	<i>Оценка эффективности лесных технологий на основе ресурсосбережения</i>	11
Вайс А.А.	<i>Исследование продуктивности сосняков таежной зоны на основе таксационно-дешифровочных признаков</i>	18
Гиниятуллин Р.Х.	<i>Распределение Са, Мп, Fe, Си в надземных органах березы повислой в условиях техногенного загрязнения</i>	23
Мухамедшин К.Д., Шамшиев Б.Н.	<i>О разновозрастной и пространственной структуре и строении древостоев арчи Тянь-Шаня</i>	26
Чочаев А.Х., Жашуев М.А.	<i>Приоритеты и факторы многоцелевого лесопользования в гослесоохотничьих хозяйствах Кабардино-Балкарии</i>	29
Голосова М.А.	<i>Значительный вклад Вернера Балтенсвайлера в теорию динамики численности лесных насекомых</i>	33

## Охотоведение

Харченко Н.Н.	<i>Спектры жизненных форм норных зверей антропогенно трансформированных территорий центра Русской равнины</i>	39
Харченко Н.Н.	<i>Морфологические особенности строения тела норных млекопитающих</i>	41
Харченко Н.Н.	<i>Влияние жизнедеятельности норных зверей на окружающую природную среду центра Русской равнины</i>	45

## Деревообработка

Иванов Д.В.	<i>Интенсификация формирования поперечного сечения пиломатериалов</i>	47
-------------	-----------------------------------------------------------------------	----

## Химические технологии

Мельникова Л.В., Назериан Мортеза	<i>Прочность цементно-стружечных плит из частиц шпона</i>	54
Абразумов В.В., Котенко В.Д.	<i>Моделирование процесса резания древесных композитов на минеральных вяжущих</i>	58
Угрюмов С.А.	<i>Использование костры льна в производстве композиционной фанеры</i>	63
Спирин Б.Л., Тулузаков Д.В.	<i>Дифференциальная модель воздушной среды при кондиционировании композиционных материалов</i>	66
Гелес И.С., Коржова М.А.	<i>Некоторые характеристики катионитов из лигносульфонатов бисульфитной варки</i>	71
Мануковский А.Ю.	<i>Воздействие кавитационного процесса на гидробионты</i>	73

## Лесонженерное дело

Якимович С.Б.	<i>Моделирование технологических процессов для множества состояний предмета труда лесозаготовок</i>	77
Якимович С.Б.	<i>Постановка задачи оптимального управления синтеза для совокупности технологических процессов лесозаготовок</i>	86
Ширнин А.Ю.	<i>Исследование технологии комбинированной трелевки древесины</i>	90
Климушев Н.К.	<i>Моделирование запасов хлыстов на лесосеке</i>	99
Климушев Н.К.	<i>Нечеткая модель управления вывозкой</i>	102
Шамарин Ю.А.	<i>Анализ зазора плунжерных пар насоса 4-УТНМ</i>	105
Шамарин Ю.А.	<i>Анализ гидроплотности плунжерных пар</i>	109
Смирнов М.Ю., Габдуллина И.Р.	<i>Совершенствование работы звена лесовозных автопоездов</i>	112

Курьянов В.К., Бурмистрова О.Н.	<i>Определение критерия устойчивости лесовозных автопоездов при торможении</i>	117
Курьянов В.К., Бурмистрова О.Н.	<i>Уравнения регрессии показателей эффективности и устойчивости лесовозных автопоездов при торможении</i>	120
Булдаков С.И.	<i>Загрязнение окружающей среды в районе автозаправочных станций</i>	122
Булдаков С.И.	<i>О рациональном проектировании автозаправочных станций (АЗС)</i>	125
Скрыпников А.В.	<i>Оценка транспортно-эксплуатационных характеристик сложных участков плана и продольного профиля лесовозных автомобильных дорог с переходными режимами движения потоков</i>	127
Скрыпников А.В.	<i>Комплекс эюр транспортно-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог – основа оценки проектных решений</i>	131
<b>Экономика</b>		
Меньшикова М.А.	<i>Концепция современного аудита в лесопромышленном секторе</i>	136
Санаев В.В.	<i>Эффективность управления материальными запасами в логистической системе мебельных предприятий</i>	141
Курзин П.А.	<i>Учет налогов при расчете наращенных сумм</i>	147
<b>Физика</b>		
Васильев М.И.	<i>Бесконтактная система контроля колебаний язычков голосовых планок при аэродинамическом нагружении</i>	150
Васильев М.И.	<i>Исследование объемной скорости воздушного потока</i>	153
Зверев В.Н.	<i>Метод измерения теплового состояния электродов</i>	158
<b>Математическое моделирование</b>		
Полещук О.М.	<i>Математическая модель обработки экспертных оценок</i>	161
Полещук И.А.	<i>Многомерная нелинейная регрессионная модель при нечетких исходных данных</i>	164
Шереметьев К.П., Царев А.Г.	<i>Система персонализации данных для сайтов электронной коммерции</i>	172
Саранцев А.В.	<i>Подходы к классификации регулярных систем одноптичных двоичных функций, построенных с помощью циклического сдвига</i>	176
<b>Автоматика</b>		
Тюкавин Р.И.	<i>Исследование и синтез структуры электроконтактных преобразователей механических перемещений</i>	181
<b>Международное сотрудничество</b>		
Тепляков В.К., Шалаев В.С.	<i>Некоторые итоги XXII Всемирного конгресса ИЮФРО</i>	184
<b>Воспоминания. Размышления</b>		
Фоминых С.И.	<i>Шипов лес</i>	188

## ИСКУССТВЕННОЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ НА СПЛОШНЫХ ВЫРУБКАХ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

И.И. ДРОЗДОВ, *проф., зав. каф. лесных культур МГУЛ, д-р с.-х. наук,*  
А.А. ШАДРИН, *проф. каф. ТОЛП МГУЛ, канд. техн. наук,*  
С.А. ШАДРИНА, *ассистент каф. лесных культур МГУЛ*

Актуальность искусственного лесовосстановления в зонах хвойных и смешанных лесов объясняется преобладанием здесь сплошнолесосечной формы главного пользования лесом. Постепенные рубки, несмотря на ряд их достоинств и хорошую научно-практическую изученность, занимают в лесопользовании только 5 %. Более половины площадей сплошных вырубок (особенно в южной тайге и в зоне смешанных лесов) целесообразнее занимать лесными культурами, обеспечивающими более надежное восстановление ценных древостоев без смены пород. В настоящее время лесные культуры создаются преимущественно с помощью посадок семян или саженцев. Для этой цели используют ряд лесопосадочных машин, достаточно хорошо зарекомендовавших себя в практике лесокультурного производства: МЛЮ-1, ЛМД-81, СЛГ-1, САБ-1, СЛ-2 и др. [1]. Однако они не лишены некоторых недостатков. Ввиду большой металлоемкости их агрегируют только с гусеничными тракторами. Несколько несовершенен механизм заделки корневых систем семян и саженцев, что особенно негативно проявляется на тяжелых и даже средних суглинках. Стенки посадочной щели, проделанные коробчатым или дисковым сошником, заметно уплотняются, и заделочные катки не всегда достаточно плотно прижимают нижнюю часть корневых систем саженцев. На устранение этих недостатков в настоящем и нацелена конструкция лесопосадочной машины нового поколения СЛШ-1В, предложенная заслуженным изобретателем РФ А.П. Шадриным. Ввиду относительно небольшого веса ее можно агрегировать с колесными тракторами (МТЗ-80, МТЗ-82 и др.). Сошник

ее оригинального устройства имеет в задней части специальные вырезы, через которые происходит подсыпка рыхлой почвы на корневые системы саженцев в посадочной щели. Зажим корневых систем осуществляется не катками, а специальными сферическими дисками, позволяющими более надежно, на полную глубину заделывать корневые системы высаживаемых семян или саженцев. На очищенных вырубках, особенно в свежих суборях, машина СЛШ-1В успешно сажает лесные культуры без предварительной обработки почвы, сохраняя при этом экологическую целостность верхнего горизонта лесной почвы.

Полевые испытания СЛШ-1В на вырубках Чудовского и Боровичского лесхозов Новгородской области при посадке 3-летних семян сосны и ели подтвердили положительные качества конструкции этой лесной сажалки (табл. 1).

Некоторым недостатком СЛШ-1В является то, что в процессе работы на площади с моховым покровом толщиной 9 см происходит скапливание мха перед сошником, что требует предварительной расчистки технологической полосы от мохового покрова.

К преимуществам ее следует отнести мобильность агрегата и его маневренность при работе на вырубках и при переезде с участка на участок без привлечения дополнительных транспортных средств; СЛШ-1В обеспечивает сохранность плодородного гумусового слоя, что в меньшей степени нарушает экологию вырубок в целом [2].

Для эффективного использования механизированной технологии лесовосстановления нужно предварительно предусмотреть соответствующие способы заготовки леса.

Дальнейшие исследования по вышеупомянутой технологии в лесхозах Новгородской области проведены осенью 2003 г. по методике кафедры лесных культур МГУЛ и ВНИИЛМ. Лесные культуры заложены в порядке испытаний лесопосадочной машины СЛШ-1В. В Чудовском лесничестве Чудовского лесхоза нами исследованы два участка. Первый участок (113-й квартал) – трехлетние культуры ели на прогалине (луг), тип условий местопроизрастания – влажная сурамень (С<sub>3</sub>), посадка 3-летних сеянцев весной 2001 года. Второй участок (111-й квартал) – трехлетние культуры ели на вырубке категории «б», тип условий местопроизрастания – влажная сурамень (С<sub>3</sub>), посадка

3-летних сеянцев осенью 2000 г. Вырубка сильно заросла вейником [3]. Результаты исследования участков представлены в табл. 2.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что при осенней посадке приживаемость и таксационные показатели исследуемых культур ниже, чем при весенней. Следовательно, весенняя посадка наиболее благоприятна для создания культур.

Аналогично мы проанализировали результаты исследования 2-летних лесных культур ели и сосны в квартале 9 Боровичского лесничества Боровичского лесхоза на вырубке категории «б» с типом условий местопроизрастания свежая суборь (В<sub>1-2</sub>) [3]. Результаты представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 1

**Качественные показатели работы машины СЛШ-1В**

Наименование показателей	Значение показателей	
	Перелучское лесничество	Боровичское лесничество
Число высаживаемых рядов, шт.	1	1
Ширина междурядий, м	2,5–3,0	2,5–3,0
Шаг посадки, см	70,5	70,6
Глубина посадочной щели, см	20	20
Глубина заделки сеянцев по корневой шейке, %		
– нормально заделанные	82,0	91,0
– глубоко заделанные	9,5	4,6
– мелко заделанные	8,5	3,9
– не заделанные в почву	0	0,5
Расположение корневой системы в почве, %		
– вертикально	100	100
Расположение надземной части, %		
– вертикально и под углом до 15 <sup>0</sup>	95,4	92,8
– с наклоном более 15 <sup>0</sup>	4,6	7,2
Качество заделки посадочной щели, %		
– наличие пустот	нет	нет
Усилие на выдергивание, кг	3,3	3,1
Повреждение сеянцев, %	нет	нет

Т а б л и ц а 2

**Трехлетние культуры ели во влажных сураменях**

№ участков	Время посадки	Приживаемость, %	Таксационные показатели					
			Высота, см	Диаметр корневой шейки, см	Текущий прирост, см		Масса, г	
					2003 г.	2002 г.	свежая	абсолютно сухая
1	весна	82	42,9 ± 1,6	0,8 ± 0,1	9,2 ± 0,8	5,9 ± 0,4	32,4 ± 4,6	15,6 ± 2,1
2	осень	80	37,4 ± 2,0	0,6 ± 0,1	8,6 ± 0,8	4,6 ± 0,4	26,6 ± 6,1	14,3 ± 3,3

**Двухлетние лесные культуры на вырубке в свежей субори**

№ п/п	Порода	Таксационные показатели			
		Высота, см	Диаметр корневой шейки, см	Текущий прирост	
				2003 г.	2002 г.
1	Ель	28,4 ± 1,1	0,7 ± 0,1	8,3 ± 0,8	3,0 ± 0,4
2	Сосна	58,6 ± 3,2	1,9 ± 0,1	22,4 ± 1,5	11,3 ± 0,9

Ель на свежих супесчаных почвах при относительно высокой приживаемости имеет слабый рост, в то время как у сосны текущий прирост второго года увеличивается вдвое, что свидетельствует об успешности культур этой породы. Таксационные показатели исследуемых культур имеют довольно высокий коэффициент вариации, что характерно для культур в фазе приживания.

В целом исследованные опытные культуры можно считать успешными. Они свидетельствуют о положительных качествах конструкции сажалки СЛШ-1В.

В качестве лесопосадочного материала А.П. Шадрин рекомендовал укрупненные сеянцы ели (3-летки), сосны обыкновенной (2-летки) или 3–4-летние саженцы этих пород, выращиваемые по предложенной им технологии в питомнике без использования гербицидов. Технологии обеспечены рядом агрегатов, разработанных автором. В их состав входят паровой культиватор (КПШ-3,8), комбинированная сеялка (ПЛСШ-5/6), культиваторы навесные (КПШ-1,4, КПШ-1,25), корнеподрезчик для подрезки стержневого и боковых корней у сеянцев (КРПШ-1,2), культиватор для уплотненной школы (КПШ-1,5), следорыхлитель (КНШ-0,5-2). Это типично ресурсосберегающие технологии, позволяющие успешно решить современную проблему с выращиванием посадочного материала для лесных культур.

Исследования показали, что размеры и масса 3-летних сеянцев ели в целом соответствуют биологическим возможностям их онтогенеза в этом возрасте. Несколько повышенный показатель изменчивости вызван, по нашему мнению, излишней густотой стояния сеянцев вследствие высокой для данных условий нормы высева семян, принятой при выращивании 3-летних сеян-

цев по ранее принятой технологии. Выход стандартного посадочного материала ели в данном питомнике составил более 2 млн шт./га (это 146 % от нормированного выхода стандартных сеянцев ели обыкновенной) [4]. В целом, выращивание посадочного материала можно считать успешным, что свидетельствует о правомерности использования внедряемой технологии, которая позволяет полностью исключить применение гербицидов, сократить трудовые и материальные затраты вследствие совмещения нескольких технологических операций в одном агрегате, сократить себестоимость сеянцев. Все это возможно при использовании полного комплекса машин, тщательной обработке почвы в пару, строгом соблюдении сроков проведения механизированных уходов за почвой и подкормок растений.

**Библиографический список**

1. Справочник лесохозяйственных машин, оборудования и приборов, разработанных ВНИИЛМ, ЦОКБлесхозмаш, СПб НИИЛХ, Вырицким ОМЗ, ВНИИПОМлесхоз и рекомендованных в производство / В.И. Казаков, Е.К. Блинов, В.А. Белов и др. – М.: ВНИИЛМ, 2001. – 134 с.
2. Шадрина С.А. Принципы и направления в технологии искусственного лесовосстановления // Сб. науч. тр. аспирантов и докторантов Московского государственного университета леса. – М.: МГУЛ, 2003. – Вып. 322(4).
3. Шадрина С.А. Новая технология лесовосстановления в подзоне южной тайги // Сб. науч. тр. аспирантов и докторантов Московского государственного университета леса. – М.: МГУЛ, 2004. – Вып. 325(5).
4. Шадрина С.А. Опыт выращивания сеянцев хвойных видов в питомнике Чудовского опытного лесхоза Новгородской области // Сб. науч. тр. аспирантов и докторантов Московского государственного университета леса. – М.: МГУЛ, 2005. – Вып. 329(6). – С. 228–232.

## КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОТОКСИЧНОГО ГЕРБИЦИДА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ АНКОР-85 ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

А.Н. ВИНОГРАДОВ, *ст. научн. сотр. ВНИИЛМ*

**А**нкор-85 – современный гербицид отечественного производства, относится к наиболее перспективной группе сульфонилмочевин, имеет экологически благоприятную санитарно-гигиеническую характеристику (практически безопасен ЛД<sub>50</sub> – 10800 мг/кг). Препарат обладает комплексным действием на сорняки – поглощается листьями и корнями. Период его почвенной активности может достигать 1 года. Исследование действия указанного гербицида на видовой состав и общую массу сорной растительности проводилось при его дождевом применении, включая совместное (комплексное) применение с минеральными

удобрениями в посевах сосны, выращиваемых в питомниках на суглинистых и супесчаных почвах. Установлено, что в посевах сосны первого года выращивания необходимо применять Анкор-85 во второй половине вегетационного периода в дозе 10–20 г/га. При этом внесение гербицида проводится спустя 5–7 дней после посева семян сосны по влажной почве.

Гербицидный эффект, полученный при применении Анкор-85 (в дозах: 30–60–120 г/га) в посевах сосны первого года выращивания в разных почвенных условиях и разных вариантах смешения, представлен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

### Влияние средств химии на сорную растительность в однолетних посевах на суглинистых и супесчаных почвах

Варианты опыта	Проективное покрытие сорняков, %		
	На суглинистых почвах Сергиево-Посадского лесхоза	На супесчаных почвах	
		ОЛХ «Русский лес»	Чернолуховский ОЛХ
Контроль	100	55	48
СПУ* 60 кг/га	100	65	50
СПУ 90 кг/га	100	55	48
Ps** 45 кг/га	100	55	42
Ps 90 кг/га	100	80	52
Анкор 30 г/га	28	15	21
Анкор 60 г/га	14	8	8
Анкор 120 г/га	6	5	4
Анкор 30 г/га + СПУ-60	21	10	31
Анкор 30 г/га + СПУ-90	29	10	15
Анкор 30 г/га + Ps 45	36	10	16
Анкор 30 г/га + Ps 90	22	10	39
Анкор 60 г/га + СПУ-60	17	8	8
Анкор 60 г/га + СПУ-90	11	5	11
Анкор 60 г/га + Ps 45	18	10	16
Анкор 60 г/га + Ps 90	22	10	39
Анкор 120 г/га + СПУ-60	4	3	5
Анкор 120 г/га + СПУ-90	8	5	14
Анкор 120 г/га + Ps 45	13	8	5
Анкор 120 г/га + Ps 90	9	10	3

\* – СПУ – синтетическое комплексное азотно-фосфорное удобрение.

\*\* – Ps – суперфосфат.

**Влияние гербицида Анкор-85 в составе комплекса средств химии на общее количество сорняков на суглинистой почве в конце вегетационного периода**

Варианты опыта	Количество сорняков, шт/м <sup>2</sup>			
	АНКОР-85, г/га			
	0	30	60	120
Контроль (без удобрений)	31	7	5	3
СПУ, 60 кг/га	18	8	5	3
СПУ, 90 кг/га	11	7	5	4
Суперфосфат, 45 кг/га	9	3	5	6
Суперфосфат, 90 кг/га	13	5	3	6

Эффективность действия Анкор-85 на суглинистой почве в зависимости от нормы применения составляла 72–94 %, на супесчаных почвах – 79–96 %. При совместном применении Анкор-85 с минеральными удобрениями отмечено некоторое увеличение (на 3–5 %) его фитотоксичного эффекта.

Установлено значительное снижение общей фитомассы сорняков в опытных вариантах по сравнению с контролем: так, на суглинистых и супесчаных почвах масса сорной растительности на 1 м<sup>2</sup> при норме его применения 30 г/га уменьшалась в 4–5 раз, при 60 г/га – в 6–7 раз, при 120 г/га – в 7–12 раз. Эффективность препарата увеличивалась в 2–3 раза при применении его на фоне минеральных удобрений и полива.

Изучение влияния Анкор-85 в комплексе с минудобрениями на структуру фитоценоза сорной растительности в посевах хвойных пород на суглинистых почвах показало, что изменяется как общее количество сорных растений, так и их видовой состав. К осени общее количество сорных растений значительно уменьшилось, что указывает на продолжительность действия препарата (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что количество сорных растений на опытных участках после совместного применения минеральных удобрений и Анкор-85 к осени составило всего лишь 3–8 шт. на 1 м<sup>2</sup> посевной площади, что значительно ниже контроля.

К концу вегетационного периода под воздействием гербицида Анкор-85 изменилось видовое представительство в структуре фитоценоза сорной растительности. Неустойчивые по отношению к фитотоксическому действию

гербицида сорняки замещаются более устойчивыми видами. Так, к осени в структуре фитоценозов исчезают: марь белая, звездчатка средняя, ромашка аптечная, ярутка полевая, полынь обыкновенная. Эти виды замещаются фиалкой трехцветной, горошком мышиным, осотом, одуванчиком, льнянкой, горцем; наиболее устойчивыми видами к данному гербициду оказались: фиалка трехцветная, льнянка, мышиный горошек. В ходе исследований было отмечено, что гербицид Анкор-85 на фоне различных минеральных удобрений действует на структуру фиторастительного сообщества сорняков более сложным образом и в зависимости от сочетания компонентов комплекса в большей или меньшей степени подавляет те или иные виды сорняков. Чувствительность сеянцев сосны к действию гербицида Анкор-85 при довсходовом его применении в нормах 30 г/га, 60 г/га и 120 г/га оценивалась по количеству жизнеспособных растений на 1 погонный метр в конце вегетационного периода. Результаты этих исследований представлены в табл. 3.

В вариантах с использованием медленнодействующих азотно-фосфорных удобрений (СПУ) зависимость между нормами расхода 60 кг/га – 90 кг/га и долей жизнеспособных сеянцев была аналогичной, а в вариантах с использованием суперфосфата зависимость была отрицательной во всем рассмотренном диапазоне норм. Экспериментальные данные показывают, что при нормах расхода Анкор-85 30 г/га, а особенно 60 г/га, внесение удобрений увеличивало долю жизнеспособных сеянцев до 47 % в варианте с применением суперфосфата 90.

**Результаты измерений биометрических параметров опытных растений сосны в первый год выращивания в эксперименте по комплексному применению удобрений совместно с гербицидом Анкор-85**

		БЕЗ ГЕРБИЦИДА				гербицид АНКОР 30 г / га				гербицид АНКОР 60 г / га				гербицид АНКОР 120 г / га			
		Высота стволика, см	Длина корня, см	Вес одного растения, г		Высота стволика, см	Длина корня, см	Вес одного растения, г		Высота стволика, см	Длина корня, см	Вес одного растения, г		Высота стволика, см	Длина корня, см	Вес одного растения, г	
				Процент жизнеспособных, %				Процент жизнеспособных, %				Процент жизнеспособных, %					
				ствол	корень			ствол	корень			ствол	корень			ствол	корень
КОНТРОЛЬ без удобрений	Средн.	4,5	17,7	0,33	0,14	4,6	20,7	0,33	0,15	5,2	17,1	0,38	0,11	4,5	17,7	0,33	0,12
	Абс.ош.	0,14	0,42	100		0,16	0,46	114		0,13	0,48	62		0,14	0,42	56	
	% к контр.	100	100			102	117			116	97			100	102		
	Коэф. вар., %	17	13			19	12			14	15			17	13		
СПУ Доза – 60	Средн.	4,7	19,2	0,32	0,130	5	19,5	0,52	0,19	5,3	17,6	0,40	0,12	4,9	17,9	0,33	0,13
	Абс.ош.	0,13	0,42	101		0,17	0,39	124		0,21	0,65	70		0,16	0,45	39	
	% к контр.	104	108			111	110			118	99			109	102		
	Коэф. вар., %	15	12			19	11			22	20			17	14		
СПУ Доза – 90	Средн.	4,9	17,9	0,33	0,140	5,3	20,5	0,52	0,19	4,6	19,2	0,31	0,11	4,5	18,8	0,25	0,10
	Абс.ош.	0,16	0,46	102		0,18	0,47	116		0,12	0,42	97		0,12	0,44	54	
	% к контр.	109	101			118	116			102	108			100	107		
	Коэф. вар., %	18	14			18	12			14	12			15	13		
Суперфосфат Доза – 45	Средн.	5,1	19,2	0,32	0,120	4,2	20,3	0,37	0,12	5,6	19	0,40	0,12	4,5	18,3	0,30	0,11
	Абс.ош.	0,19	0,45	120		0,18	0,48	126		0,2	0,41	82		0,1	0,43	61	
	% к контр.	113	108			93	115			124	107			102	102		
	Коэф. вар., %	19	12			23	13			19	12			12	13		
Суперфосфат Доза – 90	Средн.	5,8	19,7	0,59	0,200	5,5	18,7	0,47	0,14	5,3	19,6	0,38	0,15	4,6	18,2	0,31	0,11
	Абс.ош.	0,2	0,55	133		0,14	0,41	118		0,2	0,43	109		0,17	0,46	47	
	% к контр.	129	111			122	106			118	111			102	102		
	Коэф. вар., %	19	15			14	12			21	12			20	14		

Качество семян хвойных пород первого года выращивания в каждом варианте опыта оценивалось по общепринятым биометрическим показателям: высота, длина корня, вес 150 штук случайно отобранных растений. Для большинства вычисленных биометрических параметров ошибка опыта не превышала 3–5 %, что свидетельствует о высокой статистической достоверности полученных данных (табл. 3).

Из данных табл. 3 следует, что средства химии мало влияют на линейные пара-

метры (высоту стволиков и длину корней) однолетних семян сосны как на суглинистых, так и на супесчаных почвах, при этом отмечается лишь незначительное положительное влияние удобрений и, прежде всего, на средний вес семени. При увеличении нормы расхода Анкор-85 до 30 г/га просматривается четкая тенденция к увеличению веса семян сосны, которая при дальнейшем увеличении нормы меняется на противоположную. В целом совместное применение гербицидов и минеральных удобрений

способствует увеличению веса выращиваемых сеянцев (максимально до 54,6 % в варианте с применением СПУ-60 и СПУ-90 при норме расхода Анкор-85 30 г/га на супесчаных почвах и до 75–125 % в аналогичном варианте – на суглинистых почвах).

Таким образом, по результатам полевых экспериментов можно сделать вывод о перспективности довсходового применения малотоксичного гербицида Анкор-85 в про-

изводственных технологиях выращивания посадочного материала хвойных пород в лесных питомниках на основе комплексного применения средств химии.

#### Библиографический список

1. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2002 г. // Защита и карантин растений: Справочное издание. – М., 2002. – 392 с.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

А.В. РОДИОНОВ, *ст. преподаватель каф. механизации сельскохозяйственного производства ПетрГУ, канд. техн. наук*

**В** лесопользовании как отрасли общественного производства основным объектом является участок лесного фонда (УЛФ), на котором осуществляется производство продукции – заготовка и восстановление лесных ресурсов.

Производство продукции как совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материалов или полуфабрикатов является сферой технологии [9].

Согласно классической политэкономии [6], общественное производство характеризуется производительными силами и производственными отношениями. Отношения базируются на распределении прибыли, которая возникает после продажи на рынке произведенной продукции.

Технология как наука изучает функционирование системы «человек – машина – окружающая среда – предмет труда», которая получила название «технологическая система» (ТС). Продукция не включается как составная часть непосредственно в ТС, а рассматривается как цель ее функционирования [1].

Эффективность такой ТС согласно ГОСТ 27.203–83 «Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности» оценивается по параметрам качества

продукции, по производительности и по величине затрачиваемых ресурсов.

В условиях рыночной экономики этого недостаточно: ТС не может считаться эффективной, если произведенная продукция не может быть продана с прибылью. Факт получения прибыли удостоверяет, что данная продукция (и, соответственно, технология ее производства) удовлетворяет какую-либо общественную потребность по количеству и качеству [6].

Для сравнения и оценки эффективности различных ТС освоения УЛФ с учетом экономических факторов их функционирования в настоящее время используется показатель рентабельности

$$\eta_i = \frac{P_i}{\tilde{N}_i} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $P_i$  – прибыль на 1 м<sup>3</sup> древесины, продаваемой на рынке, для  $i$ -го варианта ТС (показатель рыночной эффективности), р.;

$C_i$  – себестоимость производства 1 м<sup>3</sup> продаваемой древесины для  $i$ -го варианта ТС (показатель технологической эффективности), р.

Чтобы устранить противоречие между существующими представлениями об эффективности ТС и рыночными факторами,

предлагается включить продукцию в состав этой системы.

В предлагаемой ТС «человек – машина – окружающая среда – предмет труда – продукция» продукция является частью системы, но отчуждается от нее и становится предметом купли-продажи на рынке с целью извлечения прибыли.

С точки зрения системного подхода, цель функционирования ТС меняется – от производства продукции к производству прибыли, что адекватно отражает сущность производства в рыночных условиях [6]. Таким образом, продукция становится технологическим фактором, что позволяет производить оценку эффективности и оптимизации системы с учетом ее конкурентоспособности.

Конкурентоспособность ТС повышается при снижении затрат ресурсов на производство продукции [6]. Ресурсы затрачиваются в натуральном виде и имеют денежную оценку. Эта оценка не всегда отражает затраты на освоение УЛФ с учетом длительности цикла лесовыращивания, что является существенным недостатком рентабельности (1) как интегрального показателя конкурентоспособности ТС.

Некоторые ресурсы (как, например, благоприятная окружающая среда) вообще не оценены в деньгах, поскольку не включены в рыночный оборот, однако участвуют в процессе производства [6].

Для оценки и сравнения ТС с длительным циклом производства продукции (лесовыращивание) предлагается методика, основанная на расчете расходования ресурсов в натуральном их выражении.

Согласно этой методике показатель эффективности ТС будет иметь вид

$$E_i = \frac{P_i \cdot \bar{R}}{\bar{P} \cdot R_i} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $\bar{P}$  – средняя величина прибыли на 1 м<sup>3</sup> древесины для  $n$  сравниваемых вариантов ТС, р.;

$R_i$  – интегральный показатель расходования ресурсов (в натуральном их выражении – количестве топлива,

человеко-дней труда рабочих и т.п., – с учетом значимости расходования для общества) для  $i$ -го варианта ТС;

$\bar{R}$  – средняя величина показателя расходования ресурсов для  $n$  сравниваемых вариантов ТС.

Заметим, что альтернативой данной методике могла быть зависимость, предполагающая суммирование показателей (метод равномерной оптимальности). Однако при этом возникает возможность компенсации низких оценок по одному критерию (например, прибыль) за счет высоких оценок по другому критерию (расходования ресурсов) и наоборот. Предложенная методика, основанная на принципе справедливого компромисса, свободна от этого недостатка [2].

Из выражения (2) следует, что эффективность ТС будет повышаться при увеличении прибыли и снижении расходования ресурсов.

Для оценки эффективности по формуле (2) требуется расчет интегрального показателя расходования ресурсов в натуральном их выражении [10]. При вычислении показателя  $R$  для различных вариантов ТС освоения УЛФ необходимо учитывать, что в любой из сравниваемых систем расходуются следующие ресурсы [7]:

- живой труд, выражается в человеко-днях, затраченных на выполнение основных, подготовительных и др. работ;
- орудия труда, выражается в килограммах металла в конструкции машин и запасных частей;
- энергия, определяется количеством израсходованного топлива;
- предмет труда, оценивается количеством природного объекта, использованного для производства продукции;
- окружающая среда, оценивается размером ее относительного повреждения или уничтожения;
- время, оценивается его количеством, необходимым для выполнения технологических операций;
- информация, может быть оценена в человеко-днях, необходимых для разработки документации.

Принцип ресурсосбережения предполагает производство продукции с минимальным расходом ресурсов и наименьшим воздействием на окружающую среду при безусловном достижении цели процесса производства [7].

В теории принятия решений разработаны следующие многокритериальные методы расчета интегрального показателя расходования различных ресурсов (с учетом их значимости) для сравнения и оценки альтернативных вариантов ТС освоения УЛФ [2, 4, 5]:

– вычисление показателя по методу Гермейера

$$R = \sum_{i=1}^k \lambda_i \cdot W_i \rightarrow \min, \sum_{i=1}^k \lambda_i = 1; \quad (3)$$

– вычисление показателя по методу Руссмана

$$R = \prod_{i=1}^k \lambda_i \cdot W_i \rightarrow \min, \sum_{i=1}^k \lambda_i = 1; \quad (4)$$

– вычисление показателя по методу главной компоненты

$$R = W_i \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $i$  – количество видов ресурса,  $i = 1 \dots k$ ;

$W_i$  – величина показателя расходования  $i$ -го вида ресурса на 1 ед. продукции;

$\lambda_i$  – коэффициент значимости (вес) расходования  $i$ -го вида ресурса.

Поскольку ресурсы не выражаются в одних и тех же единицах измерения, в формулах (3–5) используются безразмерные показатели  $W_i$ , вычисляемые с помощью функции [4]

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (6)$$

где  $i$  – количество вариантов ТС освоения УЛФ,  $i = 1 \dots n$ ;

$V_i$  – величина расходования  $i$ -го вида ресурса в  $n$ -ом варианте ТС освоения УЛФ в известных единицах измерения.

Недостатком метода Гермейера (3) является возможность компенсации низких оценок по некоторым критериям за счет высоких оценок по другим. Свободен от этого недостатка метод Руссмана (4), однако низкая оценка альтернативы хотя бы по одному

из критериев влечет за собой общее ухудшение интегрального показателя, рассчитываемого по этому методу. Основным недостатком метода главной компоненты (5) является произвол в выборе критерия, по которому сравниваются альтернативы (при этом все остальные критерии переводятся в разряд ограничений) [2, 4].

С целью компенсации недостатков рассмотренных методов вычисления интегрального показателя рекомендуется рассчитывать показатели по каждой методике в отдельности, а затем вычислять итоговый показатель (например, методом строчных сумм). При этом совместное использование метода Гермейера (3) и метода главной компоненты (5) позволяет выявить наилучшую альтернативу, а метод Руссмана (4) – оценить равномерность «качества» сравниваемых ТС по всей совокупности критериев [4].

Информация, необходимая для определения величины коэффициентов значимости  $\lambda_i$  (3, 4), а также выбора главного компонента (5), может быть получена только от экспертов с помощью [5]:

– методов, основанных на многокритериальной теории полезности – метод отношений, метод наибольших отклонений и др.;

– методов, основанных на подходах аналитической иерархии;

– методов, основанных на конструктивистском подходе;

– методов, основанных на экспертных оценках.

Основным недостатком методов многокритериальной теории полезности и аналитической иерархии является то, что назначаемые веса критериев могут отражать только мнение одного эксперта, осуществляющего выбор ТС из предлагаемых ему альтернатив.

Свободны от этого недостатка методы, основанные на конструктивистском подходе, и методы, основанные на экспертных оценках.

Однако методы конструктивистского подхода предполагают, что эксперты назначают веса критериев на основе сравнения группы заранее заданных альтернатив [5]. В

связи с этим был выбран метод сбора экспертных оценок «анкетирование» [3], что позволяет:

- выявить предпочтения и ожидания экспертов, сформировавшиеся в ходе эксплуатации различных вариантов ТС освоения УЛФ (согласно рефлексивному подходу [5], ожидания экспертов формируют основу их поведения по выбору предпочтительного варианта ТС в будущем, следовательно, экспертная оценка позволяет еще спрогнозировать направления развития технологии);

- охватить экспертов, территориально удаленных друг от друга.

Необходимо заметить, что экспертную оценку показателей важности сбережения ресурсов рекомендуется проводить регулярно [3].

Экспертные оценки значимости различных ресурсов (табл. 1), расходуемых в процессах лесосечных и лесовосстановительных работ, проводились в 1998–2000 гг. на предприятиях лесной промышленности и лесного хозяйства Республики Карелия. В анкетировании приняли участие руководящие и инженерно-технические работники. Обработка анкет показала согласованность мнений экспертов, результаты анкетирования статистически достоверны [3].

Полученные результаты (табл. 1) показывают, что наиболее значимым для экспертов ресурсом, расходуемым в процессах лесосечных и лесовосстановительных работ, является живой труд (общая весомость составляет 69,9–71 % от всей совокупности ресурсов). Следовательно, в качестве главного компонента (5) принимаем живой труд [2, 5, 8].

Сложившаяся ситуация объясняется тем, что в настоящее время в Карелии основные операции лесосечных работ полностью механизированы и частично механизированы. Однако подготовка лесосек к освоению и очистка от порубочных остатков выполняются преимущественно вручную. В то же время в лесовосстановлении преобладают технологические процессы с обработкой почвы механизмами и выполнением всех остальных операций вручную.

Аналогичная ситуация наблюдается при выращивании посадочного материала в лесных питомниках.

Высокая значимость живого труда подтверждается в Карелии устойчивой тенденцией к переходу на «малолюдные» технологии лесозаготовок и лесовосстановления, что позволяет сократить количество работающих в лесу. Ситуация стимулируется дефицитом рабочей силы в лесных поселках, возникшей из-за низкого уровня оплаты труда в лесной отрасли.

Например, в 2002 г. средняя заработная плата рабочих и служащих в органах лесного хозяйства составляла 4090,8 р., а в лесозаготовительной промышленности – 3937 р. При этом величина прожиточного минимума на одного человека в 2002 г. составляла 2054 р. [8].

Для обеспечения простого воспроизводства рабочей силы необходимо, чтобы заработная плата позволяла наемному работнику поддерживать свою способность к труду и содержать ребенка – будущего работника [6], т.е. заработная плата должна превышать прожиточный минимум в 2 раза.

Т а б л и ц а 1

**Значимости ресурсов, расходуемых при освоении УЛФ**

Вид ресурса	Лесосечные работы		Лесовосстановительные работы	
	Значимость, %	Ранг	Значимость, %	Ранг
Живой труд	39,9	1	32,7	1
Орудия труда	15,9	2	5,0	6
Энергия	10,0	5	9,8	5
Предмет труда	10,0	4	22,0	2
Окружающая среда	11,8	3	11,1	4
Машинное время	8,8	6	15,2	3
Информация	3,6	7	4,2	7
Итого	100,0	–	100,0	–

Следовательно, величина заработной платы в органах лесного хозяйства и лесозаготовительной промышленности не обеспечивает простое воспроизводство нанятых рабочих и служащих. Это подтверждается сокращением численности населения (рождаемость в РФ в 2002 г. составила 9,6 чел. на 1000 чел. населения, смертность – 17,8), падением комплексной выработки на 1 рабочего лесозаготовок почти в 2,5 раза по сравнению с 1990 г. и увеличением среднего возраста основных лесопромышленных рабочих [8].

Для апробации предлагаемой методики определения эффективности ТС в рамках проекта «Тайга – Модельный лес» в Республике Карелия были проведены сравнительные исследования российской, финской и шведской технологий рубок ухода. Исследования включали сбор фактических данных для определения прибыли, себестоимости и расходования ресурсов на 1 м<sup>3</sup> реализованной древесины [11].

На участке, разработанном по российской технологии, выполнялись лесоводственные нормативы, действующие на территории Карелии. На участках, разработанных по финской технологии, выполнялись лесоводственные требования, применяемые фирмой «Stora-Enso» при проведении рубок ухода в Финляндии. На участках, разработанных по шведской технологии рубок ухода, применялись лесоводственные нормативы системы лесной сертификации «FSC».

Выбор технологий объясняется тем, что в настоящее время наибольшее распространение на рубках ухода в Карелии имеет следующий вариант российской технологии,

предусматривающей вывозку сортиментов: валка деревьев бензопилой, обрезка (обрубка) сучьев у пня, трелевка хлыстов гусеничным трактором с канатно-чokerной оснасткой, раскряжевка хлыстов на верхнем складе бензопилой, погрузка и вывозка автомобилем-сортиментовозом, оснащенным гидроманипулятором.

На предприятиях республики данный вариант реализуется на базе гусеничных трелевочных тракторов ОАО «Онежский тракторный завод»: ТДТ-55А, ТЛТ-100А и др. Для валки леса используются бензопилы фирм «Husqvarna» и др., для обрубки сучьев – бензопилы или топоры.

В связи с сокращением предложения рабочей силы в лесных поселках, лесозаготовительные предприятия Карелии осуществляют постепенный переход на иностранные технологии сортиментной заготовки древесины (в т.ч. и на рубках ухода) на базе импортной лесозаготовительной техники – шести- и восьмиколесных харвестеров и форвардеров фирм «Timberjack», «Valmet» и др.

Данные технологии предусматривают валку деревьев, обрезку сучьев у пня и раскряжевку харвестером, подвозку сортиментов к верхнему складу форвардером, погрузку и вывозку автомобилем-сортиментовозом, оснащенным гидроманипулятором.

В проведенном исследовании рубки ухода по российской технологии выполнялись с использованием бензопил «Husqvarna-257» и трелевочного трактора ТДТ-55А. Рубки по финской и шведской технологии выполнялись с применением харвестера «KINDAI H-8» и форвардера «KINDAI S-12».

Т а б л и ц а 2

**Результаты расчетов для технологий рубок ухода**

Показатель	Технология рубок ухода		
	русская	финская	шведская
Себестоимость, р./м <sup>3</sup> (2000 г.)*	74,07	283,48	287,16
Прибыль, р./м <sup>3</sup> (2000 г.)	225,93	16,52	12,84
Показатель расходования ресурсов по методу *:			
– Гермейера	0,501	0,243	0,256
– Руссмана	$3,79 \cdot 10^{-10}$	$0,18 \cdot 10^{-10}$	$0,28 \cdot 10^{-10}$
– главной компоненты	0,679	0,159	0,161
Интегральный показатель расходования ресурсов, $R_i$ *	0,590	0,201	0,209
Показатель эффективности, $E_i$ *	<b>4,699</b>	<b>0,177</b>	<b>0,094</b>

\* Минимальные значения соответствуют наилучшему варианту.

На основе полученных в ходе исследования данных были рассчитаны себестоимость, прибыль, интегральный показатель расходования ресурсов (3–5) и показатель эффективности (2) для упомянутых технологий.

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Наилучшей, с точки зрения ресурсосбережения, является финская технология рубок ухода. Однако, с точки зрения максимизации прибыли на 1 м<sup>3</sup> продукции, лидирует российская технология рубок ухода. Лучшей по показателю эффективности (2) среди рассмотренных является российская технология рубок ухода (табл. 2).

Это означает, что для настоящего времени предпочтительнее российская технология, а для долгосрочного планирования технического перевооружения предприятий можно рекомендовать финскую технологию. Достоверность рекомендации подтверждается тем, что в настоящее время лесопромышленные предприятия Карелии осуществляют переход на сортиментные технологии заготовки древесины даже в ущерб прибыльности производства.

Сравнительный анализ технологий искусственного лесовосстановления проведен на примере посадки сеянцев сосны с открытой корневой системой (ОКС) на 1 га нераскорчеванной вырубке из-под сосняка-брусничника, т.к. в Карелии большая часть лесокультурного фонда представлена нераскорчеванными вырубками с числом пней более 600 шт./га и каменистыми почвами. Основными способами искусственного лесовосстановления на таких площадях являются ручная посадка сеянцев сосны или ели с ОКС под меч Колесова в полосы, подготовленные дисковыми покровосдирателями типа ПДН-1А, ПДН-2 в агрегате с гусеничными трелевочными тракторами ТДТ-55А или ТЛТ-100А, и механизированный посев с одновременной подготовкой почвы с использованием этих же покровосдирателей [12].

Вместо покровосдирателей могут использоваться тяжелые дисковые бороны типа ТТС-20, агрегируемые с тракторами

ТДТ-55А или ТЛТ-100А либо с колесными форвардерами.

Основным недостатком покровосдирателей являются частые поломки дисков при неизбежном контакте с камнями. При этом производительность труда при ручной посадке сеянцев составляет не более 1000 шт./чел.-смену, или 0,25 га/чел.-смену при норме посадки 4000 шт./га. С целью повышения производительности труда на лесовосстановительных работах в условиях Республики Карелия предлагается использовать лункообразователи динамического действия Л-2У, разработанные в Петрозаводском государственном университете (ПетрГУ). Назначение лункообразователя Л-2У – подготовка лунок глубиной до 23 см для посадки саженцев и укрупненных сеянцев, норма посадки для которых снижена до 2500 шт./га по сравнению с 4000 шт./га для обычных сеянцев. Для подготовки лунок под обычные сеянцы (глубиной до 16 см) лункообразователь комплектуется сменными рабочими органами [12].

Рассмотрим следующие процессы искусственного лесовосстановления:

- обработка почвы лесокультурным агрегатом ЛХТ-55 + ПДН-2 с последующей ручной посадкой сеянцев с ОКС под меч Колесова;

- обработка почвы лесокультурным агрегатом ЛХТ-55 + Л-2У с последующей ручной посадкой сеянцев сосны с ОКС в подготовленные лункообразователем Л-2У посадочные места.

Исходные данные для расчетов были собраны на лесопромышленном предприятии ОАО «Воломский КЛПХ «Лескарел» (Карелия) в 2002–2004 гг.

Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что лучшей как с точки зрения ресурсосбережения, так и с точки зрения максимизации прибыли на 1 га является технология с посадкой леса под лункообразователь Л-2У. Использование Л-2У повышает производительность труда в 2,38 раза и снижает себестоимость работ на 253,03 р./га.

Результаты расчетов для технологий лесовосстановления

Показатель	Машины и оборудование	
	ЛХТ-55 + ПДН-2 + меч Колесова	ЛХТ-55 + Л-2У
Себестоимость, р./га (2004 г.) *	3421,22	3168,19
Прибыль, р./га (2004 г.)	378,78	631,81
Показатель расходования ресурсов по методу *:		
– Гермейера	0,565	0,435
– Руссмана	$2,71 \cdot 10^{-9}$	$1,18 \cdot 10^{-9}$
– главной компоненты	0,702	0,298
Интегральный показатель расходования ресурсов, $R_i$ *	0,634	0,366
Показатель эффективности, $E_i$ *	<b>0,950</b>	<b>0916</b>

\* Минимальные значения соответствуют наилучшему варианту.

Следует отметить, что с сентября 2004 г. в ПетрГУ по заказу лесопромышленного холдинга ОАО «Сегежский ЦБК» начата научно-исследовательская работа по внедрению технологии лесовосстановления на базе лункообразователей Л-2У на лесозаготовительных предприятиях этого холдинга. Ожидаемый ежегодный объем лесовосстановительных работ – до 10 тыс. га.

В заключение следует отметить, что расчеты по формулам (2–6) можно проводить для оценки эффективности лесосечных и лесовосстановительных работ отдельно друг от друга либо совместно для комплекса работ по освоению участков лесного фонда.

Совместное использование формул (2–6) дает возможность оценить дополнительный эффект, возникающий при применении для освоения УЛФ машин со сменными рабочими органами, позволяющих выполнять работы по заготовке и восстановлению леса (например, колесный форвардер, агрегируемый с тяжелой дисковой боронной типа ТТС-20, либо гусеничный трактор ТЛТ-100А, агрегируемый с лункообразователем Л-2У).

Библиографический список

1. Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин: Учеб. для вузов. – М.: Экология, 1995. – 256 с.
2. Андреев В.Н., Герасимов Ю.Ю. Принятие оптимальных решений: теория и применение в лесном комплексе. – Йоэнсуу: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1999. – 200 с.
3. Бешелев С.Д., Гурвич С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
4. Горский П.В. Положение об аналитическом рейтинге рангового типа [Электронный ресурс] / П.В. Горский – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://www.gorskiy.ru/Articles/ratrul.html>
5. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в волшебных странах: Учеб. для вузов. – М.: Логос, 2003. – 392 с.
6. Маркс К. Избранные произведения. В 3 т. / К. Маркс, Ф. Энгельс. – М.: Политиздат, 1986. – Т 1. – 635 с.
7. Повышение эффективности лесовосстановительных работ на основе ресурсосберегающей технологии: 2000 г. Отчет о НИР (заключит.) / Петрозаводский гос. ун-т; рук. А.М. Цыпук. – № ГР 01200102931 от 25.12.2000. – Петрозаводск, 2000. – 50 с.
8. Представления о лесном секторе Республики Карелия (по официальным данным и результатам анкетирования) / С. Карвинен, А.В. Марковский, А.А. Рогов и др.; под ред. С. Карвинен, А.В. Родионова. – Петрозаводск: Ин-т экономики КарНЦ РАН, 2004. – 64 с.
9. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 2-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1982. – 1600 с.
10. Стратегический менеджмент: Курс лекций // Бухгалтерский учет в торговле [Электронный ресурс] / АО «Аудит-Оптим»: Электрон. журн. – М.: Изд-во «ОПТИМ.RU», 1997. – № 3. – Режим доступа к журн.: <http://www.optim.ru>
11. Цыпук А.М. Кильюнен Н., Харстела П. и др. Экономическая устойчивость и подходящая технология: Отчет о НИР // Известия ун-та Йоэнсуу. – Йоэнсуу: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 2000. – Вып. 115. – С. 61–83.
12. Цыпук А.М. Повышение эффективности лесовосстановительных работ ресурсосберегающей технологией: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – Петрозаводск, 1996. – 36 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНЯКОВ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ НА ОСНОВЕ ТАКСАЦИОННО-ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ

А.А. ВАЙС, доц. каф. лесной таксации, лесоустройства и геодезии СибГТУ, канд. с.-х. наук

Строение полога зависит от лесорастительных условий и состава насаждения. У деревьев кроны смыкаются примерно на одной высоте и создают горизонтальную сомкнутость. Различают горизонтальную и вертикальную сомкнутость крон. Их характеризуют форма и размеры проекций крон деревьев, расположение деревьев в пространстве, состав полога, среднее расстояние между деревьями и кронами, формы и размеры промежутков между кронами.

При изучении сомкнутости крон полога древостоев густоты Г.С. Разин сделал следующие выводы:

а) древостой любой начальной густоты в любых условиях достигает своей индивидуальной предельной сомкнутости крон (1,0–2,0) и предельной сомкнутости полога (0,9–1,0);

б) древостои, являющиеся наиболее сомкнутыми в старших классах возраста, не были такими же в молодом возрасте;

в) древостои становятся менее сомкнутыми тем раньше, чем раньше они достигают предельной сомкнутости. Чем больше начальная густота древостоя, тем скорее они смыкаются и размыкаются.

Известный исследователь в области дешифрирования аэрофотоснимков Г.Г. Самойлович отмечал ряд характерных особенностей строения полога древостоев. Он отмечал, что наибольшее значение для практики инвентаризации лесов будут иметь те, которые основаны не только на изучении структуры полога древостоев, но и на знаниях закономерностей и взаимосвязей между таксационными и морфологическими признаками древостоев. Становится важным измерение отдельных площадей крон, перекрытий между кронами, промежутков между

ними и средних расстояний между деревьями. Такие кроны являются основой для определения фактической степени сомкнутости полога, площадей питания деревьев, густоты древостоев для отбора деревьев в рубку, изучения влияния одних деревьев на рост, прирост и получения других параметров горизонтальной проекции полога.

### Методика исследований

Целью данной работы является изучение сомкнутости крон и полога сосновых насаждений.

Сбор материала был произведен экспедицией кафедры лесной таксации Сибирского технологического института в 1975 году.

Исследования закономерностей в кроновом пространстве осуществлялись по принятым в лесоводственных и таксационных работах методикам на основе ОСТ 56–69–83 «Площади пробные лесоустойчивые. Методы закладки» [1]. Древостои пробных площадей представлены разновозрастными (№ 1, 5) и одновозрастными (№ 2–4) сосновыми насаждениями Нижне-Енисейского лесхоза по классификации Э.Н. Фалалеева.

Исходными данными для обработки послужили пять координатных пробных площадей. Месторасположение деревьев и проекций крон наносят на план пробной площади М 1:100.

На выполненных планах проводили определение сомкнутости в трех вариантах:

а) устанавливали сомкнутость крон с помощью планиметра, которым измеряли площадь проекций крон или диаметр крон реальных деревьев переводили в площадь и суммировали;

б) линейный способ – по проведенным на плане двум диагоналям суммируют протяженность проекций всех крон, перекрывающих линию, и полученное число делят на общую длину двух диагоналей;

в) точечный способ – это способ определения сомкнутости полога отдельных деревьев на пробе (не менее 30 шт.).

Каждое дерево представило собой «точку», выбранную по номерам деревьев.

У растущего дерева измеряли диаметр на высоте груди, радиус кроны в четырех направлениях (С, Ю, З, В) с помощью пятиметрового шеста. Возраст деревьев определялся с помощью кернов. Сверление деревьев производилось возрастным буром шведского производства. Для замера вертикальных положений (точек) ствола дерева использовали высотомер – эклиметр.

### Характеристика природных условий

Территория Нижне-Енисейского лесхоза представлена одним массивом, разделенным р. Енисей на две части, которые существенно отличаются по своим природным условиям.

По устройству поверхности правобережная часть лесхоза расположена в пределах Енисейского кряжа, где преобладает среднегорный рельеф местности с высотами от 300 до 825 м над уровнем моря с глубоко врезанными в кряж долинами рек.

Левобережная часть лесхоза находится в Кеть-Сымской низменности (расположена в пределах Западно-Сибирской низменности) и представляет собой очень пологоувалистую заболоченную поверхность.

По схеме природного районирования восточной части Сибири Нижне-Енисейский лесхоз в его правобережной части и северо-восточной части левобережья относится к средней тайге, в остальной части левобережья – к южной тайге.

По лесорастительному районированию, разработанному Институтом леса СО РАН им. В.Н. Сукачева, правобережье лесхоза относится к Кетскому горно-таежному округу пихтовых лесов приенисейской горной лесорастительной провинции Среднесибирской лесорастительной области. Левобережье – к Сымско-Елогуйскому среднетаежному округу сосновых и еловых лесов приенисейской равнинной лесорастительной провинции, Западно-Сибирской лесорастительной области.

В целом по лесхозу покрытые лесом земли составляют 75,6 % лесного фонда, из них площадь хвойных насаждений составляет 86,3 %, площадь лиственных – 13,7 %.

Насаждения Нижне-Енисейского лесхоза среднеполнотные: так, средняя полнота составляет 0,61 – невысокой производительности (средний бонитет – IV,3) с преобладанием перестойных (средний возраст 163 года) древостоев. Средний запас на 1 га составляет 172 м<sup>3</sup>, спелых и перестойных насаждений – 174 м<sup>3</sup>.

### Экспериментальные исследования

Обработка полевого материала производилась по данным, полученным с координатных пробных площадей.

Таксационная характеристика сосняков приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Таксационная характеристика сосновых древостоев

Но- мер про- бы	Пло- щадь пробы, га	Коли- чество стволов, шт./га	Возраст, лет	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Диаметр кроны, м	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	За- пас, м <sup>3</sup> /га	Пол- нота	Бо- ни- тет
1	0,20	1420	80 ед 240	14,2	12,0	4,2	19,28	117	0,66	V
2	0,20	285	90	21,8	14,0	3,1	10,60	71	0,35	V
3	0,20	180	100	19,5	11,7	2,6	5,36	36	0,19	V <sup>a</sup>
4	0,20	335	100	21,1	14,2	2,8	11,73	79	0,38	V
5	0,20	290	80+210	24,4	17,3	3,0	13,57	118	0,41	V <sup>a</sup>

Таксационная характеристика пробных площадей позволяет сделать вывод, что все насаждения имеют различия по одному из показателей (возрастной структуре, пространственной структуре, качеству условий местообитания), что указывает на разнородность собранного материала.

Сомкнутость полога – это показатель, характеризующий степень занятости территории кроновым пространством. С помощью его оценивают степень перекрытия кроны в пологе насаждения.

По данным И.М. Данилина [2], полнота и сомкнутость кроны довольно тесно коррелируют друг с другом ( $R = 0,60 - 0,90$ ). Однако взаимосвязь между этими признаками отличается существенной изменчивостью, что создает известные трудности при определении полноты по аэроснимкам. При одной и той же сомкнутости насаждения полнота может различаться на 0,2–0,4. Это обусловлено тем, что на характер взаимосвязи между полнотой и сомкнутостью кроны существенное влияние оказывает горизонтальная структура насаждений. У деревьев с близкими диаметрами при одной полноте насаждений площади кроны будут меньше при групповом распределении, а при случайном распределении будут одинаковыми,

в то же время сомкнутость кроны при групповом размещении деревьев будет меньше.

Данные о сомкнутости кроны и полноте древостоев приведены в табл. 2.

Анализ табл. 2 позволяет сделать вывод: во всех случаях полнота зависит от сомкнутости; во всех случаях сомкнутость кроны меньше полноты.

Для пробы № 5 разница достигает 0,22 единиц.

При этом полнота достигает максимальных значений 0,66. Возрастная структура влияет как на сомкнутость кроны (разновозрастные древостои имеют максимальную сомкнутость кроны), так и на полноту.

Сомкнутость полога – это основной дешифровочный показатель, с помощью которого определяют относительную полноту и запас насаждений. Горизонтальная проекция полога складывается из суммы площадей деревьев, входящих в полог, за исключением суммы площадей перекрытых частей кроны [3].

Результаты расчетов сомкнутости полога приведены в табл. 3.

В отличие от сомкнутости кроны, сомкнутость полога во всех случаях больше полноты за исключением пробной площади № 4, где сомкнутость полога равна полноте.

Т а б л и ц а 2

**Сомкнутость кроны и полнота сосняков на пробных площадях**

Показатели	Средний возраст древостоя, лет				
	№ 1 80 ед 240	№ 2 90	№ 3 100	№ 4 100	№ 5 80 + 210
Сомкнутость кроны	0,44	0,25	0,11	0,24	0,29
Полнота	0,66	0,35	0,19	0,38	0,41
Разница	-0,22	-0,10	-0,08	-0,14	-0,12

Т а б л и ц а 3

**Сомкнутость полога древостоя и полноты сосняков на пробных площадях**

Показатели	Средний возраст древостоя, лет				
	№ 1 80 ед 240	№ 2 90	№ 3 100	№ 4 100	№ 5 80 + 210
Сомкнутость полога	1,01	0,44	0,36	0,38	0,54
Полнота	0,66	0,35	0,19	0,38	0,41
Разница	0,39	0,09	0,17	–	0,13

Для пробы № 1 разница достигает 0,39 единиц. При этом сомкнутость достигает максимального значения – 1,05. Минимальная разница наблюдается на пробе № 2 и составляет 0,09. Так же, как и в случаях с сомкнутостью крон, наблюдается связь с возрастной структурой.

В древостоях, имеющих сложную структуру, необходимо учитывать особенности строения с учетом возрастной, пространственной структуры и степени конкурентных взаимоотношений. В таких древостоях структуру необходимо изучать на уровне биогрупп, центром которых является условное дерево.

В табл. 4 приведены основные статистические показатели сомкнутости полога на уровне растущего дерева.

Сравнение данных о сомкнутости полога насаждения и сомкнутости полога на уровне растущего дерева приведено в табл. 5.

Соотношение сомкнутости полога насаждения и растущего дерева зависит от их размещения. Во всех случаях сомкнутость полога насаждения и растущего дерева зависит от размещения растений, что указы-

вает на низкую густоту деревьев в группах, т.е. слабую пространственную зависимость деревьев.

На основе данных о сомкнутости полога растущих деревьев, диаметров крон и диаметров дерева были рассчитаны парные и множественные регрессионные уравнения вида

$$d_{1,3} = a + bC_{п}, \quad (1)$$

где  $d_{1,3}$  – диаметр дерева на высоте груди, см;

$C_{п}$  – сомкнутость полога на уровне растущего дерева;

$a, b$  – коэффициент линейного уравнения.

В табл. 6 приведены параметры регрессионного уравнения для связи диаметра дерева ( $d_{1,3}$ ) с сомкнутостью полога на уровне растущего дерева.

Модели из табл. 6 недостоверны, так как коэффициент Фишера ( $F$ ) меньше 3. Для того чтобы повысить информативность, адекватность модели дополнительно в качестве входной переменной, использовали диаметр кроны. В табл. 7 приведены параметры регрессионного уравнения.

Т а б л и ц а 4

**Статистические показатели среднего расстояния на уровне растущего дерева**

Номер пробы	Среднее расстояние, м	Основная ошибка, м	Асимметрия	Экссесс	Коэффициент, %	Точность опыта, %	Абсолютный максимум, м	Абсолютный минимум, м
1	1,7	0,07	2,452	10,528	64,7	4,1	8,9	0,2
2	3,1	0,16	0,631	0,040	40,2	5,2	6,4	1,2
3	2,6	0,19	0,840	0,885	43,2	7,3	5,7	0,7
4	2,8	0,14	0,355	-0,592	39,5	5,0	5,3	0,7
5	3,0	0,25	1,150	0,411	62,8	8,3	8,4	0,7

Т а б л и ц а 5

**Сомкнутость полога насаждения и средняя сомкнутость полога на уровне растущего дерева**

Показатели	Средний возраст древостоя, лет				
	№ 1 80 ед 240	№ 2 90	№ 3 100	№ 4 100	№ 5 80 + 210
Сомкнутость полога насаждения	1,05	0,44	0,36	0,38	0,54
Сомкнутость полога на уровне растущего дерева	0,44	0,25	0,11	0,24	0,29
Разница	-0,61	-0,19	-0,25	-0,14	-0,25

Т а б л и ц а 6

**Параметры регрессионного линейного уравнения вида  $d_{1.3} = a + bC_n$**

Номер пробы	Возраст, лет	Параметры уравнения					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	<i>m<sub>x</sub></i> , см	<i>F</i>	<i>N</i> , шт
1	80 ед 240	8,601	9,461	0,228	5,5	2,3	45
2	90	21,283	-2,452	0,065	7,1	0,2	40
3	100	14,701	7,024	0,115	8,9	0,4	34
4	100	17,922	6,307	0,166	6,4	0,9	35
5	80 + 210	12,649	17,579	0,272	11,2	2,6	35

Т а б л и ц а 7

**Параметры линейной модели вида  $d_{1.3} = a + bC_n + cd_{кр}$**

Номер пробы	Возраст, лет	Параметры уравнения						
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>m</i> , см	<i>F</i>	<i>N</i> , шт
1	80 ед 240	3,990	2,708	3,969	0,782	3,6	33	45
2	90	6,279	-3,591	5,139	0,882	3,3	65	40
3	100	-0,331	-1,535	7,088	0,915	3,6	80	34
4	100	5,806	6,553	3,711	0,543	5,7	7	35
5	80 + 210	6,751	1,959	3,997	0,653	8,5	12	35

Т а б л и ц а 8

**Модели связей и их параметры**

Вид моделей	Уравнения
$M = a + bC_n$	$M = 37,92 + 83,40C_n; R^2 = 0,690$
$\Sigma G = a + bC_n + cd_k + dN$	$\Sigma G = -17,522 + 0,928C_n + 9,818d_k - 0,04N, R^2 = 0,905$
$M = a + bC_n + cd_k + dN$	$M = -127,671 + 177,897C_n + 55,19d_k - 0,122N, R^2 = 0,798$

Т а б л и ц а 9

**Сравнительный анализ эмпирических и выравненных значений сумм площадей поперечных сечений**

Номер пробы	Сомкнутость полога	Число стволов, шт.	Диаметр кроны, м	Сумма площадей поперечных сечений, м <sup>2</sup> /га		Разница, %
				$\Sigma G_{фак.}$	$\Sigma G_{вырав.}$	
1	1,05	1420	1,6	19,28	19,38	+0,5
2	0,44	285	3,1	10,60	12,48	+17,7
3	0,36	180	2,6	5,36	6,10	+13,8
4	0,38	335	2,8	11,73	10,15	-10,5
5	0,54	290	3,0	13,57	12,35	-9,0

Разница в выравненных и фактических значениях составляет от 0,55 до 17,7 %.

Т а б л и ц а 10

**Сравнительный анализ эмпирических и выравненных значений запасов**

Номер пробы	Сомкнутость полога	Число стволов, шт.	Диаметр кроны, м	Запас, м <sup>3</sup>		Разница, %
				фактический	выравненный	
1	1,05	1420	1,6	117	119	+1,7
2	0,44	285	3,1	71	92	+12,0
3	0,36	180	2,6	36	44	+18,2
4	0,38	335	2,8	79	62	-21,5
5	0,54	290	3,0	118	105	-11,0

Разница между эмпирическими и выравненными значениями составила от +1,7 до -21,5 %.

Коэффициенты выравнивания для определения диаметра стволов меняется от 0,543 (№ 4) до 0,915 (№ 3).

По средним таксационным характеристикам сосняков на пробных площадях были вычислены модели, в которых установлена связь запаса с сомкнутостью полога; суммы площадей поперечных сечений от густоты, сомкнутости полога и диаметра кроны; а также запаса от сомкнутости полога, диаметра кроны и густоты.

Модели связей и их параметры приведены в табл. 8.

Для прикладных целей могут быть использованы линейные регрессионные уравнения (табл. 8).

В дальнейшем эти уравнения были протабулированы и выполнен сравнительный анализ эмпирических и выравненных

значений сумм площадей поперечных сечений (табл. 9). Сравнительный анализ по запасу приведен в табл. 10.

Таким образом, определение таксационных показателей по аэрофотоснимкам должно производиться по совокупности как прямых, так и косвенных признаков, что позволяет дешифровать снимки с высокой степенью адекватности.

#### Библиографический список

1. ОСТ 56–69–83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. – М., 1984. – 34 с.
2. Данилин И.М., Смольянов А.С. Взаимосвязь полноты и сомкнутости крон // Лесная таксация и лесоустройство. Межвуз. науч. сб. – Красноярск: СТИ, 1984. – С. 3–5
3. Дмитриев И.Д., Мурахтанов Е.С., Сухих В.И. Лесная аэрофотосъемка и авиация. – М.: Лесная пром-сть, 1981. – 334с.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Ca, Mn, Fe, Cu В НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Р.Х. ГИНИЯТУЛЛИН, *ст. науч. сотр. Института биологии УНЦ РАН, канд. биол. наук*

В последнее время все большее внимание уделяется проблеме антропогенного преобразования биосферы. Заметное действие на окружающую среду оказывают элементы, выбрасываемые в атмосферу предприятиями химической, тяжелой и атомной промышленности, причем их действие распространяется на десятки километров от источника поступления элементов в атмосферу [2].

Перед лесным хозяйством и зеленым строительством выдвигаются исключительные по своей актуальности задачи в деле оптимизации окружающей среды и оздоровления промышленно развитых районов.

Древесные растения – естественный универсальный фильтр, способный в комплексе с техническими средствами предохранять окружающую среду от загрязнения [6, 8]. Лесные сообщества способны локализовать и обезвреживать загрязняющие атмосферу соединения, выполняют роль промышленного фитофильтра. О промышленном фитофильтре приходится говорить по-

тому, что чисто технологические мероприятия не всегда могут обеспечить полное механическое улавливание и химическое обезвреживание промышленных загрязнителей. Фитофильтр должен обеспечивать при любых погодных условиях очистку атмосферного воздуха до уровня медицинских стандартов предельно допустимых концентраций. В процессе жизнедеятельности лесные сообщества перерабатывают своим ассимиляционным аппаратом огромные объемы воздуха – до 500 тыс. м<sup>3</sup> на 1 га насаждения. Такой объем воздуха может очищаться от примесей ежедневно, если концентрация и доза загрязнителей не являются губительными для растительного сообщества [1]. Однако растения выполняют функцию доочистки воздуха лишь в приземном слое и в теплое время года с большей интенсивностью, чем в холодное [5].

В условиях нарушения экологического равновесия значительно возрастает средостабилизирующая роль лесных насаждений.

Усиление этих функций достигается путем формирования устойчивых насаждений и повышения их продуктивности. Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) отличается высокой экологической пластичностью, быстрым ростом, достаточно хорошо растет при задымлении [3, 6].

В данной работе приводятся сведения об относительном жизненном состоянии березняков, а также материалы по консервации металлов березой повислой в условиях промышленного загрязнения.

Исследования проводились в пределах санитарно-защитной зоны Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ), который характеризуется высоким уровнем загрязнения. Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу составляют 97,2 тыс. т в год [4]. Объектом исследования служили культуры березы повислой в возрасте 39–40 лет. По данным лесоустройства 2003 г., в составе насаждений в пределах Стерлитамакского лесхоза насаждения березы повислой составляет 3256 га. Насаждения березы повислой там, где проводились исследования, находятся в непосредственной близости от предприятий химической промышленности и испытывают сильное техногенное воздействие.

Особое внимание при оценке относительного жизненного состояния березовых насаждений уделялось выявлению хлорозов и некрозов листьев и других повреждений древостоев атмосферными загрязнителями. Листья и ветви березы собирались с 15 деревьев на пробной площади из верхней, средней и нижней части кроны, обращенной к источнику загрязнения. Содержание металлов в листьях и ветвях определялось методом атомно-абсорбционного анализа.

Для определения стадии дигрессии насаждения и степени влияния на него антропогенных и техногенных факторов важно знать его жизненное состояние. В связи с этим нами проведены исследования относительного жизненного состояния (ОЖС) культур березы повислой в условиях СПЦ. За основу исследования была принята методика В.А. Алексеева (1990) [7].

ОЖС насаждения березы повислой определялось по четырехбалльной шкале (табл. 1): здоровое насаждение (показатель ОЖС 100–80 %), ослабленное (79–50 %), сильно ослабленное (49–20 %), полностью разрушенное (19 % и ниже). При характеристике каждого дерева насаждения на пробной площади оценивались: густота кроны, наличие мертвых сучьев, степень поражения листьев (некрозы, хлорозы, скручивание, повреждение насекомыми и болезнями и т.д.).

После суммирования количества стволов по категориям производилась оценка ОЖС насаждения по следующей формуле

$$L_n = \frac{(100N_1 + 70N_2 + 40N_3 + 5N_4)}{N},$$

где  $L_n$  – показатель ОЖС насаждения, вычисленный по количеству деревьев, %;

$N_1$  – количество здоровых деревьев, шт.;

$N_2$  – количество ослабленных деревьев, шт.;

$N_3$  – количество сильно ослабленных деревьев, шт.;

$N_4$  – количество сухих деревьев, шт.;

$N$  – общее количество деревьев, шт.

При обследовании насаждения были обнаружены признаки повреждений отдельных листьев березы в виде хлорозов и некрозов. В целом, исследуемое насаждение было оценено как здоровое. Основными диагностическими признаками ухудшения жизненного состояния березовых насаждений являются: слабо развитая крона и поражение листьев в виде хлорозов и некрозов (10–25 % от площади листа).

Установлено, что среднее дерево березы повислой с возрастом 40 лет в условиях Стерлитамакского промышленного центра формирует на себе в среднем 13,395 кг листьев и 13,989 кг ветвей в расчете на воздушно-сухую массу.

Данные по содержанию металлов в различных частях кроны (в листьях и ветвях березы повислой) представлены в табл. 2, из которых видно, что содержание металлов в образцах, взятых из различных частей кроны, неодинаково.

**Характеристика ОЖС насаждения березы повислой в санитарно-защитной зоне Стерлитамакского промышленного центра**

Год закладки	Средние показатели			Соотношение деревьев в насаждении, шт.				Ln, %	Категория жизненного состояния
	N <sub>ср</sub> на 1 га, шт.	D <sub>ср</sub> , см	H <sub>ср</sub> , м	здоровые	ослабленные	сильно ослабленные	сухие		
1963	177	18	16	124	35	9	9	86,2	здоровое

Т а б л и ц а 2

**Содержание различных металлов в листьях и ветвях березы повислой**

Образец	Часть кроны	Возд.-сух. масса, кг	Содержание металлов, мг/кг						
			Ca	Mn	Fe	Cu	Sr	Cd	Pb
Листья	верхняя	3,640	6990	260	363	13	сл.*	0,08	0,6
	средняя	7,800	18280	360	693	7	3,6	0,26	0,7
	нижняя	1,955	1743	280	622	9	сл.	0,26	1,5
Ветви	верхняя	3,520	5290	266	540	26	сл.	0,12	0,17
	средняя	8,167	11770	237	477	31	сл.	0,18	9,8
	нижняя	2,302	11760	283	418	27	сл.	0,19	0,1

\* – следы присутствия элемента

В свою очередь в условиях загрязнения одно дерево за период май-август консервирует следующее количество металлов в листьях: Ca – 171 г, Mn – 4,2 г, Fe – 7,94 г, Cu – 0,1126 г, Sr – 0,03 г, Cd – 0,0028 г, Pb – 0,036 г, в ветвях: Ca – 141,7 г, Mn – 3,5 г, Fe – 6,75 г, Cu – 0,405 г, Sr – 0,0196 г, Cd – 0,0023 г, Pb – 0,016 г.

В условиях Стерлитамакского промышленного центра на 1 га насаждений березы повислой в среднем формируется 4,956 т сухой массы листьев и 5,175 т сухой массы ветвей. Отсюда следует, что 1 га березовых насаждений способен консервировать из воздуха в листьях в течение вегетационного сезона в условиях промышленного загрязнения Ca – 85 кг, Mn – 20 кг, Fe – 39 кг, Cu – 0,5 кг, Sr – 0,14 г, Cd – 0,0138 г, Pb – 0,178 г, а в ветвях Ca – 73 кг, Mn – 18 кг, Fe – 35 кг, Cu – 2 кг, Sr – 0,101 г, Cd – 0,0119 г, Pb – 0,082 г.

По данным лесоустройства 2003 г., в составе лесных насаждений в пределах Стерлитамакского лесхоза насаждения березы составляют 3256 га, т.е. 12 % от лесопокрытой площади. Выполненные расчеты показывают, что березовые насаждения Стерлитамакского промышленного центра способны накапливать техногенные элементы следующим образом: Ca – 514 кг, Mn – 123 кг,

Fe – 240 кг, Cu – 8,014 кг, Sr – 784 г, Cd – 83 г, Pb – 83 г.

Таким образом, насаждения березы повислой в условиях Стерлитамакского промышленного центра представляют практический интерес с учетом способности к накоплению металлов и ограничению циркуляции загрязнителей в промышленной среде.

**Библиографический список**

1. Алексеев В.А., Дочинжер Л.С. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение // Лесоведение. – 1981. – № 5.
2. Алексеев. Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и загрязнение. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
3. Антипов В.Г. Устойчивость древесных растений к промышленным газам. – Минск: Наука и техника, 1979. – 216 с.
4. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды республики Башкортостан в 2002 году. – Уфа, 2003. – 301 с.
5. Илькун Г.М. Загрязнение атмосферы и растения. – Киев: Наукова думка, 1978. – 246 с.
6. Кулагин Ю.З. Индустриальная дендрозкология и прогнозирование. – М.: Наука, 1985. – 115 с.
7. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л., 1990. – 200 с.
8. Тарабрин В.Н. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Микроэлементы в окружающей среде. Сб. науч. тр. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 17–19.

## О РАЗНОВОЗРАСТНОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ И СТРОЕНИИ ДРЕВОСТОЕВ АРЧИ ТЯНЬ-ШАНЯ

К.Д. МУХАМЕДШИН, *проф., зам. директора по науке компании «Экопродукт», д-р с.-х. наук*,  
Б.Н. ШАМШИЕВ, *зав. лаб. «Проблемы гор» ИКИПР (Кыргызстан), канд. с.-х. наук*

**Х**арактерная особенность лесообразующих видов можжевельников – медленный рост и долголетие, что выделяет их из числа всех древесных пород в Тянь-Шанской горной системе. Наиболее долголетние деревья арчи встречаются в условиях высокогорий, в жестких, но не предельно жестких климатических и почвенно-грунтовых условиях. При этом экологический оптимум для роста и развития древесной и кустарниковой растительности не совпадает с оптимальными условиями для их долголетия. Из всех исследованных видов можжевельников наиболее долголетним является туркестанский (до 3000 лет и более), затем полушаровидный (до 1500 лет) и зеравшанский (до 1000 лет).

В связи с долголетием лесообразующих видов можжевельников основные массивы арчовников представлены сильно разновозрастными древостоями. По амплитуде колебания возраста деревьев, составляющих древостой, характеру распределения их по группам и коэффициенту изменчивости данного признака в арчовниках выделено пять типов возрастной структуры насаждений: относительно одновозрастные, относительно разновозрастные, циклично-разновозрастные, ступенчато-разновозрастные и абсолютно разновозрастные.

Относительно одновозрастные древостои характеризуются колебанием возрастов деревьев в насаждении в пределах 20–40 лет, одновершинной кривой их распределения и коэффициентом вариации до 8–10 %. Относительно разновозрастные древостои отличаются одновершинной кривой распределения деревьев в насаждении, амплитудой колебания возрастов более 40 лет и коэффициентом изменчивости до 36 %.

Циклично-разновозрастные древостои характеризуются многовершинной кривой распределения деревьев по возрастным группам, колебаниям возрастов в пределах от 200 до 420 лет и коэффициентом изменчивости от 34 до 38 %. Они представлены несколькими 20–50-летними возрастными поколениями, включающими 10–25 % деревьев насаждения, коэффициент изменчивости возраста в которых составляет 10–18 %.

Абсолютно разновозрастные древостои характеризуются сильной растянутостью возрастных рядов (до 300–700 лет и более) и наличием коротких, 5–11-летних, циклов. Ряды распределения деревьев имеют вид плавной, сильно асимметричной кривой. Ясно выраженных границ между возрастными поколениями не наблюдается. Коэффициент изменчивости взрослых деревьев достигает 69 %.

Ступенчато-разновозрастные древостои представлены двумя обособленными, ясно выраженными относительно одновозрастными или относительно разновозрастными поколениями, образующими самостоятельные ярусы, средний возраст которых продолжается до 240 лет. Коэффициент изменчивости возраста деревьев всего древостоя достигает 53 %, а отдельных поколений – 9–30 %.

В формациях можжевельников полушаровидного, зеравшанского, туркестанского, высокого и красного на пологих и нижних частях покатых северных склонов, поймах рек, денудационных террасах с влажными богатыми почвами формируются менее долголетние относительно одновозрастные, относительно разновозрастные и ступенча-

то-разновозрастные двухъярусные наиболее продуктивные древостои. Между ними имеется генетическая связь. Вследствие влияния всего природно-климатического комплекса со временем один тип возрастной структуры древостоя может переходить в другой.

В средних и верхних частях покатых склонов со среднебогатыми свежими почвами формируются, как правило, относительно разновозрастные древостои, а на гребнях и крутых склонах с бедными сухими малопродуктивными каменистыми почвами – циклично-разновозрастные. В нижнегорном и среднегорном подпоясах Тянь-Шаня и Памира абсолютно разновозрастные древостои не встречаются. В подпоясе арчи туркестанской с более прохладным и влажным климатом, чем в нижнегорном и среднегорном подпоясах, на пологих и нижних частях покатых склонов с мощными богатыми почвами формируются относительно разновозрастные древостои. Крайне холодные и влажные лесорастительные условия северных склонов высокогорного подпояса и все субальпийские арчовники представлены абсолютно разновозрастными насаждениями. Гребни, южные, восточные и западные склоны заняты, как правило, циклично разновозрастными древостоями. Этот тип возрастной структуры характерен для зарослей арчи сибирской и казацкой. Ступенчато-разновозрастные насаждения в высокогорном подпоясе формируются лишь под воздействием выборочных рубок.

В можжевеловых лесах наиболее распространенными являются относительно разновозрастные, циклично-разновозрастные и абсолютно разновозрастные насаждения. Относительно одновозрастные и ступенчато-разновозрастные древостои, рассматриваемые нами как стадии возрастных смен арчовников ниже- или среднегорных прирусловых террас, пологих и нижних частей покатых склонов, встречаются значительно реже.

Строение насаждений лесообразующих видов арчи существенно не зависит от возрастной структуры и яруса древостоев. Различия в рядах распределения по типам

возрастной структуры не выходят за пределы значительного варьирования числа деревьев по относительным ступеням одного типа возрастной структуры.

По строению древостоев арча туркестанская существенно отличается от полушаровидной и зеравшанской, показатели которых близки. Наименьшей естественной ступенью для насаждений арчи полушаровидной и зеравшанской является ступень 0,3, наибольшей – 2,9; для древостоев арчи туркестанской наименьшая ступень 0,2, наибольшая – 2,6.

Среднее дерево насаждений арчи полушаровидной и зеравшанской находится на 59,3 % от самого тонкого и на 40,7 % от самого толстого дерева, а арчи туркестанской – на 62,7 % от самого тонкого и на 37,3 % от самого толстого ствола.

Насаждениям всех типов возрастной структуры присуща единая закономерность: с увеличением среднего диаметра древостоя укорачиваются естественные ряды, однако в основных ступенях толщины существенной разницы в распределении деревьев не наблюдается. Максимальное количество деревьев в насаждениях всех видов арчи приходится на ступень 0,7. Основное количество их (90–91 %) сконцентрировано в естественных ступенях 1,4–1,7.

Изменчивость диаметра, высоты и возраста деревьев в арчовых насаждениях зависит от возрастной структуры и типов леса. Средний коэффициент вариации по диаметру находится в пределах от 33,4 до 68,0 %, по высоте от 20,8 до 36,0 %, по диаметру кроны от 37,3 до 44,6 %, по возрасту от 9 до 54 %. Средний коэффициент изменчивости по видовому числу составляет 1,8 %.

Насаждения лесообразующих видов можжевельников не являются механическим смешением деревьев различных параметров и возрастов, а представляют определенное единство растений, развивающихся во взаимодействии между собой и окружающей средой. Строение их подчиняется вполне определенным, характерным для лесных биогеоценозов закономерностям, выражает-

ся числовыми величинами и изменяется во времени.

Арчовникам свойственны все признаки леса, в том числе и по строению древостоев, что подтверждает правомерность выделения их на Тянь-Шане и Памире.

Закономерности строения арчовых лесов по объемообразующим элементам стволов позволяют распространить теорию среднего дерева на каждый ярус ступенчато-разновозрастных насаждений и древостоев. В насаждениях арчи во всех типах возрастной структуры древостоев между высотой, диаметром и возрастом существует корреляционная связь от значительной до очень высокой. При этом более высокая корреляция наблюдается в относительно одновозрастных и относительно разновозрастных насаждениях I–III бонитетов. Установленная закономерность является предпосылкой для суждения о возрасте деревьев по диаметру на высоте груди и по высоте.

Закономерности строения можжевеловых лесов Тянь-Шаня по толщине позволяют произвести расчет величины пробных площадей по количеству деревьев, исходя из необходимой точности исследований (табл. 1).

Для практических целей достаточно определить средний диаметр с точностью  $\pm 3\%$ . Из этого положения и необходимо ис-

ходить при лесоустройстве арчовых лесов. В связи с вертикальной сомкнутостью крон разделение циклично-разновозрастных и абсолютно разновозрастных древостоев на два-три поколения носит до некоторой степени искусственный характер. При этом коэффициент изменчивости диаметров в каждом из них составляет в среднем 35–40%. В случае необходимости аналитической таксации этих древостоев размер пробных площадей следует рассчитывать, исходя из указанных значений коэффициента вариации диаметров и количества поколений.

Однако более целесообразна синтетическая таксация циклично- и абсолютно разновозрастных древостоев с последующим камеральным разделением их в случае необходимости на любые возрастные категории, при этом используются выявленные нами закономерности. Исходя из коэффициента вариации, для определения средней высоты арчовых древостоев с точностью  $\pm 0,3-0,5$  м (3–5%) по способу случайной выборки необходимо измерить высоту 30–50 деревьев.

По среднему коэффициенту изменчивости произведем расчет необходимого числа измерений для определения среднего возраста древостоев арчи различной возрастной структуры с заданной точностью в 5% (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

**Необходимое число измерений для определения с заданной точностью среднего диаметра древостоев арчи**

Древостой	Средний возраст, лет	Необходимое число измерений при точности, %			
		2	3	4	10
Относительно одновозрастной	36,5	333	148	53	13
Относительно разновозрастной	53,1	705	313	113	28
Циклично-разновозрастной	58,0	841	374	134	34
Абсолютно разновозрастной	68,0	1156	513	185	46
Ступенчато-разновозрастные ярусы:	1-го	279	124	45	11
	2-го	576	256	92	28

**Необходимое число измерений для определения с заданной точностью среднего  
возраста древостоя арчи**

Древостой	Средний возраст, лет	Необходимое число измерений при точности, %			
		2	3	4	10
Относительно одновозрастной	9	20	9	3	2
Относительно разновозрастной	28	196	87	31	8
Циклично- разновозрастной	36	324	144	52	13
Абсолютно разновозрастной	54	729	324	116	29
Ступенчато- разновозрастные ярусы:					
1-го	11	30	13	5	2
2-го	24	144	64	23	6

Необходимая точность в практических целях достигается в зависимости от возрастной структуры древостоя при обмере 4–116 деревьев. При камеральном разделении циклично-разновозрастных и абсолютно разновозрастных древостоев на 2–3 поколения коэффициент вариации в каждом из них составляет 18–30 %.

Следовательно, для достижения точности в 5 % в каждом поколении необходимо определить возраст 13–36 деревьев.

**Библиографический список**

1. Мухамедшин К.Д., Кожухов В.П. Статистическая характеристика и корреляционные связи таксационных показателей арчовников Копетдага // Географические аспекты горного лесоводства и лесоведения. – Чита, 1972. – Вып. 3. – С. 57–59.
2. Мухамедшин К.Д., Шамшиев Б.Н. Основы ведения лесного хозяйства в арчовых лесах Тянь-Шаня // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2003. – № 3. – С. 94–101.

**ПРИОРИТЕТЫ И ФАКТОРЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО  
ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОСЛЕСООХОТНИЧЬИХ ХОЗЯЙСТВАХ  
КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ**

А.Х. ЧОЧАЕВ, *проф. каф. экономики и организации внешних связей МГУЛ, д-р экон. наук,*  
М.А. ЖАШУЕВ, *асп. каф. экономики и организации внешних связей МГУЛ*

**В** свете современных вопросов охраны окружающей среды и рационального использования лесных ресурсов большое значение приобретает освоение лесов, совершенствование лесозаготовки, эффективное использование рекреационных услуг, побочных продуктов леса. В соответствии с международными обязательствами, взятыми Россией, социально-экономические и эколо-

гические процессы в стране будут развиваться с учетом рекомендаций мирового сообщества, в том числе изложенных в документах Конференции ООН по окружающей среде и развитию, состоявшейся в 1992 г. в Рио-де-Жанейро. Для практической реализации стратегической экологической политики Правительством Российской Федерации рассмотрен и рекомендован органам исполни-

тельной власти Национальный план действий по охране окружающей среды Российской Федерации по 1999–2001 гг. (НПДОС). Стратегической целью государственной политики в области воспроизводства и охраны природных ресурсов определено создание правовых, экономических, социальных и иных отношений, необходимых для обеспечения ресурсами нынешнего и будущих поколений.

Все вышесказанное особенно актуально для условий Кабардино-Балкарии в современных условиях, когда республика делает первые шаги в условиях рыночной экономики. Кабардино-Балкарская Республика относится к лесодефицитным регионам, и древесное сырье как важнейший компонент разнообразных сырьевых ресурсов не может создать главенствующей роли в системе многоцелевого использования лесных ресурсов республики. Древесина лишь призвана дополнять комплекс недревесных продуктов и услуг леса. Такие мероприятия возможны за счет использования должным образом всего потенциала недревесных ресурсов лесного фонда Кабардино-Балкарской Республики, а также рекреационных и защитных услуг леса. В настоящее время многоцелевое значение и использование лесов ни у кого не вызывает сомнения. Постоянное возобновление лесных ресурсов возможно лишь на основе разработки и реализации комплексных целевых программ, учитывающих интересы всех взаимосвязанных партнеров. Эффективное решение задач хозяйственного освоения природных ресурсов региона возможно лишь при комплексном подходе, учитывающем совокупность социально-экономических, научно-технических, производственно-технических и экономических аспектов развития экономики республики.

Если развивать собственную производственную и бытовую структуру, то государственные лесохозяйственные хозяйства (ГОЛОХ) могут иметь значительный доход. На Западе они считаются территориями с большими возможностями эксплуатации их ресурсов в целях получения эконо-

мической прибыли выгодного вложения капитала.

Лесохозяйства любой формы собственности имеют своей главной целью получение максимального дохода от рационального неистощительного пользования лесохозяйственными ресурсами.

Ограничениями при этом являются прежде всего экологические и лесоводственные требования, ориентирующие на расширенное воспроизводство как лесных (древесных и недревесных), так и охотничьих ресурсов.

В принципе, как цели, так и ограничения при рациональном, а следовательно, и эффективном лесопользовании в системе лесных и лесохозяйственных хозяйств различаются незначительно. Специализация лесного предприятия в направлении оказания охотничьих (рекреационных) услуг лишь расширяет сферу многоцелевого лесопользования, которая присуща вообще любому лесному хозяйству.

Лесные ресурсы могут быть использованы для производства различных продуктов. Для выбора более производительной формы лесопользования необходимо решать вопросы экономической эффективности на двух уровнях. На первом уровне рассматриваются вопросы наиболее эффективного использования лесных ресурсов для любого отдельного вида пользования, т.е. выясняется, каким образом эффективно приложить к лесной площади труд и капитал с целью получения максимального дохода с используемого участка. На втором уровне рассматриваются вопросы выбора среди альтернативных видов пользования – одного из них или их сочетания для получения максимума чистого дохода. Необходимо определить все направления пользования и их возможные сочетания по каждому лесному участку, а также оценить стоимость, которую они могут произвести в соответствии с планом наиболее выгодной модели ресурсопользования.

Могут быть выявлены участки лесных земель, где необходимо лишь поддерживать лесную среду и отказаться от неэф-

фактивных затрат, а в дальнейшем получать от лесного хозяйства максимальный чистый доход, соблюдая необходимые экологические требования.

При многоцелевом лесопользовании не всегда согласуются цели, достигаемые при использовании каждого компонента лесных ресурсов. Бывают случаи, когда при использовании одного компонента не представляется возможность использовать другие, либо когда увеличение использования одного компонента снижает возможности для использования остальных.

Поэтому, чтобы принять обоснованные решения по многоцелевому лесопользованию, необходимо оценить, как отдельные виды пользования влияют друг на друга в экономическом плане.

Наиболее простым является вариант, когда отдельные ресурсы леса, например, древесина и пищевые продукты, не являются конкурирующими.

Взаимно дополняющие друг друга виды пользования наблюдаются там, где расширение их использования в одном направлении способствует развитию потребления других ресурсов. Так, при определенных обстоятельствах реализация программ лесовыращивания способствует увеличению поголовья лесной фауны (лосей, оленей и других животных), но при других условиях эти два вида пользования могут превратиться в конфликтующие.

Интенсификация лесопользования, как правило, обостряет конкуренцию между отдельными целями лесовыращивания. В качестве примера можно привести производство древесины в зонах интенсивного рекреационного лесопользования, и особенно такого его вида, как охота.

Взаимно исключаящие виды пользования имеют место, например, в случае производства древесины и сохранения леса в качестве объекта с точки зрения его научной ценности.

Высококонтрастные виды пользования – это те, при которых рост потребления ресурсов в одном направлении сопровождается резким снижением ценности ре-

сурсов для второго направления. Например, проведение рубок леса оказывает значительное влияние на состояние лесных ландшафтов, их эстетическую ценность, ведет к смене одних видов фауны (в том числе охотничьей) на другие.

Постоянно заменяющиеся виды пользования – те, для которых выбор между двумя продуктами остается одинаковым на протяжении всего диапазона возможностей производства. Например, увеличение заготовки деловой древесины обязательно обуславливает снижение выхода дровяной древесины, но всегда суммарный объем производства этих двух видов продукции остается постоянным.

Влияние предельного изменения в производстве одного продукта на возможность производства совместного продукта различается в зависимости от интенсивности землепользования. Важно отметить, что неконфликтующие виды пользования часто характерны для низкоинтенсивного землепользования. Если два продукта или две услуги могут быть произведены на участке земли и приносить ренту, не всегда целесообразно производить их оба, т.к. обеспечение производства второго сильно снизит производство первого и сократит чистый общий доход. Необходимо найти компромисс между двумя продуктами. Предельный уровень преобразования производства одного продукта в производство другого равняется отношению их предельных стоимостей, т.е. при повышении производства одного продукта, когда его приращение является более ценным, чем стоимость уступки в единицах измерения второго продукта, лучшее сочетание объемов производства обоих находится в точке, где выбор в физических возможностях как раз равняется выбору стоимости между двумя продуктами. Независимые и взаимозависящие виды пользования всегда будут согласовываться до тех пор, пока каждая из них отдельно приносит чистый доход. Если виды пользования не снижают другие ценности, они увеличивают суммарную ренту.

Для взаимоисключающих, высококонфликтующих и постоянно заменяющихся видов пользования относительно лучшим решением всегда будет производство только одного продукта, который приносил бы наибольшую ренту. В табл. 1–4 приведены данные, характеризующие фактический уровень лесопользования многоцелевого назначения, достигнутый в 2000 г. Нальчикским ГОЛОХ. Здесь же показаны параметры оптимального плана, который может быть заложен в бизнес-плане данного лесохозяйственного

ва. Эти параметры получены путем расчетов согласно принятой целевой функции экономико-математической модели.

Исходя из целевой функции, максимум прибыли (а для рыночных условий это нормальный подход) послеоптимизационные расчетные параметры оптимального плана показали, что Нальчикскому ГОЛОХ следует серьезно изменить ассортимент продуктов, получаемых из древесины, заготавливаемой в процессе промежуточного пользования лесом.

Т а б л и ц а 1

**Объемы производства основных видов древесной продукции  
Нальчикского ГОЛОХ, м<sup>3</sup>**

Период планирования	Пило-вочник	Строй. лес	Дрова техно-логич.	Дрова топлив.	Стол-бы	Пило-мате-риалы	Пар-кетн. загото-вки	Черен-ки	Вино-град-ный кол
Факт. 2003 г.	3700	1200	150	970	35	126	720	2,7	3,5
Оптимальный объем	1120	630	1030	1200	210	1720	1500	90	78

Т а б л и ц а 2

**Объемы производства недревесной продукции Нальчикским ГОЛОХ, ц**

Период планирования	Плоды, ягоды	Лекарственное сырье	Грубые корма	Зерновые	Орехи	Мед	Сено
Факт. 2003 г.	65	–	760	600	30	–	350
Оптимальный объем	98	210	1010	600	70	12	300

Т а б л и ц а 3

**Объемы защитных услуг, предоставляемых Нальчикским ГОЛОХ, га**

Период планирования	Защита с/х угодий	Противо-эрозийные мероприятия	Защита нерестилиц	Защита дорог	Санарная охрана курортов	Создание полез-ных насажде-ний фермерами
Факт. 2003 г.	–	–	–	–	8432	–
Оптимальный объем	705	96	32	812	8432	30

Т а б л и ц а 4

**Объемы рекреационного лесопользования в Нальчикском ГОЛОХ, число рекреантов**

Период планирования	Охота	Базы отдыха, пансионаты	Организов. туризм	Самодетельный туризм	Экскурсии	Детские оз-доровитель-ные лагеря
Факт. 2003 г.	300	–	110000	206000	98000	1200
Оптимальный объем	1900	50000	75000	115000	180000	1200

Вместе с тем развитие лесного хозяйства Кабардино-Балкарии сегодня требует привлечения значительных инвестиций именно в ту часть лесного фонда региона, которая нуждается в реконструкции, замене малопродуктивных древостоев второстепенных пород высокопроизводительными ценными древостоями. Те же объемы государственного инвестирования, которые в настоящее время получает лесное хозяйство республики, позволяют лишь на 25–30 % поддерживать простое воспроизводство.

Не менее радикально следует подходить и к структуре недровесного лесопользования.

Такое решение возможно за счет использования в надлежащем объеме ранее не используемого должным образом потенциала недровесных ресурсов лесного фонда Кабардино-Балкарской Республики, рекреационных защитных услуг.

Назрела необходимость расширения сферы действия рыночных отношений в лес-

ном секторе Кабардино-Балкарии для удовлетворения требований эффективного ведения хозяйства в условиях роста масштабов и интенсивности многоцелевого лесопользования и формирования эффективного регионального лесного рынка продуктов и услуг.

Для этого необходимо формирование такой лесной политики в регионе, которая стимулировала бы предпринимателей любых форм собственности к комплексному использованию участков лесного фонда, получаемых в аренду.

В то же время при выходе на лесной рынок предприятие вынуждено считаться и учитывать интересы огромного числа объектов и субъектов, прямо или косвенно воздействующих на предприятие и вступающих с ним в хозяйственные, юридические и общественные отношения. Эти ограничения институционального окружения предприятий лесохозяйств должны учитываться при разработке модели эффективного хозяйственного освоения лесных ресурсов.

## ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ВКЛАД ВЕРНЕРА БАЛТЕНСВАЙЛЕРА В ТЕОРИЮ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ ЛЕСНЫХ НАСЕКОМЫХ

М.А. ГОЛОСОВА, доц. каф. экологии и защиты леса МГУЛ, канд. биол. наук



Вернер Балтенсвайлер (Werner Baltensweiler) – известный швейцарский энтомолог, более 50 лет изучает динамику численности серой листовёртки (larch bud moth) *Zeiraphera diniana* L. – одного из опаснейших вредителей лиственницы. Фундаментальные исследования проведены им в швейцарских Альпах, Центральной Европе, в Сибири и на Дальнем Востоке.

В. Балтенсвайлер разработал комплексную вербальную модель динамики численности лиственничной листовёртки, включающую такие параметры регуляторных механизмов, как перестройка комплексов паразитов и болезней на разных фазах градации вредителя, перестройка структуры популяции и изменение морфологических форм, генетический полиморфизм, мигра-

ционные процессы, а также влияние изменения химизма кормового растения, нарушение синхронности в развитии вредителя и кормовых растений и абиотические факторы.

Имитационная модель с привлечением математического аппарата, созданная исследователем, значительно продвинула теорию динамики численности лесных насекомых.

Исследования В. Балтенсвайлера получили мировую известность и широко внедрены в программы изучения популяционной динамики лесных насекомых.

Вернер Балтенсвайлер – энергичный, жизнерадостный исследователь; он продолжает заниматься популяционной динамикой листовертки и поныне. С этой целью он неоднократно посещал и посещает районы массовых размножений вредителя в Восточной Сибири и на Камчатке, где плодотворно сотрудничает с российскими специалистами.

В течение многих лет В. Балтенсвайлер возглавлял рабочую группу по динамике численности лесных насекомых в глобальной организации IUFRO. Совместная деятельность в этой организации и многолетняя дружба с этим замечательным человеком да-

ли мне основание к написанию этой информационной статьи.

Серая листовенничная листовертка *Zeiraphera diniana* Gn. (*Z. griseana* Hbn.) – самый массовый вредитель листовенницы в Палеарктике. Своеобразная динамика численности этого вида насекомого издавна привлекала внимание исследователей Центральной и Восточной Европы, Сибири, Дальнего Востока. Наиболее фундаментальные исследования принадлежат именно швейцарскому энтомологу Вернеру Балтенсвайлеру, который посвятил листовертке *Zeiraphera diniana* более 50 лет своей жизни и проанализировал динамику численности листовертки за временной интервал в 150 лет.

Вспышки массового размножения листовенничной листовертки наиболее отчетливо проявляются в горных лесах; леса субальпийского пояса и низкогорные территории листовертка избегает. Балтенсвайлер обобщил материалы по многолетней динамике численности этого вида в швейцарских Альпах и показал, что градационные циклы следуют друг за другом без длительных межвспышечных интервалов между вспышками. Это можно видеть на рис. 1, приведенном Балтенсвайлером в публикациях 1964 и 1978 гг.

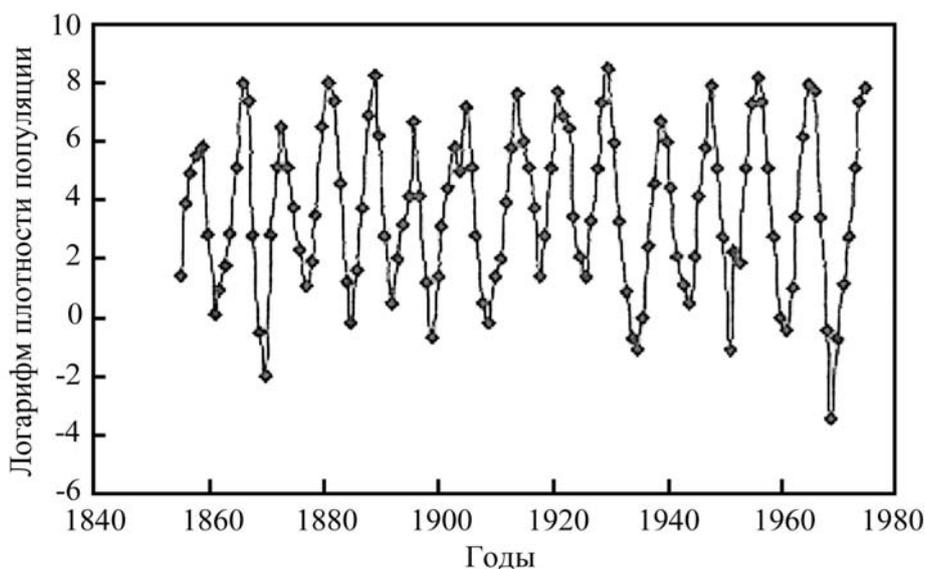


Рис. 1. Колебания численности серой листовенничной листовертки за временной интервал 120 лет в листовенничных лесах швейцарских Альп (Baltensweiler, 1964, 1978)

Такой ход событий характерен для перманентных вспышек, которые наиболее отчетливо проявляются в горных лесах (вследствие зональной приуроченности очагов и особенностей миграции вредителя в пределах высотных лесорастительных поясов).

В. Балтенсвайлер проанализировал градации серой листовенничной листовертки в европейских лесах, проходившие в следующие годы:

1811–1813;	1819–1820;	1829;
1855–1858;	1864–1869;	1877–1880;
1886–1891;	1899–1901;	1911–1914;
1919–1921;	1927–1930;	1935–1939;
1944–1948;	1953–1955;	1960–1963;
1968–1972;	1977–1979;	1988–1991.

Как видно из приведенных временных периодов, градации листовертки длятся 2–4 года. Вспышка размножения характеризуется резким увеличением численности и быстрым ее спадом. Первичные очаги возникают одновременно на больших площадях и нередко на территориях, значительно удаленных друг от друга.

Например, все известные вспышки массового размножения этого вредителя в Восточной Сибири, по сведениям А. Плешанова [4], совпадают по времени с катастрофическими размножениями этого вредителя в Западной Европе, т. е. градации вида протекают достаточно синхронно в совершенно разобщенных участках его ареала.

В работах конца 60-х гг. В. Балтенсвайлер, анализируя регуляцию популяции листовертки, выдвигает в качестве основной причины вирусные эпизоотии – гранулез и голод, когда насаждения подвергаются сильной дефолиации.

Им выявлен достаточно большой комплекс энтомофагов – около 130 видов. Однако их роль в ограничении численности листовертки на начальных этапах вспышек невелика.

В процессе градационных циклов листовертки в разные годы наблюдается и градационная изменчивость комплексов паразитов. Изучая комплексы паразитов и их роль в каждой конкретной вспышке вредителя, исследователь проводил вскрытие тела

хозяина и выявление и определение яиц и личинок паразитов в течение всего периода онтогенеза хозяина. В результате количественно определялись взаимоотношения между паразитами (к примеру, степень первичности). Такая трудоемкая работа вообще проводится исследователями крайне редко.

В. Балтенсвайлером (1958) установлено, что в каждой отдельной вспышке размножения листовертки комплекс ее паразитов непостоянен и сравнительно ограничен. Во время различных вспышек доминируют не только разные виды, но даже разные группы паразитов. Такие события отмечаются и сибирскими исследователями. Так, в 1938 г. в Восточных Саянах в очагах листовертки доминировали перепончатокрылые паразиты, зараженность тахинами была невелика, в 1961 г. тахины вообще не были обнаружены, а во время вспышки листовертки в 1969 г. зараженность тахинами составляла 90 % от общего числа паразитов [4].

Серая листовенничная листовертка характеризуется способностью к массовым перемещениям. Ежегодно мигрируя в новые участки леса, вредитель постоянно ускользает из-под контроля энтомофагов, не оставляя им возможности накапливаться в очагах.

Регулирующая роль энтомофагов проявляется только на фазах разреживания и депрессии, когда миграционные процессы сокращаются (Baltensweiler, 1958) [4].

Миграции листовертки из очагов в менее оптимальные местообитания В. Балтенсвайлер объясняет не только уходом из-под контроля энтомофагов, но и изменением качества пищи. В последующие годы исследователь изучает реакции листовенницы на повреждения. Показано, что листовертка в пике страдает не только от голода, но и от ухудшения качества пищи (Baltensweiler, 1964).

В периоды массового размножения в очагах листовенница подвергается практически полной дефолиации. Однако после прекращения питания гусениц и периода их окукливания листовенница быстро восстанавливает вторичную хвою. Вторичное охвоение сопряжено с интенсивным расходом ре-

зервных веществ, что приводит деревья в состояние депрессии. Дальнейшим последствием дефолиации является запаздывание следующей весной распускания хвои на 5–7 дней. Гусеницы листовертки, адаптированные к историческим срокам прохождения фенофаз здоровых деревьев, выходят из яиц и погибают от голода. Нарушение синхронности между началом питания и появлением доступного корма рассматривается как одно из важных условий затухания вспышек размножения листовертки. Кроме того, распускаясь хвоя ввиду нарушения физиологических процессов деревьев имеет измененный биохимизм, мало пригодный для питания гусениц, что вызывает повышенную смертность вредителя.

Расхождение сроков распускания хвои и отрождения гусениц может быть вызвано не только дефолиацией, но и неблагоприятными погодными условиями. Холодные зимы плохо переносятся поврежденными деревьями, ушедшими на зимовку с недостаточным запасом пластических веществ. Глубокое промерзание почвы и воздействие морозов на почки может задержать весеннее распускание хвои на несколько дней, обрекая на голодную смерть массы вышедших из яиц гусениц листовертки.

А.С. Плешанов [4] также отмечает, что часто нарушение синхронности в развитии хозяина-вредителя является одной из основных причин затухания размножений листовертки на обширных территориях Сибири.

Важным регулятором численности серой лиственничной листовертки, по мнению В. Балтенсвайлера, является генетический полиморфизм. В критические для популяции периоды (чрезмерно высокая плотность на фазе максимума вспышки) наблюдается перестройка ее структуры и появление морфологических форм, различающихся по плодовитости, окраске и другим признакам. Преобладание в популяциях темноокрашенных экотипов, наиболее чувствительных к качественному составу корма, ускоряет в период дефолиации завершение фазы максимума (Baltensweiler, 1970).

Очаги серой лиственничной листовертки носят ярко выраженный миграционный характер. В швейцарских Альпах пространственное размещение очагов определяется вертикальной зональностью. Первичные очаги чаще всего возникают в зоне, расположенной на высоте 1700–1900 м над уровнем моря.

В результате модифицирующего воздействия погодной обстановки здесь за 3–4 года происходит резкое увеличение численности листовертки. Определяющее значение при этом имеет теплая и сухая погода в мае-июле, способствующая наилучшему выживанию гусениц. Это оптимум обитания, когда реализуется вспышка массового размножения.

На высоте более 2000 м над уровнем моря возникают миграционные очаги, распространяющиеся до предельной границы леса. Миграциям способствует постоянство ветров, дующих вверх по межгорным котловинам.

В нижней части лесного пояса (до высоты 1000 м над уровнем моря) серая лиственничная листовертка не дает вспышек массового размножения. Это зависит как от характера лесорастительных условий (зона смешанных лесов), так и от погодных условий, не обеспечивающих четкого соответствия времени появления молодых гусениц с периодом распускания хвои. В этой зоне важное значение приобретает регуляторная роль энтомофагов [1].

Отмеченные особенности отчетливо прослеживаются на фазовых портретах динамики численности лиственничной листовертки, построенных А.С. Исаевым с соавторами [1] по данным В. Балтенсвайлера с учетом особенностей эколого-популяционных параметров данного вида, размножающегося в горных лесах швейцарских Альп, расположенных на разных высотах.

Как уже упоминалось выше, отмеченные особенности перманентных вспышек серой лиственничной листовертки свойственны популяциям, обитающим в горных районах. На равнинных территориях массовые размножения этого вредителя не отличаются такой строгой периодичностью градиционных циклов.

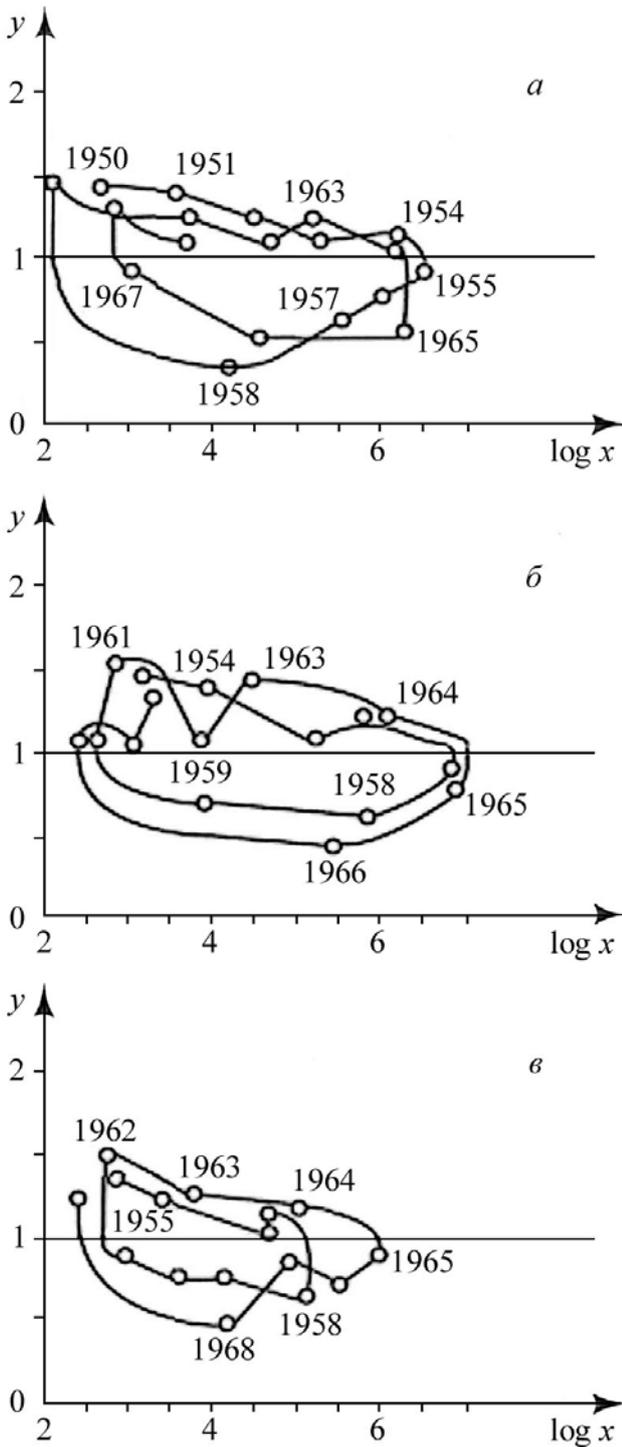


Рис. 2. Фазовые портреты численности серой лиственничной листовертки в горных лесах швейцарских Альп [А.С. Исаев с соавт., 2001, по данным В. Балтенсвайлера (W. Baltensweiler, 1964, 1978)] Высота над уровнем моря: а – 1800 м; б – 1300 м; в – 750 м;  $x$  – численность популяции;  $y$  – коэффициент размножения

Исследования, проведенные В. Балтенсвайлером на Камчатке, и анализ катастрофической вспышки листовертки в этом регионе в 1987–1991 гг. явились недостающим звеном для гипотезы о том, что связанный с хозяином отбор и генетическая дивергенция могли развиваться у лиственничной листовертки симпатрическим путем (на одной территории).

Вспышка листовертки на Камчатке проанализирована в экологическом контексте Сибири и Северо-Восточной Азии с учетом аналогии популяционной динамики *Zeiraphera diniana* в Центральной Европе (Khomentovsky, Baltensweiler and en., 1997).

Одним из этапов завершения исследований по серой лиственничной листовертке явилось создание В. Балтенсвайлером имитационной модели динамики численности этого насекомого. Модель дает возможность качественно и количественно оценить вклад, который вносят в популяционную динамику различные факторы смертности и стабилизации численности листовертки.

Подобные модели в классической интерпретации приводятся и в работах российских энтомологов-математиков Ф.Н. Семевского, С.М. Семенова, М.Ф. Корзухина [2, 3]. Математический аппарат популяционной динамики, основанный на использовании систем дифференциальных уравнений, и универсальный графический метод анализа вспышек размножения разработан школой академика А.С. Исаева и назван «методом фазового портрета» [1].

В более поздних работах В. Балтенсвайлер развивает комплексную вербальную модель динамики численности листовертки, включающую популяционные перестройки листовертки и комплексы ее энтомофагов и болезней, а также ответные реакции кормовых растений на дефолиацию.

Исследование дало богатый количественный материал и значительно продвинуло теорию динамики численности. В. Балтенсвайлер публикует свои работы на английском и немецком языках. Основной список его публикаций приводится ниже.

В данной статье анализируются взгляды и работы В. Балтенсвайлера, а также крупнейших российских теоретиков по динамике численности лесных насекомых: академика А.С. Исаева и сотрудников его научной школы – Ю.П. Кондакова, Л.В. Недорезова, Р.Г. Хлебопроса и др. [1], Д.Н. Семейского [2, 3], а также исследователя по вредителям лиственничных лесов Восточной Сибири А.С. Плешанова [4].

### Список основных публикаций Вернера Балтенсвайлера (Werner Baltensweiler)

1. Zur Kenntnis der Parasiten des Grauen Larchenwicklers (*Zeiraphera griseana* Hub.) in Oberengadin. Ihre Biologie und Bedeutung während der Gradation von 1949 bis 1958. Mitt. Schweiz. Anst. Forste. Versuchswesen, 34, H.6. 399-478; 1958.
2. *Zeiraphera griseana* Hubner (Lep. Tortricidae) in the European Alps. A contribution to the problem of cycles // Can. Entomol., v. 96, N 5, p 792-800, 1964.
3. The relevance of changes in the composition of larch bud moth populations for the dynamics of its numbers. Proc. Adv. Study Inst. Dynamics Number Popul., Oosterbeek, p. 208-219, 1970.
4. Dynamic of larch bud moth population // Ann. Rev. Entomol., 22, p. 79-100 (by Benz G., Boney P., Delucci V.), 1977.
5. Ursache oder Wirkung? Huhn oder Ei? – Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft, Bd 51, S. 261-267, 1978.
6. Unterschiedliche Sexuallockstoffe bei Larchen – und Arvenform des Grauen Larchenwicklers (*Zeiraphera diniana* Gn., Lep. Tortricidae). Mitt. Schweiz. Entomol. Ges., 51: 133-142, 1978 (by Priesner E., Arn H., Delucchi, V.).
7. The study of large bud moth migration in the Engadine valley by means of aparapheromone. Bue. Soc. Entomol. Suisse, Bd 52, S 291-299, 1979.
8. The role of environment and reproduction in the population dynamics of the larch budmoth, *Zeiraphera diniana* Gn. (Lep. Tortricidae). Advances in Invertebrate Reproduction. Vol. 3, pp. 291-301. Elsevier, Amsterdam (ed. by W. Egles, W. Clark, A. Fischer and ath.), 1984.
9. The larch budmoth in the Alps. Dynamics of Forest Insect Populations: Patterns, Causes, Implications. (ed. by A. Fischlin, A. Barryman), pp. 331-351. Plenum, New York, 1988.
10. Studien zum Pheromon-Polymorphismus von *Zeiraphera diniana* Gn. (Lep. Tortricidae). 3. Anflugspezifität männlicher Falter zweier Wirtsrassen an synthetische Pheromonguellen. I. Appl. Ent. 106: 217-231, 1988. (by E. Priesner).
11. The Folivore Guild on Larch (*Larix decidua*) in the Alps. In: Baranchikov Y., Mattson W., Hain F. and Payne T. (eds) 1991. Forest Insects Guilds: Patterns of Interaction with Host Trees. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-153, p. 145-164, 1991.
12. A contribution to the explanation of the larch bud moth cycle, the polymorphism fitness hypothesis. Oecol. 93: 251-255. 1993.
13. Why the larch bud-moth cycle collapsed in the subalpine larch-cembra pine forests in the year 1990 for the first time since 1950. Oecologia gu: 62-66, 1993.
14. Short term versus long-term population studies. – results of understanding? (In. German). Verh. Dtsch. Zool. Ges. 89(2): 181-188. 1996.
15. The first record of an outbreak of the larch bud moth, *Zeiraphera diniana* Gn. (Lep. Tortricidae) on an evergreen conifer host (*Pinus pumila* [Pall] Regel) in North-Eastern Asia. (соавторы: Российские ученые П. Хоментовский, Л. Ефремова, Т. Павленко, Е. Маричева). I. Appl. Ent. 121, 1-7, © 1997, Blackwell Wissenschafts – Verlag, Berlin ISSN 0931-2048, 1997.
16. The larch budmoth in the Alps. Dynamics of Forest Insect Populations: Patterns, Causes, Implications (ed. by A. Berryman), pp. 331-351. Plenum, New York, 1998.
17. Pheromone monitoring of the Larch Bud Moth *Zeiraphera diniana*, in the Swiss Alps. Proceeding: Population Dynamics Impacts and Integrated Management of Forest Defoliating Insects IUFRO, 1996. USDA Forest Service General Technical Report NE-247, pp. 278-291, 1998.
18. Dispersal: an important driving force of the cyclic population dynamics of the larch budmoth *Zeiraphera diniana* Gn. Forest Snow and Landscape Research, 74, 3-153, 1999. (ed. by D. Rubbi).
19. Host-induced assortative mating in host races of the larch budmoth. Evolution 55, 2002-2010 (ed. by Emelianov I., Dres M., Mallet J.), 2001.
20. Genomic Mapping of Reproductive isolation in the Larch Budmoth, Relevant publications, pp. 1-5, 2002.
21. Waves of Larch Budmoth Outbreaks in the European Alps. Science, vol. 298, 1 November, 2002. (ed. by Ottar N. Bjornstad, Mikko Peltonen, Andrew M Liebhold).

### Библиографический список

1. Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г., Недорезов Л.В. и др. Популяционная динамика численности лесных насекомых. – М.: Наука, 2001. – 374 с.
2. Семейский Ф.Н., Семенов С.М. Математическое моделирование экологических процессов. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 280 с.
3. Семейский Ф.Н., Корзухин М.Д. Синэкология леса. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 192 с.
4. Плешанов А.С. Насекомые-дефолианты лиственничных лесов Восточной Сибири. – Новосибирск: Наука С.О., 1982. – 208 с.

**СПЕКТРЫ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ  
АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ  
ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРА РУССКОЙ РАВНИНЫ**

Н.Н. ХАРЧЕНКО, зав. *отделом мониторинга земель лесного фонда «Чернозем ИМЗ»*, канд. биол. наук

Норные звери – экологическая группа животных, обладающая одним из наиболее своеобразных и ярко выраженных комплексов приспособления к условиям среды [1–4, 6, 7].

Реакция норных зверей различных жизненных форм [5] на степень антропогенного пресса имеет свою специфику (таблица).

Полностью избегают освоенных территорий 27 видов норных зверей, относящихся к 15-ти жизненным формам. Среди них полная отрицательная реакция на антропогенный процесс характерна для вторичных активных норников-аэрогидрогеобионтов выхухолевого и куторового типов, тяготеющих к чистым водоемам, а также для геоаэробионтов барсучиного и тушканчикового типов.

Т а б л и ц а

**Распределение жизненных форм норных зверей по уровням реакции на антропогенный процесс**

№ п/п	Жизненные формы	Количество видов (шт. / %)			
		Избегают освоенных территорий	Проявляют нерегулярные заходы	Осуществляют периодическое заселение	Приобрели выраженную синантропность
1.	Первичные активные норники-аэрогеобионты компактного дилокомоторного дорзомобильного псового типа, плотоядные, с круглогодичной активностью	1 25,0	3 75,0	– –	– –
2.	Вторичные пассивные норники-аэрогеобионты компактного иглистого типа, насекомоядные, зимоспящие	2 66,7	1 33,3	– –	– –
3.	Вторичные пассивные норники-аэрогеобионты компактного металокомоторного мышинового типа, семяядные, с круглогодичной активностью	1 20,0	– –	3 60,0	1 20,0
4.	Вторичные пассивные норники-аэрогеобионты компактного металокомоторного лазающего типа, семенно-плодонасекомоядные, зимоспящие	6 75,0	2 25,0	– –	– –
5.	Вторичные пассивные норники-аэростратогеообионты компактного металокомоторного землеройкового типа, насекомоядные, с круглогодичной активностью	2 33,3	3 50,0	1 16,7	– –
6.	Вторичные пассивные норники-аэростратогеообионты растянутого металокомоторного дорзомобильного горностаевого типа, плотоядные, с круглогодичной активностью	2 40,0	2 40,0	1 20,0	– –

№ п/п	Жизненные формы	Количество видов (шт. / %)			
		Избегают освоенных территорий	Проявляют нерегулярные заходы	Осуществляют периодическое заселение	Приобрели выраженную синантропность
7.	Вторичные пассивные норники-аэро-гидрогеобионты растянутого металокомоторного дорзомобильного выдрового типа, плотоядные, с круглогодичной активностью	2	1	–	–
		66,7	33,3	–	–
8.	Вторичные активные норники-аэрострато-геобионты вальковатого металокомоторного полевкового типа, зеленоядные, с круглогодичной активностью	1	3	3	–
		14,3	42,8	42,9	–
9.	Вторичные активные норники-аэрогидро-геобионты компактно-вальковатого металокомоторного выхухолевого типа, насекомоядные, с круглогодичной активностью	1	–	–	–
		100,0	–	–	–
10.	Вторичные активные норники-аэрогидро-геобионты вальковатого металокомоторного куторового типа, насекомо-плотоядные, с круглогодичной активностью	2	–	–	–
		100,0	–	–	–
11.	Вторичные активные норники-аэрогидро-геобионты вальковатого металокомоторного крысиного типа, всеядные, с круглогодичной активностью	–	–	–	2
		–	–	–	100,0
12.	Вторичные активные норники-геоаэро-бионты вальковатого металокомоторного барсучиного типа, насекомо-плотоядные, зимоспящие	1	–	–	–
		100,0	–	–	–
13.	Вторичные активные норники-геоаэро-бионты вальковатого металокомоторного сусликового типа, семено-зеленоядные, зимоспящие	2	1	–	–
		66,7	33,3	–	–
14.	Вторичные активные норники-геоаэро-бионты вальковатого металокомоторного хомякового типа, всеядные, зимоспящие	–	1	1	–
		–	50,0	50,0	–
15.	Вторичные активные норники-геоаэро-бионты вальковатого металокомоторного тушканчикового типа, зелено- и семено-зеленоядные, зимоспящие	2	–	–	–
		100,0	–	–	–
16.	Облигатные норники-геобионты вальковатого металокомоторного кротового типа, насекомоядные, с круглогодичной активностью	–	1	–	–
		–	100,0	–	–
17.	Облигатные норники-геобионты вальковатого металокомоторного слепышового типа, корнееды, с круглогодичной активностью	1	1	–	–
		50,0	50,0	–	–
18.	Факультативные норники аэрогидрогеобионты компактного металокомоторного бобрового типа, зелено-дендроядные, с круглогодичной активностью	1	1	–	–
		50,0	50,0	–	–
ИТОГО видов:		27	20	9	3
ИТОГО жизненных форм:		15	12	5	2

Виды семи жизненных форм избегают освоенных территорий или проявляют только нерегулярные заходы. Среди них выделяются равным соотношением облигатные и факультативные норники. Склонность к периодическим заходам на обжитые человеком участки проявляют 9 видов из 5 жизненных форм. Это прежде всего вторичные пассивные норники-аэрогеобионты мышинового типа и вторичные активные норники-аэростратогобионты полевкового типа, проявляющие склонность к семеноядности, с круглогодичной активностью. Выраженную синантропность проявляют только 3 вида из вторичных пассивных и вторичных активных аэрогео- и аэрогидробионтов мышинового и крысиного типов, семеноядных и всеядных, с круглогодичной активностью.

Таким образом, наиболее успешно приживаются на территориях, освоенных человеком, вторичные пассивные и некоторые активные норники – аэрогео-, аэростратого- и аэрогидрогеобионты, проявляющие низкий уровень связи с норой, довольствующиеся для расположения своих «гнезд» различного рода полостями, выраженные семеноеды со склонностью к всеядности, круглогодично активные. Синантропность

норных зверей – следствие зимнего дефицита кормов, запасы которых концентрируются в хозяйстве человека. Синантропность сопровождается, в большей степени, комплексом этологических адаптаций.

### Библиографический список

1. Башенина Н.В. Пути адаптации мышевидных грызунов. – М.: Наука, 1977. – 355 с.
2. Верещагин Н.К. К вопросу об экологических нишах и морфологических адаптациях // Бюлл. МОИП, отд. биол., XLVII. – Вып. 1. – 1939. – С. 43–52
3. Кучерук В.В. Норы млекопитающих – их строение, использование и типология // Фауна и экология грызунов. – Вып. 15. – М.: МГУ, 1983. – С. 5–54.
4. Формозов А.Н. Конвергенция у наземных позвоночных животных и географическая среда // Современные проблемы географии. Научные сообщения советских географов по программе XX Международного конгресса. – Лондон. – М.: Наука, 1964. – С. 39-48.
5. Харченко Н.Н. Экологические типы и жизненные формы норных зверей Среднего Подонья. – М.: МГУЛ, 2003. – 201 с.
6. Шарова И.Х. Экологическая морфология животных. – М.: МГПИ им. В.И. Ленина, 1987. – 69 с.
7. Hudson J.W. Variation in the patterns of torpidity of small homeotherms / J.W. Hudson // Mammal. Hibern. – N3. – 1967. – p. 30-46.

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТЕЛА НОРНЫХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Н.Н. ХАРЧЕНКО, зав. отделом мониторинга земель лесного фонда «Чернозем ИМЗ», канд. биол. наук

**В**о внешнем облике норных зверей наблюдается значительное сходство, определяемое их приспособлением к среде обитания и к определенному образу жизни в этой среде. Подобное приспособление (адаптация) представляет собой комплекс морфофункциональных изменений, которые, не меняя типичных для млекопитающих черт строения органов и их функций, выражают в той или иной степени приспособленность к использованию условий среды. П.П. Гамбарян считает, что «... признаки

норников являются скорее приспособлением к обитанию в норах и способу передвижения в их ходах, чем приспособлением к рытью» [1]. К характерным адаптивным признакам норного образа жизни относятся: редукция глаз и ушей; появление мягко-бархатистого меха, к которому не прилипает земля; прогрессивная редукция хвоста и др. Сами признаки приспособления к рытью зависят от его способов и становятся все более различимыми по мере повышения специализации видов к этому роду деятельности. При этом

«...одинаковые функции могут выполняться разными конструкциями и, наоборот, сходные конструкции не всегда связаны с одинаковыми функциями [2].

Морфологические особенности строения изучались способом зоологических промеров добытых животных. Из 59 норных зверей региона исследованием был охвачен 41 вид. Это, как правило, наиболее распространенные виды, представляющие все экологические группы норников. Размеры тела и его придатков выражены индексами (относительные величины в %), позволяющими при сравнении устранять влияние величины животного и, отойдя от абсолютных значений признака, выявлять определенные свойства изучаемого организма.

Масса тела животных, особенно норных зверей, чрезвычайно изменчивый показатель. Накапливая жировые отложения к зиме, многие из них могут даже удваивать свой вес. Половой диморфизм также сильно выражен по этому признаку, что является основой выживания более мелких самок в малокормные периоды и в процессе выведения потомства. Отмеченное не позволяет использовать массу тела при анализе морфотипов норных зверей, в том числе и в виде индексов упитанности (отношение массы тела к его длине).

При оценке особенностей экстерьера норных зверей учитывались: соотношение отделов тела, индексы вытянутости шеи, туловища, высоконогости. Все названные показатели отражают возможность эффективного передвижения животных прежде всего по ходам норы. Решается эта задача путем двух противоположных направлений морфологических адаптаций:

1. Увеличением вытянутости тела и максимальной его гибкости. При этом поступательное движение в норе и движение вспять осуществляется с помощью ног и изгибов позвоночного столба тела. Эволюция облигатных и многих вторичных норных зверей идет именно в этом направлении.

2. Формированием предельной компактности тела. Перемещение этих зверей в ходах норы осуществляется исключительно

с помощью ног и, как правило, чаще в поступательном направлении. По этому пути эволюционируют многие первичные и вторичные норные звери.

I. *Первичные активные норники-аэрогеобионты* включают представителей семейства псовых (*Canidae* Fischer 1817). Эти хищные звери, добывающие свои жертвы охотой, имеют относительно короткую голову, достаточно длинную, мощную шею, которая все же несколько короче головы. Туловище практически вписывается в квадрат (индекс растянутости 75,4–95,3 %). Относительно длинные ноги (индекс высоконогости более 30 %) позволяют развивать значительную скорость бега. Все эти показатели возрастают начиная с данных енотовидной собаки (*Nyctereutes procyonoides* Gray 1843) (хищника-собирающего) до волка (*Canis lupus* L. 1758) (активному хищнику). Хвост едва достигает половины длины тела. Рассматриваемые звери способны активно рыть иногда достаточно глубокие и сложные норы. Но выраженной адаптации к норному образу жизни, в том числе и для передвижения в ходах норы, не имеют.

II. *Вторичные пассивные норники-аэрогеобионты* имеют относительно крупную голову (индекс 26,2–37,4 %), короткую (индекс 5,4–10,0 %), но толстую шею, растянутость которой минимальна (136,3–246,7 %). Растянутость туловища незначительная, по своим параметрам она приближается к форме квадрата. Более значительной растянутостью туловища отличаются лесная мышовка (*Sicista betulina* Pallas 1779), желтогорлая (*Apodemus flavicollis* Melch. 1834) и полевая (*Apodemus agrarius* Pallas 1771) мыши, однако компактность тела они сохраняют за счет короткой и толстой шеи. Ноги достаточно короткие, индекс высоконогости зверьков колеблется в пределах 21,3–29,9 %. Таким образом, эта группа норных зверей имеет компактное тело с длинным хвостом (примерно равным длине тела). Исключение составляют медлительные короткохвостые ежи (*Erinaceidae* Fischer 1814), надежно защищенные от своих врагов колючими иглами. Все виды ежей относитель-

но плохо роют, имеют простые неглубокие норы, связь с которыми непостоянна. Они много перемещаются в поисках корма, находясь под защитой густой растительности, лесного и иного хлама.

III. Вторичные пассивные норники-аэростратогеобионты представлены прежде всего различными видами бурозубок (*Sorex* L. 1758) и белозубок (*Crocidura* Wagler 1832). Добывание корма в густом напочвенном покрове раздвиганием рыхлой лесной подстилки способствует развитию у них вытянутой головы (индекс 35,0–37,1 %) и более растянутого, чем у представителей предыдущей группы, туловища. За счет короткой (индекс растянутости 7,2–9,0 %) шеи сохраняется некоторая общая компактность коротконового тела, обладающего одновременно с этим большей гибкостью, способностью, растягиваясь, проникать в самые узкие щели и полости (места концентрации основного корма – беспозвоночных животных). Длина хвоста, как правило, едва превышает половину длины тела.

Вторичные пассивные норники-аэростратогеобионты из семейства горностаевых /ласка (*Mustela nivalis* L. 1758); горностаев (*Mustela erminea* L. 1758); степной (*Mustela evermanni* Lesson 1827) и лесной хори (*Mustela putorius* L. 1758)/, добывающие свои жертвы как на поверхности, так и в их собственных норах. Специализация в подобном направлении кормодобывания в норах своих жертв определила выраженные адаптивные черты в их экстерьере. Эти зверьки имеют голову и шею практически равной длины, причем им свойственна самая высокая растянутость шеи (индекс растянутости 39,1–50,3 %). Туловище в такой же степени выражено растянуто (индекс растянутости 40,4–46,9 %). Тело коротконогое с индексом высоконогости не более 20 %. Хвост относительно короткий, умеренно пушистый, едва достигает трети длины тела. Таким образом, рассматриваемые виды (особенно их более мелкие самки) способны легко и быстро передвигаться в ходах нор своих жертв не только с помощью ног, но и активных изгибов позвоночного столба тела.

Сильно извилистые ходы норы благодаря особому соотношению длин отделов тела не являются для этих зверьков непреодолимым препятствием. В то же время это слабые землерои. Они редко сооружают собственные норы, живут обычно в норах своих жертв, активно их преобразуя.

IV. Вторичные пассивные норники-аэрогидрогеобионты в данном случае представлены речной выдрой (*Lutriola lutriola* L. 1758), европейской (*Mustela lutreola* L. 1766) и американской (*Mustela vison* Schreber 1756) норками. По особенностям экстерьера они близки к вышерассмотренной группе. Также отличаются растянутостью гибкого, еще более коротконового тела, позволяющего добывать свой корм в узких, небольших полостях. Будучи полуводными и околородными животными, они за счет растянутого, гибкого тела являются одновременно и хорошими пловцами, что позволяет им существенно расширять спектр своих кормов. Роют плохо, активно используют, в том числе для укрытия, различного рода полости. Более длинный хвост (около половины длины тела), служащий надежным «рулем», предоставляет зверькам возможность успешной поимки жертв на открытом пространстве и в воде.

V. Вторичные активные норники-аэростратогеобионты включают различные виды полевок (*Arvicolidae* Gray 1821), степную пеструшку (*Lagurus lagurus* Pallas 1773) и другие виды мелких зверьков, активно и постоянно связанных с обитанием в норах. Особенностью их адаптивной эволюции является формирование относительной компактности тела за счет крупной головы, короткой и толстой шеи. Растянутость туловища возрастает в соответствии с увеличением суммарного времени пребывания в норе. Характерно значительное укорочение хвоста, особенно у видов, связанных с открытыми пространствами (степная пеструшка).

VI. Вторичные активные норники – аэрогидрогеобионты. Это виды, постоянно живущие в собственных норах, а корм добывающие в воде и околородном пространстве. Следовательно, особенности их экстерьера

отвечают требованиям пребывания в водной, подземной и околоводной среде. Общими для группы являются относительно крупная голова, промежуточное (среди видов норных зверей) значение длины сравнительно нетолстой шеи, индекс растянутости которой варьируется в широких пределах (63,9–173,6 %). Наиболее тонкошейей является водяная кутора (*Neomys fodiens* Pennant 1771), которая охотится на рыб в толще воды. Собирающая малоподвижный корм на дне водотоков и водоемов русская выхухоль (*Desmana moschata* L. 1758) имеет короткую и толстую шею (индекс растянутости – 173,6 %), так же, как и околоводный грызун – водяная крыса (*Arvicola terrestris* L. 1758) (индекс растянутости – 137,0 %). Адаптация к норному образу жизни, таким образом, выражена лишь в общих чертах экстерьера и не отличается глубокими приспособительными характеристиками. Для всей группы свойственны длинные хвосты (индекс 56,8–89,0 %), приспособленные для выполнения функций руля и движителя в водной среде, наличие на ногах плавательных перепон, короткие ушные раковины и др. Вне воды эти коротконогие зверьки не отличаются скоростью передвижения, поэтому при опасности всегда стремятся укрыться в воде.

VII. Вторичные активные норники-геоаэробиионты имеют постоянную связь с норой и регулярно покидают ее пределы только для добывания корма. Естественно, что адаптация у них к норному образу жизни достигает высокой степени, определяя особый тип экстерьера. Для представителей группы характерна небольшая голова. Длина и диаметр шеи у них примерно равны (индекс растянутости шеи – 79,7–149,9 %). Туловище достаточно растянуто (индекс 35,7–75,6 %), на коротких ногах. Все это придает телу вальковатую форму, без резких наружных переходов между его отделами. Зверьки короткохвосты. Исключение в этом отношении составляет большой тушканчик (*Allactaga Jaculus* Kerr. 1792), достигший вершины специализации в передвижении на поверхности способом настоящего двуногого рикошета, невозможного без балансирующей

роли хвоста. Перемещение в ходах норы осуществляется им с помощью ног и изгибаемых движений позвоночного столба.

VIII. Факультативные норники-аэрогидрогеобионты (европейский бобр (*Castor fiber* L. 1758), ондатра (*Ondatra zibethica* L. 1758)). Основным жилищем этих зверьков могут быть норы, хатки, коблы или различные их комбинации. Экстерьер, как и в предыдущем случае, имеет выраженные черты вальковатости, что подтверждает ведущее значение норы в формировании морфотипа и этих норных зверьков. Будучи полуводными обитателями, бобр и ондатра имеют длинные мощные (широкие) хвосты, а на ногах кожистые плавательные перепонки, обеспечивающие передвижение в воде.

IX. Обязательные норники-геобионты вне норы не живут, а потому более других адаптированы к подземному образу жизни. Их отличают все основные характеристики подземных обитателей: вальковатое тело, обеспечивающее эффективное передвижение (поступательное и вспять) в лабиринтах ходов норы; крупная уплощенная голова с явными признаками редукции ушных раковин и глаз; короткие, также с признаками редукции хвосты; мягкий (бархатистый) шерстный покров, слабо дифференцированный на ость и подшерсток и ряд других адаптаций. Все это превратило представителей группы /крот (*Talpa europaea* L. 1758), слепыш (*Spalax microphthalmus* Guld. 1770), слепушонка (*Ellobius talpinus* Pallas 1770)/ в своеобразные землеройные организмы, роющая деятельность которых стала основной чертой их образа жизни.

Проведенный анализ позволяет выделить три основных типа экстерьера зверей региона:

1. Компактный тип экстерьера. Голова крупная. Скуловая ширина может быть ниже высоты головы. Шея короткая, очень толстая или слегка вытянутая (индекс растянутости шеи – 130–500 %). Туловище по своим параметрам вписывается в квадрат (индекс растянутости туловища 60–95 %). К данному типу экстерьера могут быть отне-

сены: все виды ежей (*Erinaceidae* Fischer 1814), бурозубок (*Sorex* L. 1758) и белозубок (*Crocidura* Wagler 1832), русская выхухоль (*Desmana moschata* L. 1758), все виды мышей (*Muridae* Illiger 1811), сонь (*Myoxidae* Gray 1821), мышовок (*Zapodidae* Coues 1875), серый хомячок (*Cricetulus migratorius* Pallas 1773), европейский бобр (*C. fiber* L. 1758), ондатра (*O. zibethica* L. 1758), все виды псовых (*Canidae* Fischer 1817).

2. *Вальковатый тип экстерьера*. Голова средних размеров. Скуловая ширина выше или равна высоте головы. Длина шеи примерно равна ее диаметру (индекс растянутости шеи 70–130 %). Растянutosть туловища около 50 %. Подобный тип экстерьера имеют: все виды полевок (*Arvicolidae* Gray 1821), степная пеструшка (*L. lagurus* Pallas 1773), водяная кутора (*N. fodiens* Pennant 1771), серая (*Rattus norvegicus* Berkenhout 1769) и черная крысы (*Rattus rattus* L. 1758), европейский барсук (*M. meles* L. 1758), крапчатый (*C. suslicus* Guld. 1770) и малый (*C. pygmaeus* Pallas 1778) суслики, степной

сурок (*Marmota bobac* Muller 1776), большой тушканчик (*A. Jaculus* Kerr. 1792), обыкновенный хомяк (*Cricetus cricetus* L. 1758), обыкновенный крот (*T. europaea* L. 1758), обыкновенный слепыш (*S. microphtalmus* Guld. 1770), обыкновенная слепушонка (*E. talpinus* Pallas 1770).

3. *Растянутый тип экстерьера*. Голова относительно маленькая. Скуловая ширина выше или равна высоте головы. Длина шеи существенно превышает ее ширину (индекс растянутости шеи 40–50 %). Растянutosть туловища самая высокая (35–46 %). Этот тип экстерьера свойственен всем представителям семейства куньих (*Mustelidae* Fischer 1817), за исключением европейского барсука (*M. meles* L. 1758).

#### Библиографический список

1. Гамбарян П.П. Приспособительные особенности органов движения роющих млекопитающих. – Ереван: АН АрмССР. – 1960. – 293 с.
2. Северцов Н.А. Закон адаптивной радиации Осборна и современные эволюционные теории // Природа, 1936. – № 2. – С. 59–67.

## ВЛИЯНИЕ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ЦЕНТРА РУССКОЙ РАВНИНЫ

Н.Н. ХАРЧЕНКО, зав. отделом мониторинга земель лесного фонда «Чернозем ИМЗ», канд. биол. наук

В Центральной части Русской равнины норные млекопитающие абсолютно преобладают. Из 82 видов млекопитающих, обитающих на территории региона, 70 % (57 видов) – норные звери [1–6]. Среди других млекопитающих они выделяются выраженной средообразующей ролью. Кроме рытья, им присущи определенные виды деятельности (раздвигающая, закупоривающая, строящая, цементирующая, вентилирующая, соединительная, регулирующая), направляющие формирование и развитие биогеоценозов. Приемы такой обширной деятельности достаточно многообразны, сопровождаются

сложным комплексом адаптаций и образуют иерархическую систему жизненных форм.

По уровню адаптации к норному образу жизни норные звери представляют довольно разнообразную группу: первичные, вторичные, факультативные, облигатные, активные и пассивные норники.

В условиях региона преобладают виды зверей, составляющие группу вторичных норников, перешедших к поселению в норах после сооружения открытых «гнезд». При этом они от пассивного занятия естественных полостей, расширяя и обустроивая их, перешли к активному сооружению нор с бо-

лее длительным пребыванием в них, достигнув в отдельных случаях статуса облигатных норников. Выявленная факультативность характерна для ограниченного числа видов – аэрогидрогеобионтов /европейский бобр (*Castor fiber*), ондатра (*Ondatra zibethicus*)/, населяющих сложную и динамичную среду околородных пространств. Однако на юге региона факультативность могут проявлять многие первичные активные норники /среднерусский волк (*Canis lupus*), обыкновенная лисица (*Vulpes vulpes*), енотовидная собака (*Nyctereutes procyonoides*)/ и ряд вторичных пассивных норников /полевки (*Arvicolidae*), сони (*Myoxidae*), европейский еж (*Erinaceus europeus*)/.

Будучи постоянно связанными с норой, норные звери ограничивают свое пребывание в рамках относительно локальных участков, оставляя здесь наиболее глубокие следы жизнедеятельности. Они оцениваются, прежде всего, определенными объемами перемещенного грунта; различной интенсивностью использования кормов; сетью тропинок и каналов, соединяющих норы различной функциональной принадлежности с кормовыми полями; многоплановыми наружными сооружениями в виде кормовых столиков, уборных; гидромелиоративными сооружениями (каналы, волоки, плотины), регулирующими условия обводненности территории и др.

Все перечисленное составляет определенный *экологический след* (экопринт, экосигнум) – след жизнедеятельности норных зверей, отражающий уровень их средообразующей роли.

Предлагается следующая классификация типов экологического следа:

1. *Низкий уровень воздействия на окружающую природную среду.* Характерен для первичных активных норников, имеющих непостоянную, периодическую связь с норой, незначительные объемы роющей деятельности, широко передвигающихся в поисках корма.

2. *Средний уровень воздействия на окружающую природную среду.* Характерен

для вторичных активных норников. Занимая сравнительно небольшие по площади участки, они вызывают локальные сукцессионные процессы травяного яруса, а также оказывают влияние на почвообразование за счет относительно больших объемов перемещаемого грунта, увеличения аэрации и т.п.

3. *Высокий уровень воздействия на окружающую природную среду.* Характерен для факультативных и облигатных норников, отличающихся глубоким и разнообразным влиянием на окружающую среду (европейский бобр (*C. fiber*), ондатра (*O. zibethicus*), обыкновенный слепыш (*Spalax microphthalmus*), европейский крот (*Talpa europaea*) и др.). Деятельность этих норных зверей нередко обуславливает присущий определенному биогеоценозу тип почвообразования; вызывает выраженные сукцессионные процессы; провоцирует береговые размывы, заиливание водотоков и водоемов; формирует свиты зависимых от них животных и растений.

Первичные активные и вторичные пассивные норные звери, массово заселяющие антропогенно трансформированные ландшафты, не оказывают существенного влияния на них, к тому же это влияние постоянно нивелирует хозяйственная деятельность человека.

### Библиографический список

1. Барабаш-Никифоров И.И. Звери Юго-Восточной части Черноземного Центра. – Воронеж: Воронежское книжное изд-во, 1957. – 340 с.
2. Фауна наземных позвоночных Воронежской губернии / С.И. Воробьев, – М.: Новая деревня, 1924. – 114 с.
3. Огнев С.И. Звери СССР и прилежащих стран / С.И. Воробьев, С.И. Огнев. – М., Л.: АН СССР, 1950. – Т. 7. – С. 588-658.
4. Северцов Н.А. Периодические явления в жизни зверей, птиц и гадов Воронежской губернии. – М.: АН СССР, 1950. – 308 с.
5. Харченко Н.Н. Норные звери Среднего Подонья: монография. – Белгород, Воронеж: БелГУ, 2002. – 393 с.
6. Хицова Л.Н., Климов А.С. Класс млекопитающие *Mammalia* // Природные ресурсы Воронежской области. Позвоночные. Кадастр. – Воронеж: Биомик, 1996. – С. 160-202.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Д.В. ИВАНОВ, *проф. каф. лесопильно-строгальных производств АГТУ, канд. техн. наук*

Основным участком лесопильного производства является участок формирования размеров поперечных сечений пиломатериалов, оснащенный «головным» лесопильным оборудованием [1]. По «головному» оборудованию определяется производственная мощность предприятия по лесопилению. Оборудование остальных участков подсчитывается по головному оборудованию [2] на операциях как до лесопильного цеха, так и после него: закладывается структура, состав и стоимость оборудования.

Свыше 70 % пиломатериалов производится на крупных и средних предприятиях, на них и сосредоточен выпуск экспортной продукции и высококачественных пиломатериалов внутреннего рынка. В основном это высокомеханизированные действующие предприятия, работающие много лет на одном оборудовании с одним инструментом и постоянными кадрами.

Главным образом, это лесопильные цеха, оснащенные двухэтажными лесопильными рамами с отдельными агрегатными потоками.

Применение рамного пиления известно несколько веков, но наличие определенных недостатков (значительные возвратно-поступательные силы) сдерживает его дальнейшее применение. В настоящее время в мировой практике заметно снизился выпуск рамного оборудования. Однако разработан новый ряд лесопильных рам с увеличенным ходом пильной рамки 700 мм, а использование рамных пил с наплавкой стеллитом позволит улучшить их эксплуатационные характеристики.

В последние годы получило широкое распространение одно из новых направлений развития производства пиломатериалов

– малое лесопиление [3]. Однако, несмотря на его интенсивное развитие, малые предприятия имеют ряд недостатков, основными из которых являются следующие:

1) производительность лесопильных установок в 5–8 раз меньше, чем у рамных потоков;

2) дальнейшие перемещения и обработка пиломатериалов слабо механизированы;

3) нет условий для окончательной обработки пиломатериалов (торцовка, сушка, сортировка по размерам и пакетирование).

Основным направлением повышения эффективности производства и совершенствования переработки пиловочного сырья является применение агрегатного метода, предусматривающего совмещение операций формирования размеров сечения пиломатериалов и выработки технологической щепы в одном агрегатном станке или линии.

Встречаемость бревен различных групп предопределяет очередность создания и совершенствования агрегатного оборудования:

1) для диаметров 14–18 см, составляющие 54 % по штукам;

2) для диаметров 6–13 см, составляющие 12 % по штукам;

3) для диаметров 20–24 см, составляющие 27 % по штукам;

4) для диаметров 26 см и более, составляющие 8 % по штукам.

Сырье 3 и 4 групп может быть частично переработано на рамных потоках.

Развитием агрегатного лесопиления на первом этапе начали заниматься в Канаде, СССР, а затем в Швеции, Чехословакии, Австрии.

Исследованиями в области агрегатного лесопиления занимались Л.З. Лурье,

Д.В. Иванов, Р.В. Рванин, Е.М. Боровиков, Л.А. Фефилов, А.М. Сумароков, В.В. Шестаков, В.Г. Турушев, В.В. Таратин и др.

Созданный с участием автора в 1962 г. на базе тяжелого строгального станка экспериментальный образец АРБ [4] позволил провести первые исследования по глубокому фрезерованию древесины, на основании которых были затем спроектированы и изготовлены агрегаты ЛАПБ. Опытным путем [5] была установлена возможность фрезерования древесины на глубину около 100 мм. В результате исследований установлено, что при встречном глубоком фрезеровании образуются сколы древесины, причем их размеры (и, в частности, длина) не регулируются. В связи с этим было принято решение о переходе на попутное фрезерование и выпуск технологической щепы с заданными параметрами. С целью получения нормированной щепы впервые были проведены исследования по попутному фрезерованию древесины и определению требуемых мощностей привода. Проведенные исследования явились основой для создания в дальнейшем линий агрегатной переработки бревен (ЛАПБ) (рис. 1).

Несколько позднее на предприятиях появились 2-проходные агрегатные линии, состоящие из фрезерно-брусующих станков (ФБС и многопильных круглопильных станков) (рис. 2), разработанные различными организациями и предприятиями (ЦНИИМОД, АЛТИСевНИИП, Петрозаводский СКТЬ, Шарьинский ДСК, Лобвинский ЛК и др.) [6], предназначенные для переработки пиловоч-

ного сырья диаметрами 14–18 см со скоростями подачи 24–50 м/мин.

Для технологической оценки работы различных линий по распиловке бревен используют показатели :

- 1) объемный выход пиломатериалов ( $O_{\text{пм}}$ , %);
- 2) объемный выход технологической щепы ( $O_{\text{тщ}}$ , %);
- 3) производительность по распилу сырья ( $\Pi_c$ , м<sup>3</sup>/ч), количество рабочих (чел.) и стоимость оборудования линий, а в качестве единого критерия – приведенные затраты.

Поскольку в настоящее время цены на сырье, оборудование и материалы, а также зарплата рабочих постоянно меняются, то в качестве единого критерия для сравнения работы потоков на базе лесопильных рам, ЛАПБ и ФБС может использоваться показатель выработки эквивалентных пиломатериалов в единицу времени (ч)

$$\Pi_3 = \Pi_c (O_{\text{пм}} + O_{\text{тщ}} \times C_{\text{тщ}}),$$

где  $C_{\text{тщ}}$  – коэффициент, учитывающий соотношение цен технологической щепы и пиломатериалов ( $C_{\text{тщ}} = 0,15-0,3$ ).

Выход пиломатериалов для различных потоков определялся путем расчетов поставок с помощью программы «Постав» АГТУ и данным РТМ ЦНИИМОД «Области применения агрегатных линий для переработки пиловочника на пиломатериалы и технологическую щепу» [7]. Результаты расчетов показателей обработки бревен диаметрами 12–18 см на различном оборудовании показан на рис. 3.

Т а б л и ц а 1

**Технические характеристики линий агрегатной переработки**

Параметры	ЛАПБ	ЛАПБ-2	ЛАПБ-3	R-200	R-250	668С	Чип-Н-Со
Диаметры перерабатываемых бревен, см	12–18	10–18	10–180	8–23	10–35	24	10–36
Число выпиливаемых досок	4	4–5	4–5	4–6	5–8	4–6	2–5
Скорость подачи м/мин	24; 30; 36	40; 50; 60	50	75 (60–120)	50 (30–90)	3,8; 5,6; 8,4	36
Диаметр пил, мм	630	630	400	450	500	150	500
Установленная мощность, кВт	389	440	418,5	600	900	76,5	672

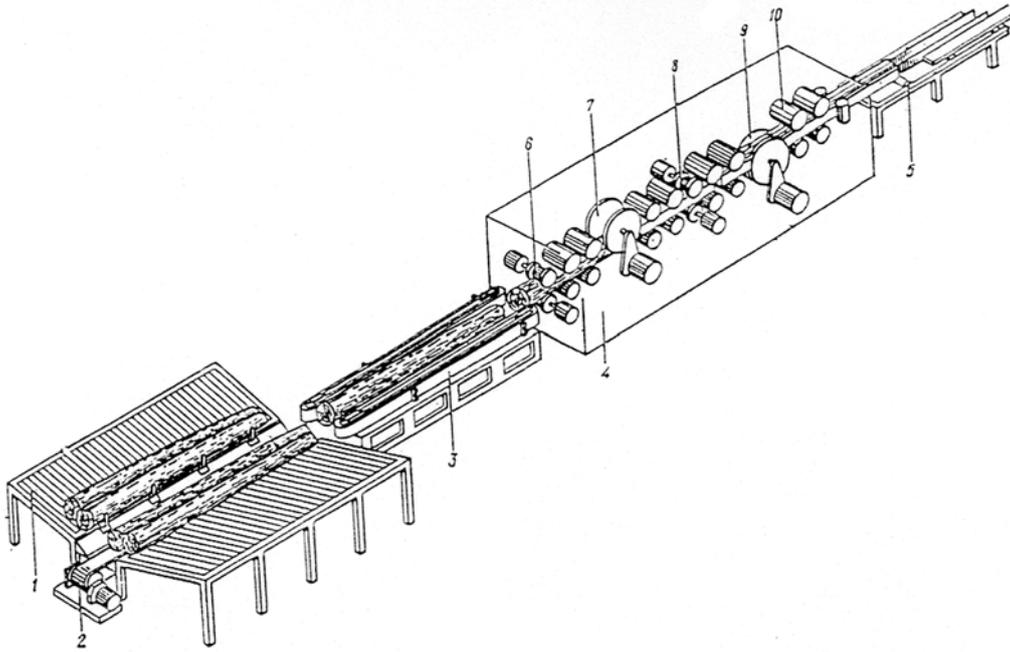


Рис. 1. Линия агрегатной переработки бревен ЛАПБ-2: 1 – накопитель; 2 – ленточный конвейер догона бревен; 3 – конвейер подачи бревен; 4 – фрезернопильный агрегат; 5 – выносной рольганг; 6 – узел первичного фрезерования; 7 – узел фрезерования наружных пластей боковых досок; 8 – узел вторичного фрезерования; 9 – пильный узел, 10 – вытяжные валцы

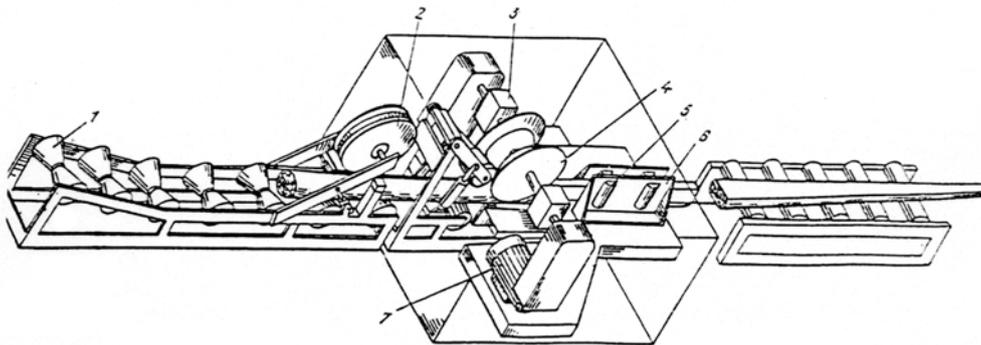


Рис. 2. Фрезерно-брусующий станок 1 – рольганг подачи бревен, 2 – прижимной ролик, 3 – тормозное устройство, 4 – фрезерный узел, 5 – направляющее устройство, 6 – рольганг подачи в многопильный станок

Т а б л и ц а 2

**Технические характеристики фрезернопильных линий**

Параметры	ФБС 750М	ФБЛ 16М	Сев НИИП-АЛТИ	СКТБ Петро-заводск	ЛК Лобва	БРМ-1	ДСК Шарья	ЛФП-3	Линк VM-30
Диаметр бревен, см	10–18	6–16	12–16	12–16	12–16	6–13	12–16	10–18	8–40
Число выпиленных досок	1–4	1–4	1–4	1–4	1–4	1–2	1–4	1–6	4–6
Скорость подачи, м/мин	50	До 36	36	54	52	36	24	40–60	45–50–60 (до150)
Диаметр пил, мм	940	500–700	500	500	500	400	500	600–700	400
Установленная мощность, кВт	119	70	126	117	130	85	120	333	160x2

Результаты работы ЛАПБ на отдельных предприятиях

Предприятие	Годовая производительность, тыс.м <sup>3</sup> /год		Среднесменная производительность, тыс.м <sup>3</sup> /см		
	1981 г.	1986 г.	1981 г.	1986 г.	d ср
Лесозавод №3	80,6	117	128,7	144	15
ЛДК-1	73,7	100	115,5	118	14
Лесозавод №2	72,2	73,9	150,0	154,0	17
Онежский ЛДК	30,2	93	79,0	117	15
Кузничевский л/з	28,1	42	75,3	103	14
Петрозаводский ДСК	48,2	57	125,0	104	16
Соломбальский ЛДК	37,7	125	76,3	146	16
ЭПЗ «Красный Октябрь»	34,4	65	108,3	153	16

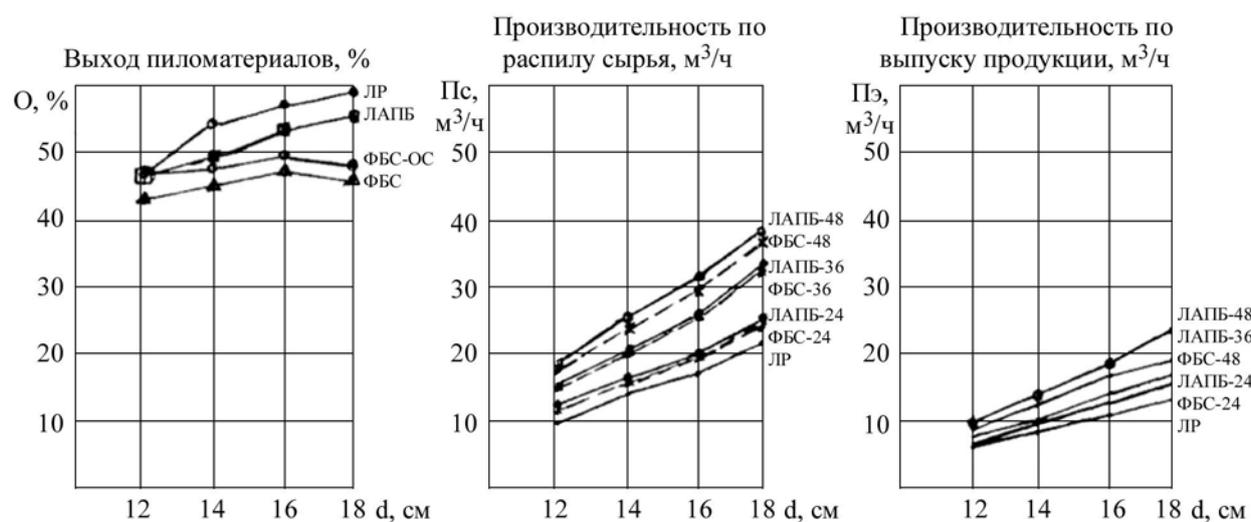


Рис. 3. Показатели обработки бревен диаметром 12–18 см при распиловке на различном оборудовании



Рис. 4. Показатели обработки тонкомерного сырья диаметром 6–12 см при выпилке различной продукции: 1 – традиционные экспортные пиломатериалы 38,44 × 100 мм; 2 – экспортные пиломатериалы арабского рынка 66 × 66 мм с боковыми досками; 3 – заготовки для оконных блоков 50 × 65 мм с боковыми досками; 4 – бруски 66 × 66 мм для арабского рынка; 5 – заготовки для оконных блоков 50 × 65 мм; 6 – бруски 50 × 50 мм; 7 – заготовки 19 × 50 мм для паркета

**Производительность потоков с ФБС на предприятиях**

Предприятие	Годовая производительность, тыс.м <sup>3</sup> /год		Среднесменная производительность, тыс.м <sup>3</sup> /см	
	1984 г.	1986 г.	1984 г.	1986 г.
Цигломенский ЛДК	86	116	116	145
ЛДК №3	78	146	146	177
ЛДК №4	77	101	150	157
Лесозавод 12 ЛФП 2,3	71	100	120	141
Ильинский л/з	40	61	96	122
Кемский л/з	54	62	116	120
Сегежский ЛДК	56	79	119	153

Выход пиломатериалов на ЛАПБ ниже, чем на лесопильных рамах, на 3,1–3,5 %, а в потоках ФБС ниже, чем на ЛАПБ, на 1,2–6,8 % при наличии в потоках обрезных станков и на 3,8–9,5 % при отсутствии обрезных станков.

По основному критерию – выработке эквивалентных пиломатериалов – потоки с лесопильными рамами уступают потокам с ЛАПБ-48 в 1,8 раза, потокам с ЛАПБ-36 с ФБС-48 в 1,53 раза, потокам с ЛАПБ-24 и ФБС-36 в 1,3 раза, потокам с ФБС-24 в 1,05 раза. Кроме того, количество рабочих на агрегатных участках формирования сечения и производства щепы по сравнению с рамными потоками сокращается в 2–4 раза.

Внедрение агрегатного метода на станках 1-й очереди в России достигло наибольшего расцвета в 80-е годы, когда на 70–90 установках перерабатывалось в год до 5–6 млн м<sup>3</sup> сырья [8].

На установках типа ЛАПБ производительность по распилу сырья составляла 130–150 м<sup>3</sup>/см при выходе 44–46 %, в т.ч. 31–35 % экспортных.

На 2-проходных установках на базе ФБС производительность по распилу сырья составляла 140–150 м<sup>3</sup>/см при выходе пиломатериалов 40–43 %, в т.ч. 29–33 % экспортных. Рамные потоки на этом же сырье распиливают 70–80 м<sup>3</sup>/см при выходе пиломатериалов 51–53 %.

РТМ ЦНИИМОД определены сферы эффективного применения агрегатных установок:

ЛАПБ – для диаметров 14–18 см – 50 тыс. м<sup>3</sup> сырья в год,

2-проходные агрегаты на базе ФБС – для диаметров 12–14 см – 30 тыс.м<sup>3</sup> сырья в год.

Применение агрегатных станков 1-й очереди позволило повысить производительность многопоточных цехов на 12–14 % за счет перераспределения сырья между потоками и увеличения среднего диаметра сырья, распиливаемого на рамных потоках.

Следующим этапом использования агрегатного метода является его применение для переработки тонкомерного сырья диаметром 6–13 см.

Ресурсы тонкомерного сырья ориентировочно составляют 4–5 % от объема лесозаготовок. На лесопильно-деревообрабатывающие предприятия поступает от 4 % до 7 % мелкого сырья диаметром 6–13 см.

Большое количество неиспользованного тонкомерного сырья позволяет ставить вопрос о его рациональном использовании путем получения прибыли от его переработки [9].

В данной работе рассматриваются вопросы выпуска из тонкомера пилопродукции, а именно:

1-й вариант – выпуск экспортной пилопродукции традиционного европейского рынка (сечением 44 × 100, 22 × 100, 22 × 75);

2-й вариант – выпуск экспортной пилопродукции для арабского рынка (сечением 66 × 66 мм);

3-й вариант – выпуск пилопродукции, предназначенной для производства оконных блоков (сечением 50 × 65 мм);

4-й вариант – выпуск пилопродукции, предназначенной для производства паркета (сечением 19 × 50 мм);

5-й вариант – выпуск экспортной пилопродукции для французского рынка (сечением 63 × 125, 115, 100; 50 × 125, 115, 100; 38 × 125, 115, 100; 32 × 125, 115, 100; 22 × 115 мм).

Для распиловки предлагается использовать потоки, оснащенные агрегатными установками и линиями с фрезернопильными и многопильными станками.

Результаты расчетов показателей обработки бревен диаметрами 6–12 см на различном оборудовании показан на рис. 4.

Проведенные исследования показали, что имеются определенные пути использования тонкомерного сырья для выпуска пилопродукции, которая принесет прибыль предприятиям в условиях дефицита сырья на лесопильных предприятиях и излишков тонкомера на лесозаготовительных предприятиях. Для окончательного выбора того или иного направления использования тонкомерного сырья необходимо учитывать спрос и договорную стоимость продукции, тарифы на перевозки, наличие цехов деревообработки, возможность сбыта щепы, стоимость электроэнергии, наличие сушильных мощностей и другие особенности предприятий.

Последние исследования ЦНИИМОД и других организаций и авторов были направлены на увеличение толщины перерабатываемого на агрегатах сырья и улучшение его использования. Для этого были разработаны фрезернопильные линии ЛФП. Для переработки сырья диаметром до 30 см ЦНИИМОД была разработана линия ЛФП-1 с использованием ленточных пил, а для переработки пиловочника диаметром до 24 см

была разработана, изготовлена и испытана на лесозаводе № 12 (б. филиале № 2 СЛДК) линия ЛФП-2,3 [10]. Среднесменная производительность линии достигала 151,6 м<sup>3</sup>, выход пиломатериалов составлял 43,6 %, в т.ч. экспортных 32,5 %, и технологической щепы 30 %. Сфера эффективного применения линий ЛФП – 70 тыс. м<sup>3</sup> пиловочного сырья диаметром 14–24 см в год.

Ряд организаций разработали и создали образцы агрегатов типа «Барс» для индивидуального раскря бревен больших диаметров.

Другое направление совершенствования агрегатного метода было принято кафедрой лесопиления АЛТИ (АГТУ), где под руководством проф. Л.З. Лурье была проведена разработка линии малооперационной переработки бревен (ЛПБМ) [11]. Первая модель этой линии (ЛПБМ-1) предназначена для переработки сырья диаметром 14–28 см, охватывающего 85–90 % всего пиловочного сырья.

Результаты расчетов показателей обработки бревен диаметром 18–24 см на различном оборудовании показан на рис. 5.

Производительность ЛПБМ-60 больше ЛФП-48 в 1,3–1,5 раза, больше производительности лесопильных рам в 2–2,2 раза.

Область применения ЛПБМ – лесопильные предприятия мощностью не менее 150 тыс. м<sup>3</sup> сырья в год.

По выработке эквивалентной продукции производительность ЛПБМ в 2,2–2,9 раза больше лесопильных рам.

В получаемой прибыли от использования ЛПБМ 32 % составляет прибыль от изменения толщины пил, 20 % – от оптимизации системы сортировки сырья, 31 % – от оптимизации системы базирования бревен и 14 % от сокращения затрат «живого» труда.

Т а б л и ц а 5

**Технические характеристики линий агрегатной переработки тонкомерного сырья**

Параметры	ВФ-14	ЛПТ-6	БРМ-1	ФБЛ-16М
Диаметры перерабатываемых бревен, см	6–14	6–12	6–13	6–16
Число выпиливаемых досок	1–2	1–2	1–2	1/4
Скорость подачи, м/мин	30	10–24	36	До 36
Диаметр пил, мм	400	400	400	500–700
Установленная мощность, кВт	28	40	85	70

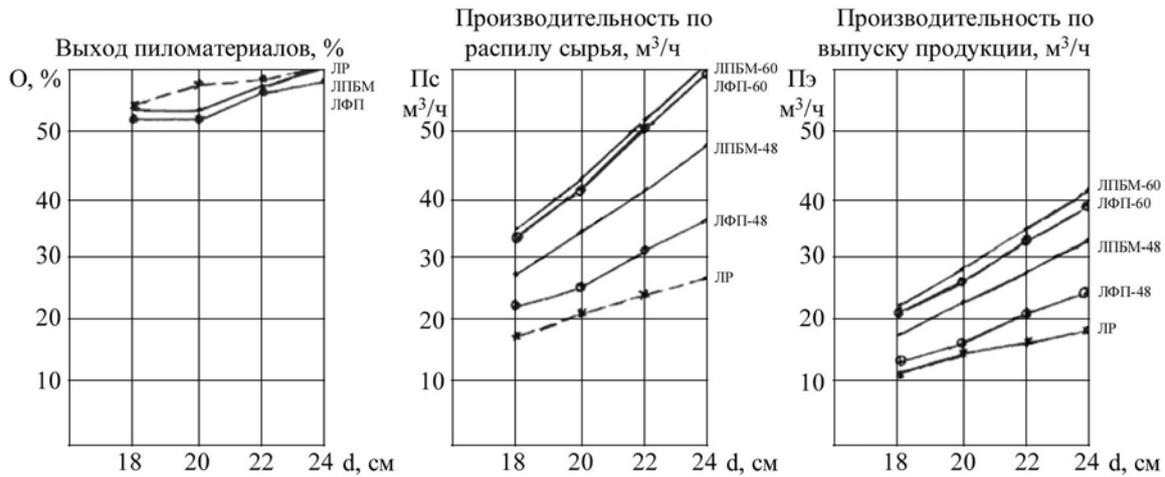


Рис. 5. Показатели обработки бревен диаметром 18–24 см при распиловке на различном оборудовании

### Выводы

Основным направлением интенсификации процессов формирования сечения в лесопильных цехах является использование агрегатного метода производства пиломатериалов. Его применение позволяет увеличить скорость переработки бревен с 10–12 м/мин до 150 м/мин, сократить трудозатраты и улучшить использование древесного сырья, при этом получать одновременно и пиломатериалы, и технологическую щепу.

Агрегатный метод переработки сырья, предложенный автором совместно с Л.З. Лурье и Р.В. Рваниным еще в 1961 г., получил широкое применение в промышленности. В 80-е годы на предприятиях работало свыше 80 линий ЛАПБ и ФБС с многопильными станками для переработки сырья Ø 14–20 см. На них было переработано 4,2 млн м³ сырья.

В данной работе определены пути дальнейшего развития агрегатного метода в направлении создания агрегатов для мелкого сырья диаметром 6–12 см и крупного сырья диаметром 22 см и более. Зарубежные фирмы также работают в направлении создания многопроходных линий для агрегатной переработки сырья диаметром 14–30 см со скоростями подачи до 150 м/мин.

### Библиографический список

1. Варфоломеев Ю.А., Дружин И.С., Иванов Д.В. и др. Справочник по лесопилению / Под ред. А.М. Копейкина – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Экология, 1991. – 496 с.
2. Турушев В.Г., Иванов Д.В. Технология и оборудование для обработки пиломатериалов и подготовки их к реализации: Учебное пособие с грифом Минобразования РФ. – Архангельск: АГТУ, 2002. – 120 с.
3. Иванов Д.В. Использование различного бревнопильного оборудования для производства пиломатериалов на малых предприятиях. – Архангельск: ИВУЗ Лесной журнал. – 2003. – № 5.
4. Авторское свидетельство (СССР) № 159282, Устройство для распиловки бревен / Л.З. Лурье, Д.В. Иванов, Р.В. Рванин // Открытия, изобретения, пром. образцы, тов. знаки. – 1963. – № 24.
5. Лурье Л.З. Иванов Д.В. Поисковые исследования по определению основных технологических данных для проектирования лесопильных предприятий будущего / Экспериментальное исследование глубокого фрезерования древесины. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1962. – 54 с.
6. Боровиков Е.М., Фефилов Л.А., Шестаков В.В. Лесопиление на агрегатном оборудовании. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 216 с.
7. РТМ «Области применения агрегатных линий для переработки пиловочника на пиломатериалы и технологическую щепу». – Архангельск: ЦНИИМОД, 1977. – 16 с.
8. Таратин В.В. Лесопильные агрегаты: современное состояние и тенденции их совершенствования. Деревообрабатывающая пром-сть, 1998. – №1. – С. 3–6.
9. Иванов Д.В., Суровцева Л.С. Рациональное использование тонкомерного сырья. – Архангельск: ИВУЗ Лесной журнал. – 1992. – № 2.
10. Состояние и основные направления развития агрегатного лесопиления в текущей пятилетке и на перспективу: Тезисы докладов к Всесоюзному семинару. – Архангельск: ЦНИИМОД. – 1983.
11. Лурье Л.З. Исследовать возможность совершенствования технологического процесса лесопиления на участке формирования сечения пиломатериалов. – Архангельск: АЛТИ, 1985. – № 401.

## ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ИЗ ЧАСТИЦ ШПОНА

Л.В. МЕЛЬНИКОВА, доц. каф. технологии плит и пластиков МГУЛ, канд. техн. наук,  
НАЗЕРИАН МОРТЕЗА, асп. каф. технологии плит и пластиков МГУЛ

При определении структуры ЦСП одним из важных факторов является характеристика стружки. Многими исследователями установлены оптимальные размеры и форма стружки [1]. Однако влияние направления волокон стружки, которое возможно при лущении, а также ориентирование такой стружки при формировании пакета ЦСП изучено недостаточно. Поэтому целью этой работы было изучение прочности ЦСП, изготовленной из лущеного шпона при различном ориентировании ее в пакете. На первом этапе работы изучалось влияние толщины стружки на основную характеристику структуры ЦСП – максимальную объемную долю наполнителя (характеризующую плотность упаковки при различных степенях уплотнения пакета). Для определения  $\varphi_m$  – максимальной объемной доли была применена формула (1)

$$\varphi_m = \rho_{\text{нас.}} / \rho_{\text{ист.}} \quad (1)$$

Из анализа графика (рис. 1) видно, что при увеличении толщины стружки максимальная объемная доля упаковки  $\varphi_m$  резко увеличивается. Минимальная плотность упаковки частиц достигается при самой малой толщине частиц, а также при увеличении степени уплотнения пакета. Отсюда следует, что объемная доля наполнителя при одинаковой степени уплотнении возрастает для всех размеров частиц. Так, при наибольшей степени уплотнения ( $\kappa = 3$ ) значение максимальной объемной доли будет наибольшей, при этом характер кривой сохраняется и будет таким же, как и для степени уплотнения  $\kappa = 1$ , т.е. с увеличением толщины стружки  $\varphi_m$  будет возрастать и достигать своего максимального значения при толщине стружки, равной 0,65 мм.

Для оценки среднестатистического расстояния между частицами  $A$  применяли формулу (2)

$$A = (\varphi_m - \varphi'_m) / (1 - \varphi_m), \quad (2)$$

где  $A$  – среднестатистическое минимальное расстояние между частицами;

$\varphi_m$  – максимально возможная объемная доля наполнителя в системе;

$\varphi'_m$  – реальная объемная доля наполнителя в системе;

$\varphi_n = (1 - \varphi_m)$  – минимальная объемная доля матрицы.

Благодаря этой формуле можно рассчитать экспериментально-теоретическое расстояние между частицами любой формы и размеров.

Среднестатистическое расстояние между частицами увеличивается при уменьшении толщины стружки (рис. 2). Анализ этой зависимости показал, что при увеличении степени уплотнения пакета расстояние между частицами уменьшается – кривые сглаживаются. Это означает тот факт, что плотность упаковки частиц выравнивается: более тонкие частицы занимают пустоты между более крупными, поэтому графическая зависимость при коэффициентах уплотнения  $K = 2$  и  $K = 3$  выражается линейной зависимостью.

Далее в работе исследовалось влияние гибкости стружки (отношение длины к толщине) и удельной поверхности на прочность плит при изгибе. В результате, как видно из графика 3, оказалось, что при увеличении гибкости до  $150 \text{ г/см}^2$  увеличивается прочность при изгибе, а при растяжении перпендикулярно пласти снижается (рис. 3, 4). Одновременно с увеличением удельной поверхности прочность при изгибе плиты возрастает, а прочность при растяжении перпендикулярно пласти снижается.

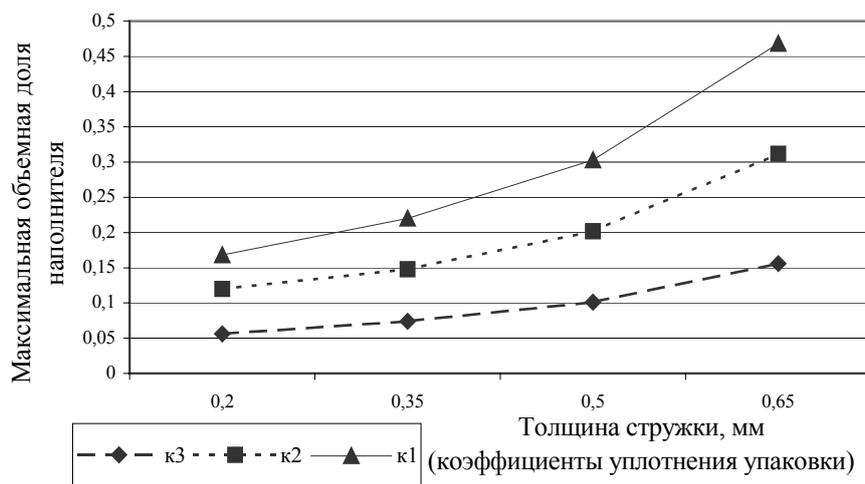


Рис. 1. График зависимости  $\varphi_m$  от толщины осинового шпона при различных уплотнениях  $\kappa$

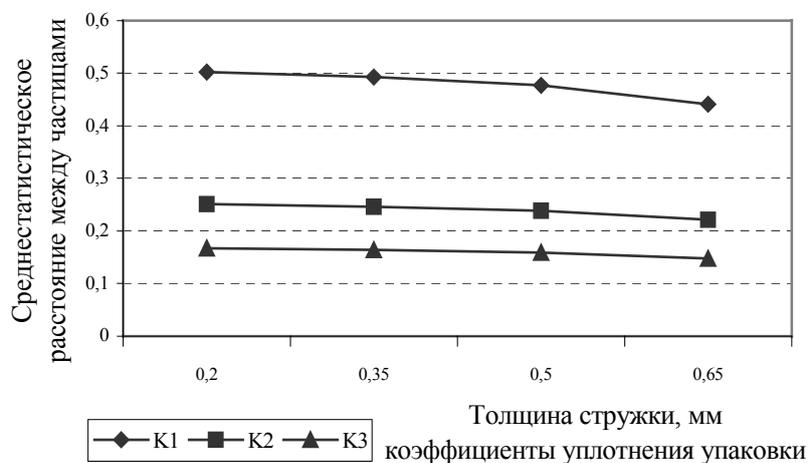


Рис. 2. График зависимости среднестатистического расстояния между частицами от толщины стружки при различных степенях уплотнения пакета

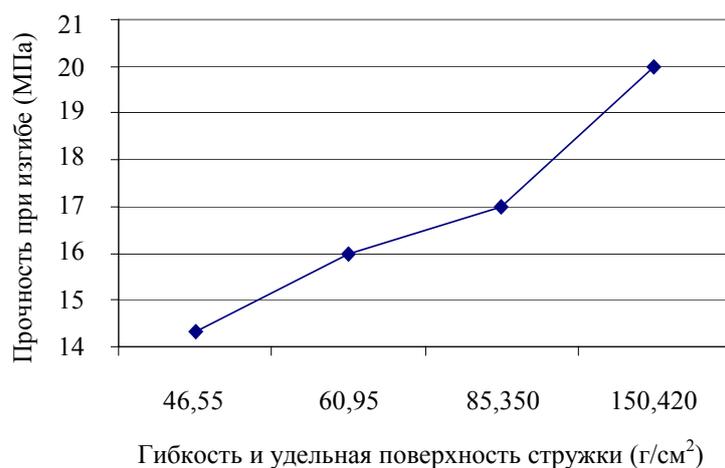


Рис. 3. Зависимость прочности при изгибе цементно-стружечных плит от гибкости и удельной поверхности древесных частиц

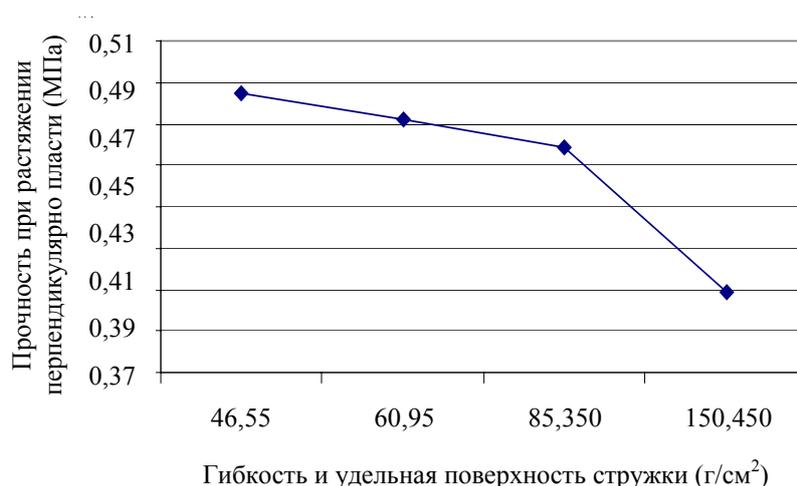


Рис. 4. Зависимость прочности при растяжении перпендикулярно пласти цементно-стружечных плит от гибкости и удельной поверхности древесных частиц

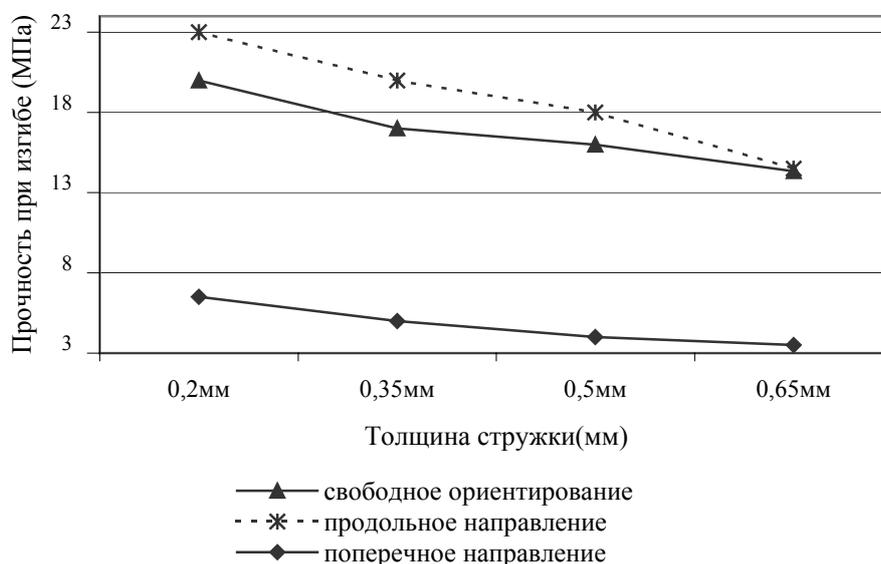


Рис. 5. Зависимость прочности при изгибе цементно-стружечных плит от толщины древесных частиц

Известно, что мелкие стружки имеют большую удельную поверхность и адсорбируют большее количество вяжущего, вследствие чего снижается прочность при изгибе, в то время как крупным стружкам требуется меньшее количество вяжущего для образования высокой прочности при изгибе.

Представляет несомненный научный интерес изучение влияния толщины стружки, имеющей точно заданные размеры при различных способах ее ориентирования в пакете, на предел прочности при изгибе. В работе рассматриваются три различных способа ориентирования: 1 – свободное ориентиро-

вание стружки (при свободной засыпке в плите), 2 – продольное направление и 3 – поперечное направление стружки. На рис. 5 и 6 приведены результаты исследований влияния толщины стружки при различном ее ориентировании в плите на предел прочности при изгибе (рис. 5), предел прочности при испытании перпендикулярно пласти (рис. 6).

Изгибная прочность цементно-стружечной плиты увеличивается при уменьшении толщины частиц; ее максимальные значения получены при использовании самой тонкой стружки, а минимальные – при изготовлении плит из самой толстой стружки (рис. 5).

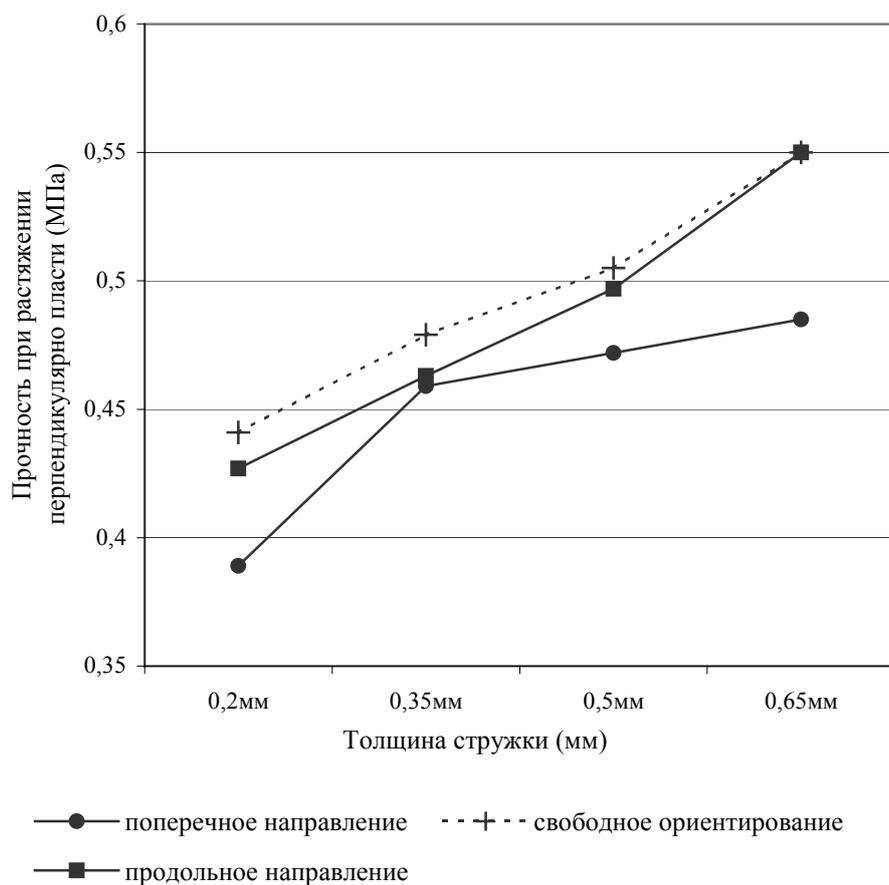


Рис. 6. Зависимость прочности цементно-стружечных плит от толщины древесных частиц при растяжении перпендикулярно пласти

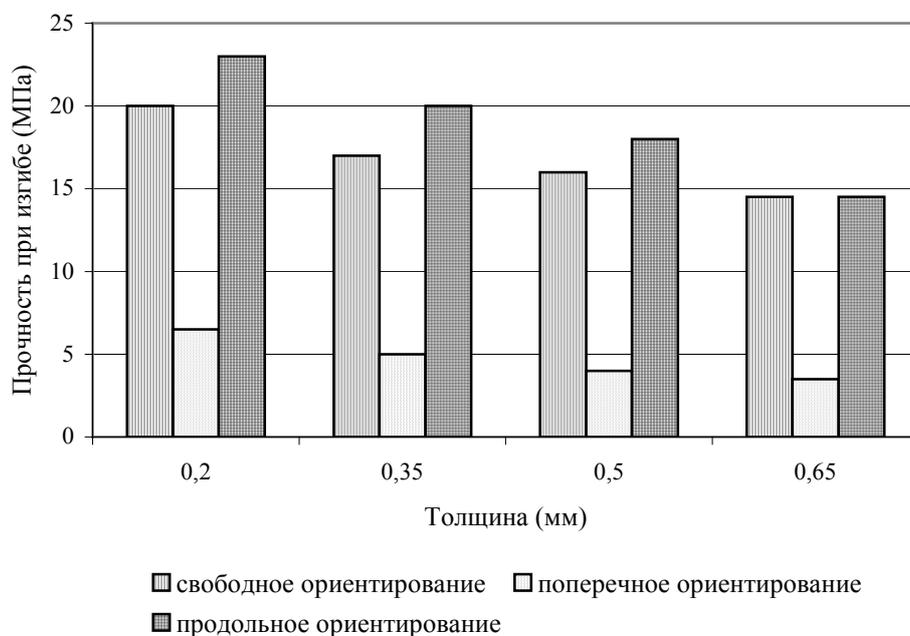


Рис. 7. Влияние направления частиц на предел прочности при изгибе для частиц различных толщин

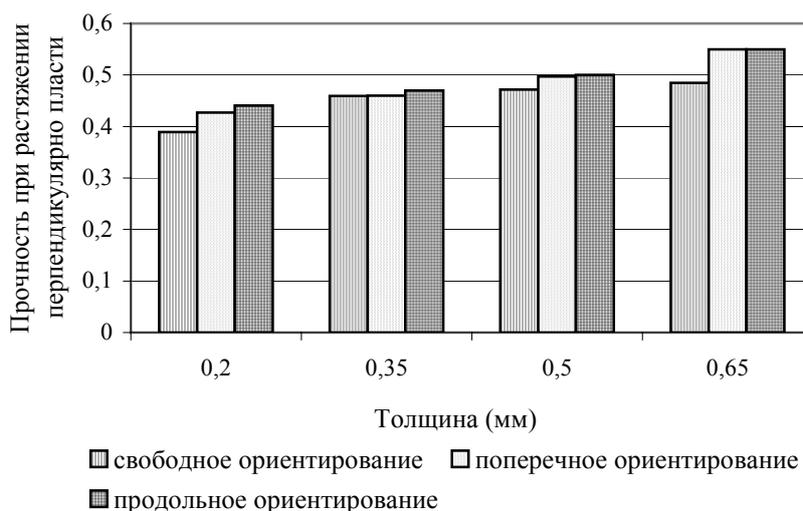


Рис. 8. Влияние направления частиц на прочность при растяжении перпендикулярно пласти для частиц различных толщин

Из рис. 6 следует, что прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты увеличивается при увеличении толщины более 0,6 мм.

На рис. 7 и 8 приведены зависимости прочности при изгибе и при растяжении перпендикулярно пласти при ориентировании стружки в различных направлениях. При использовании тонкой стружки с ориентированием в продольном направлении прочность при изгибе увеличивается и достигает максимального значения, но прочность при растяжении перпендикулярно пласти уменьшается. С увеличением толщины стружки, с ориентированием в различных направлениях прочность при изгибе уменьшается, а прочность при растяжении перпендикулярно пласти увеличивается; самая

большая прочность при растяжении перпендикулярно пласти достигается при ориентировании частиц в продольном направлении.

#### Выводы

С увеличением удельной поверхности частиц из шпона и гибкости прочность при изгибе резко возрастает, а прочность перпендикулярно пласти уменьшается. Это, очевидно, связано с расходом цемента на поверхности стружки.

#### Библиографический список

1. Поташев О.Е., Лапшин Ю.Г. Механика древесных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 112 с.
2. Мельникова Л. В. Технология композиционных материалов из древесины: Учебник для студентов спец. 2602.00 – М.: МГУЛ, 1999. – 226 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ НА МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

В.В. АБРАЗУМОВ, доц. каф. материаловедения и ТКМ МГУЛ, канд. техн. наук,  
В.Д. КОТЕНКО, проф., зав. каф. материаловедения и ТКМ МГУЛ, д-р техн. наук

В настоящей работе рассматривается моделирование процесса резания цементно-стружечных плит (ЦСП), которые являются типичными представителями древесно-

минеральных композитов. ЦСП – плитный материал, получаемый прессованием смеси, состоящей из цемента, древесной стружки, химических добавок и воды. Особенности

строения ЦСП по сравнению с другими древесными композитами с синтетическими полимерными связующими (ДСП, ДСтП, МДФ и др.) и металлами [1] во многом определяют особенности процесса резания этого материала. В этой связи для моделирования процесса резания необходима структурная модель ЦСП.

### Структурная модель ЦСП для целей резания

Такая модель может быть представлена в следующем виде (рис. 1).

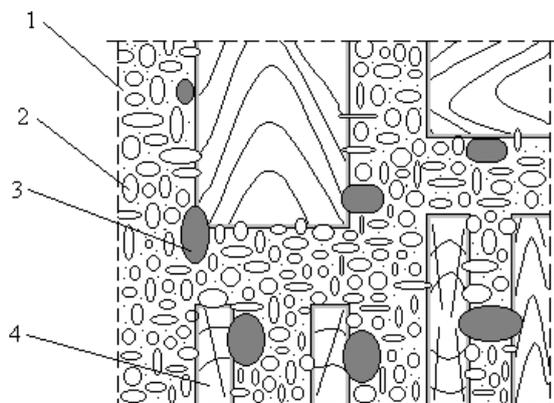


Рис. 1. Структурная модель ЦСП: 1 – гель; 2 – непрореагировавшие частицы цементного клинкера; 3 – макропоры; 4 – древесные частицы

Имеется непрерывный каркас, состоящий из тонких пленок цементного камня (толщина пленок 0,173–0,209 мм в зависимости от соотношения древесина/цемент). Внутри каркаса под произвольным углом к плоскости прессования располагаются древесные частицы. Адгезионная прочность на границе раздела древесина/цементный камень – 0,17–0,4 МПа [2]. Тонкие пленки цементного камня состоят из геля, образованного новообразованиями из чрезвычайно дисперсных частиц в виде гексагональных пластинок, игл и сферолитов, внутри которого статистически распределены непрореагировавшие (негидратированные) зерна клинкера размером от 10 до 40 мкм и более. Содержание негидратированных зерен клинкера в геле может достигать 40 %. Мик-

ротвердость клинкерных зерен составляет 5500...9000 МПа, а их устойчивость сохраняется при нагреве до температуры 2070...2190°C. Строение геля – поровое. В нем имеются микропоры, переходные поры и макропоры. Общий объем пор в геле составляет не менее 28 %. Поскольку механизмы резания древесных частиц и тонких пленок цементного камня разные, то необходимо знать доли площадей, занимаемых на поверхностях резания древесными частицами, макропорами и пленками цементного камня.

### Тепловой баланс процесса резания

Из условия равенства тепловой и механической мощности процесса резания можно записать [3]

$$Q = P_z \cdot v, \quad (1)$$

где  $P_z$  – касательная составляющая силы резания;

$v$  – скорость резания.

Общее количество теплоты  $Q$  распределяется между тремя основными объектами резания – стружкой ( $Q_c$ ), изделием ( $Q_u$ ) и режущим инструментом ( $Q_p$ ). Теплообразующими источниками являются контактные площадки на передней ( $Q_{mn}$ ) и задней ( $Q_{mz}$ ) поверхностях режущего инструмента и условная плоскость сдвига – зона деформации ( $Q_d$ ). Обозначим мощность тепловых источников на передней и задней поверхностях режущего инструмента через  $Q_n$  и  $Q_3$  соответственно и, полагая, что доля теплоты, переходящей из зоны деформации в стружку, равна  $b^*$ , можно записать следующую систему уравнений (без учета лучеиспускания и конвективного теплообмена)

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_c + Q_e + Q_p = P_z \cdot v; \\ Q_c &= b^* \cdot Q_d + Q_{ar} - Q_1; \\ Q_e &= (1 - b^*) \cdot Q_d + Q_{T3} - Q_2; \\ Q_p &= Q_i + Q_3. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Мощности теплообразующих источников

$$Q_{ar} = F_{ar} \cdot \frac{v}{k}; \quad (3)$$

$$Q_{oc} = F_{oc} \cdot v; \quad (4)$$

$$Q_a = v \cdot \left( D_\zeta - \frac{F_{a\zeta}}{k} - F_{a\zeta} \right), \quad (5)$$

где  $F_{mn}$ ,  $F_{mz}$  – силы трения на передней и задней контактных площадках режущего инструмента;

$k$  – коэффициент усадки стружки.

Силы  $F_{mn}$  и  $F_{mz}$  можно представить с помощью известных соотношений в виде функций, составляющих силы резания  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ . Если задать законы распределения нормальных и касательных напряжений на передней и задней поверхностях режущего инструмента, то можно получить законы распределения интенсивности тепловых потоков на этих поверхностях. Балансовые уравнения (2) служат как для определения законов распределения температуры (температурного поля) в изделии, стружке и режущем инструменте, так и для распределения температуры на контактных площадках режущего инструмента. Приведенные выше формулы справедливы при резании металлов. Они могут быть использованы также и для случая резания ЦСП с учетом особенностей, обусловленных их структурой.

### Особенности резания ЦСП

Для моделирования процесса резания ЦСП отметим специфические особенности, имеющие место при обработке этого материала.

1. ЦСП является неоднородным материалом, в связи с чем на поверхности резания можно выделить три различающиеся по структуре составные части этой поверхности: поры, цементный камень и древесные частицы. Пусть в поверхности резания доля поверхности пор составляет  $c_n$ , цементного камня  $c_{цк}$  и древесных частиц  $c_{дч}$ , тогда можно записать

$$c_n + c_{цк} + c_{дч} = 1. \quad (6)$$

Численные значения  $c_n$ ,  $c_{цк}$ ,  $c_{дч}$  можно определить с помощью вероятностных расчетов.

2. Часть усилия резания при обработке ЦСП затрачивается на разрушение (скалывание) цементного камня, которое происходит при упругих деформациях, т.е. разрушение цементного камня носит хрупкий ха-

рактер. Сколовшийся цементный камень образует стружку надлома, которая не оказывает влияния на величину силы трения на передней поверхности. Тепловые потоки, образующиеся вследствие упругой деформации, настолько малы, что соответствующие им члены в уравнениях теплопроводности могут не учитываться [4]. Усилие, затрачиваемое на разрушение цементного камня, может быть рассчитано по формуле

$$P_{цк} = \sigma_{всж} \cdot S_c \cdot c_{цк}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{всж}$  – предел прочности цементного камня на сжатие;

$S_c$  – площадь сечения среза.

3. Микротвердость зерен клинкера сопоставима с твердостью материала режущего инструмента, что приводит к интенсивному износу задней поверхности режущего инструмента. Зерна расположены в геле, который выполняет роль связки. По существу, цементный камень может рассматриваться как абразивный материал, а процесс взаимодействия задней поверхности режущего инструмента с цементным камнем как процесс шлифования. Об этом свидетельствуют наблюдения износа задней поверхности режущего инструмента.

### Температурное поле в стружке

На основе системы (2) для расчета температурного поля в стружке получено выражение [5]

$$\theta_{\tilde{n}}(x, y) = (1 + \tilde{n}) \cdot \theta_a + \theta_{oi}(x, y) - \theta_{on}(x, y), \quad (8)$$

где  $x$ ,  $y$  – координаты точки, движущейся относительно стружки со скоростью схода последней;

$\theta_a$  и  $\theta_{oi}$  – температуры, вызванные соответственно теплотой деформации и теплотой трения на надрезочной стороне стружки;

$\theta_{on}$  – температура, возникающая как результат теплообмена стружки с резцом;

$c$  – коэффициент, учитывающий подогрев поверхностных слоев материала, из которого образуется стружка.

Рассмотрим определение слагаемых, входящих в уравнение (8).

Формула для расчета температуры в зоне деформации имеет вид

$$\theta_a = 10^4 \cdot \frac{\omega \cdot k}{\lambda \cdot \nu} \cdot b^* \cdot q_a, \quad (9)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала.

Интенсивность источника теплоты деформации  $q_d$  равномерно распределена по плоскости сдвига. Формула для расчета этого источника имеет вид

$$q_a = 10^2 \cdot \frac{\nu \cdot \sin \beta_1}{a \cdot b \cdot k \cdot c_{\text{де}}} \times \\ \times [(P_{Z_0} - P_{\text{де}}) \cdot (k - \sin \gamma) - P_{N_0} \cdot \cos \gamma]. \quad (10)$$

Определение температуры, возникающей в результате трения на передней поверхности режущего инструмента, производится на основании формулы расчета температуры от быстродвижущегося источника с комбинированным законом распределения интенсивности, действующего на поверхности полупространства с адиабатической поверхностью

$$\theta_{\text{де}} = 2,52 \cdot 10^2 \cdot \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{k \cdot l_n}{\nu}} \cdot q_0 \cdot T_1. \quad (11)$$

Интенсивность теплового потока от сил трения на надрезковой стороне стружки  $q_0$  определяется из выражения

$$q_0 = 1,6 \cdot 10^2 \cdot \frac{P_{N_0} \cdot \cos \gamma + (P_{Z_0} - P_{\text{де}}) \cdot \sin \gamma}{b \cdot l_n \cdot c_{\text{де}}} \cdot \frac{\nu}{k}. \quad (12)$$

Формула для расчета снижения температуры получена в предположении, что интенсивность стока теплоты равномерно распределена по поверхности контакта стружки с резцом

$$\theta_{\text{де}} = 3,57 \cdot 10^2 \cdot \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{k \cdot l_n}{\nu}} \cdot q_n \cdot T_2, \quad (13)$$

где  $q_n$  – интенсивность итогового теплового потока в резец со стороны передней поверхности.

Наибольший интерес представляет температура точек, расположенных на контактной площадке стружки с резцом. Для этих точек  $y = 0$  и уравнение (8) для этого случая с учетом выражений (11, 13) примет следующий вид

$$\theta_n = 2,52 \cdot 10^2 \cdot \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\hat{e} \cdot l_n}{\nu}} \times \\ \times (q_0 \cdot T_1 - 1,41 \cdot q_n \cdot T_2) + (1 + c) \cdot \theta_a. \quad (14)$$

Средняя температура на контактной площадке стружки рассчитывается по формуле

$$\theta_{\text{ср}} = 2,52 \cdot 10^2 \cdot \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\hat{e} \cdot l_n}{\nu}} \times \\ \times (q_0 \cdot T_1 - 1,41 \cdot q_n \cdot T_2) + (1 + c) \cdot \theta_a. \quad (15)$$

### Температура в обрабатываемом материале

Аналогично из системы (2) получена формула для расчета температурного поля в обрабатываемом материале

$$\theta_e(x_1, y_1) = (1 + \hat{n}) \cdot \theta_{\text{де}}(x_1, y_1) + \theta_{\text{де}}(x_1, y_1) - \theta_{\text{де}}(x_1, y_1), \quad (16)$$

где  $\theta_{\text{де}}, \theta_{\text{де}}, \theta_{\text{де}}$  – изменения температуры, вызванные соответственно теплотой деформации, теплотой трения на контактной площадке «резец-изделие» и теплообменом резца с изделием.

Наибольший интерес представляет температура точек, расположенных на площадке контакта «резец-изделие», для которых  $x_1 = 0$ . Для этих точек температура рассчитывается по формуле

$$\theta_e(0, y_1) = (1 + c) \cdot T_e \cdot \theta_a + 2,27 \cdot 10^2 \times \\ \times \frac{\sqrt{\omega \cdot l_c}}{\lambda \cdot \sqrt{\nu}} \cdot \psi_1 \cdot [(1,45 - \psi_1) \cdot q_1 - 1,54 \cdot q_c], \quad (17)$$

где  $q_1$  – интенсивность источника теплоты на площадке контакта изделия с режущим инструментом;

$q_3$  – интенсивность итогового потока в режущий инструмент со стороны задней поверхности;

$$\psi_1 = y_1 / l_3.$$

Средняя температура на площадке контакта «резец-изделие» рассчитывается по формуле

$$\theta_{\text{ср}} = (1 + \hat{n}) \cdot \theta_d \cdot T_{\text{ср}} + 1,3 \cdot 10^2 \times \\ \times \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{l_3}{\nu}} \cdot (q_1 - 1,82 \cdot q_3). \quad (18)$$

В результате взаимодействия задней поверхности режущего инструмента с абразивной составляющей обрабатываемого материала, имеющей высокую твердость частиц, происходит процесс, аналогичный шлифованию металлов в металлообработке. Закон распределения удельной касательной нагрузки при шлифовании описывается экспоненциальной кривой, имеющей уравнение

$$\sigma = \sigma_{\max} \cdot \exp(-m \cdot z_{1u}^2), \quad (19)$$

где  $z_{1u}$  – характеризует положение точек на поверхности контакта;  
 $m = 0,02, 1/\text{мм}^2$ .

Численное значение  $\sigma_{\max}$  ограничено из-за низкой адгезионной прочности на границе раздела древесина/цементный камень.

Закон распределения интенсивности теплообразующего источника имеет вид

$$q_1(y_1) = 2 \cdot 10^2 \frac{\sqrt{m} \cdot P_{z1}}{l_c \cdot \sqrt{\pi} \cdot \Phi[b \cdot \sqrt{m}]} \cdot \exp(-m \cdot z_{1u}^2), \quad (20)$$

где  $\Phi$  – модифицированная функция Лапласа.

### Температурное поле в резце

Наибольший интерес представляют средние температуры точек, расположенных на передней и задней поверхностях режущего инструмента. Среднее значение температуры на контактной площадке передней поверхности режущего инструмента рассчитывается по формуле

$$\theta_{\text{нпд}} = \frac{10^2 \cdot q_n \cdot l_n}{\lambda_p} \cdot M_1 + \frac{10^2 \cdot q_3 \cdot l_3}{\lambda_p} \cdot N_2. \quad (21)$$

Аналогично для контактной площадки задней поверхности режущего инструмента

$$\theta_{\text{зд}} = \frac{10^2 \cdot q_o \cdot l_3}{\lambda_o} \cdot N_1 + \frac{10^2 \cdot q_3 \cdot l_3}{\lambda_o} \cdot M_2, \quad (22)$$

где  $M_1, M_2$  – коэффициенты, отражающие темп распространения теплоты в режущем клине;

$N_1, N_2$  – коэффициенты, отражающие повышение температуры от источника, действующего на другой контактной площадке;

$\lambda_p$  – коэффициент теплопроводности материала режущего инструмента.

Полагая, что средние температуры контактных площадок со стороны режущего инструмента равны соответствующим средним температурам со стороны обрабатываемого материала и стружки, можно найти интенсивности неизвестных потоков  $q_n$  и  $q_3$  из решения системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \theta_{\text{нпд}} &= \theta_{\text{зд}}; \\ \theta_n(\psi) &= \theta_c(\psi) - \frac{q_n \cdot \Delta}{10 \cdot \lambda} \cdot \delta(\psi) \end{aligned} \right\}, \quad (23)$$

где  $\Delta \cdot \delta(\psi)$  – толщина заторможенного слоя в данной точке передней контактной площадки.

Приведенные выше формулы справедливы при резании однолезвийным инструментом. При резании многолезвийными инструментами (фрезерование) законы распределения интенсивности теплообразующих потоков в любой момент времени по форме такие же, как и при обработке однолезвийным инструментом. Поэтому эти формулы могут использоваться при тепловых расчетах процесса фрезерования, если учесть зависимость таких величин, как  $P_{z0}, P_{n0}, k, l_n, q_o, q_o$ , и толщины срезаемого слоя от угла поворота фрезы.

### Условные обозначения:

- $\omega$  – коэффициент температуропроводности,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;
- $\beta_l$  – угол сдвига;
- $\gamma$  – передний угол режущего инструмента;
- $P_{z0}, P_{n0}, P_z$  – соответственно тангенциальная и нормальная силы, действующие со стороны передней поверхности резца, и тангенциальная сила, действующая со стороны задней поверхности резца, Н;
- $a$  – толщина срезаемого слоя, мм;
- $b$  – ширина срезаемого слоя, мм;
- $l_n$  – длина контактных площадок соответственно передней и задней, мм;
- $\sigma_B$  – предел прочности, МПа;
- $T_u$  – безразмерная функция, описывающая закон распределения температур в изделии, вызванных деформацией;
- $b^*$  – коэффициент, учитывающий долю поступления теплоты деформации в стружку;
- $c$  – коэффициент, учитывающий подогрев поверхностных слоев материала.

### Библиографический список

1. Абразумов В.В. Особенности процесса резания цементно-стружечных плит: Сб. научн. тр. // Технология и оборудование для переработки древесины. – Вып. 326. – М.: МГУЛ, 2005.
2. Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины. Учебник. – М.: МГУЛ, 1999. – 226 с.
3. Резников А.Н. Теплофизика механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 288 с.
4. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. – Киев: Наукова думка. – 1970. – 239 с.
5. Резников А.Н. Теплофизика резания. Машиностроение. – 1969. – 288 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСТРЫ ЛЬНА В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННОЙ ФАНЕРЫ

С.А. УГРЮМОВ, доц. каф. механизации технологии деревообработки КострГТУ, канд. техн. наук

Одной из важнейших задач, стоящих перед деревообрабатывающей промышленностью, является снижение себестоимости продукции. В фанерном производстве рациональное использование сырья позволяет снижать общие материальные затраты, т.к. в общей стоимости фанеры доля сырьевых материалов занимает первое место. Как правило, стоимость фанерного сырья в себестоимости фанеры составляет 40–45 % [1].

Вовлечение в фанерное производство всех отходов лесопиления, деревообработки, лесозаготовок и перерабатывающих производств сельского хозяйства также способствует снижению себестоимости продукции и позволяет эффективно утилизировать образующиеся отходы [2].

Сельскохозяйственные отходы (костра льна, конопля, солома, отходы переработки зерновых культур и т.п.) не находят широкого применения в производстве клееных материалов. Как правило, дискретные сельскохозяйственные отходы (в частности, костра) сжигаются для производства тепловой энергии или вывозятся на поля запахивания. Однако они являются дешевым сырьем для производства плит и других прессованных материалов высокого качества.

Главные препятствия на пути эффективного применения отходов сельского хозяйства в плитном производстве – отсутствие специализированных мощностей по их переработке, нерациональное расположение и отдаленность друг от друга источников образования отходов. Сбор и транспортирование отходов на крупные предприятия зачастую затруднены и экономически невыгодны.

Для наиболее полного вовлечения сельскохозяйственных отходов в промышленное производство необходимо, наряду с

крупными предприятиями, создавать мелкие производства по выпуску плитных материалов. Это позволит увеличить выпуск материалов для строительства и мебельного производства, снизить или исключить транспортные затраты на перевозку сырья, утилизацию и сжигание отходов, улучшить экологическую обстановку.

Эффективным материалом для изготовления плит является льняная костра. Это объясняется рядом ее положительных свойств.

1. Льняная костра содержит много стойких химических соединений – лигнин, целлюлоза, высокополимерные пентозаны. Так, в льняной костре содержится до 64 % целлюлозы, тогда как в древесине лиственных пород ее содержится до 47 %, в хвойных породах – до 58 % [3, 4].

2. Частицы костры образуют фракцию, пригодную для использования в плитном производстве.

3. Частицы костры способны склеиваться, поскольку в состав костры входит как основной компонент целлюлоза. В костре древесные волокна расположены параллельно длине частиц, чего не наблюдается у других видов сырья. Костра имеет гладкую малопористую поверхность, поэтому при склеивании ее частиц требуется немного смоляного клея. Толщина отдельных костринок незначительна, что позволяет получать плиты с гладкой поверхностью без дополнительной обработки (шлифования) или с незначительной обработкой.

4. Стоимость костры как сырья гораздо ниже стоимости древесины, поэтому, с экономической точки зрения, ее использование будет способствовать снижению цены на готовые плиты.

5. С технологической точки зрения, использование костры позволит уменьшить затраты на производство плит за счет изменений в технологическом процессе. На стадии подготовки сырья костра не требует дополнительного измельчения, поскольку размеры частиц соответствуют требованиям для производства плит. Костра реализуется льноперерабатывающими предприятиями с начальной влажностью от 12 % до 30 % [4], что позволяет снизить затраты на сушку по сравнению с затратами на сушку древесных частиц.

Актуальность использования костры в производстве плитных материалов обусловлена, кроме того, тем, что в настоящее время наблюдается значительный рост производства и переработки льна, особенно в районах Костромской области, что обусловлено повышенным интересом к производству льняных тканей и одежды, обладающей высокими гигиеническими свойствами.

Использование костры льна для производства костооплит описано в литературе [5, 6]. Нами предлагается использовать костру в производстве композиционной фанеры, наружные слои которой состоят из лущеного шпона, а внутреннее заполнение – из клеевой композиции на основе костры.

При изготовлении композиционной фанеры необходимо создание комплекса оборудования, на котором по конвейерной технологии будет происходить формирование пакетов и их горячее прессование. Тех-

нологический процесс при этом должен включать следующие операции:

- 1) комплекс предварительных операций по подготовке древесного шпона, костры льна, клеевых материалов;
- 2) нанесение клея на промежуточные слои шпона;
- 3) формирование наружного слоя фанеры путем укладки сухого наружного слоя и перпендикулярного промежуточного слоя с клеем;
- 4) насыпка на сформированные листы шпона внутреннего слоя из костры с клеем;
- 5) контроль массы пакета;
- 6) холодная подпрессовка пакета;
- 7) накрывание пакета слоем шпона с клеем и перпендикулярным слоем без клея;
- 8) горячее прессование брикета;
- 9) комплекс послепрессовой обработки фанеры (охлаждение, форматная обрезка, шлифование, сортировка и др.).

В лабораторных условиях были проведены опытные запрессовки фанеры, собранной по схеме, представленной на рисунке.

Для производства образцов фанеры использовался лущеный березовый шпон номинальной толщиной 1,5 мм и клеевая композиция на основе костры льна. Общая номинальная толщина образцов составляла 12 мм, формат образцов – 320 × 320 мм<sup>2</sup>. При расчете компонентов для внутреннего слоя был использован принцип расчета составляющих применительно к производству древесно-стружечных плит.

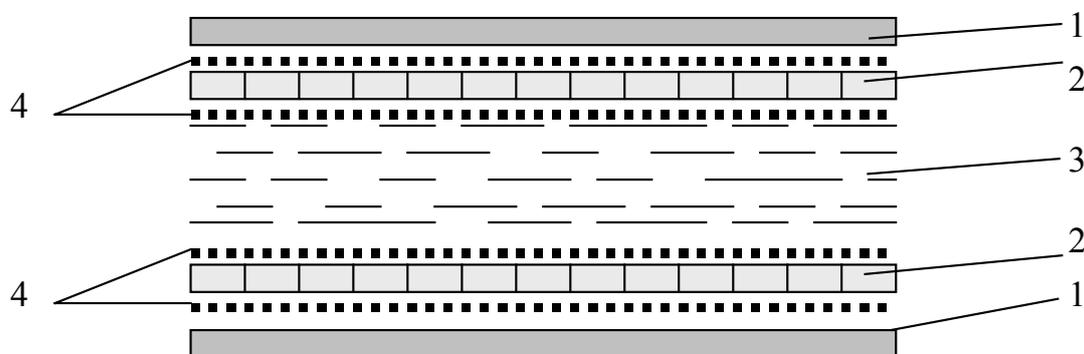


Рисунок. Схема сборки композиционной фанеры: 1 – листы продольного шпона; 2 – листы поперечного шпона; 3 – клеевая композиция на основе костры льна; 4 – поверхностный слой клея

**Результаты испытаний композиционной фанеры**

№ п/п	Наименование показателя	Величина показателей		
		Композиционная фанера	Фанера общего назначения марки ФК	Древесно-стружечная плита марки П-А
1	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	721	680–740	550–820
2	Предел прочности при изгибе, МПа	84	55	18
3	Разбухание по толщине после 24 часов вымачивания, %	10,4	10–20	22
4	Объемное разбухание после 24 часов вымачивания, %	14,6	15–25	–
5	Водопоглощение после 24 часов вымачивания, %	49,0	–	30–90

Расчетная плотность внутреннего слоя была принята на уровне 800 кг/м<sup>3</sup>, при этом масса костры с учетом ее начальной влажности составила 442 г на образец.

В качестве связующего была принята карбамидоформальдегидная смола. Для изготовления внутреннего слоя в состав клеевой композиции был введен клей из расчета 20 % от массы абсолютно сухой костры, что составило 163 г жидкого клея. Для склеивания листов лущеного шпона между собой и связывания клеевой композиции с внутренними слоями шпона использовалась двухсторонняя поверхностная намазка листов поперечного шпона из расчета 120 г клея на 1 м<sup>2</sup> поверхности.

Прессование образцов велось в гидравлическом прессе П100-400 с применением ограничительных прокладок для фиксации толщины образца при следующих режимах:

- температура плит пресса – 140 °С;
- удельное давление прессования – 2 МПа;
- продолжительность выдержки под давлением – 6 мин.

После выгрузки фанеры из пресса и ее нормализации в течение 1 суток проводился ее раскрой на образцы для определения физико-механических свойств. Результаты испытаний в сравнении с гостирован-

ными показателями фанеры общего назначения и древесно-стружечных плит представлены в таблице.

Результаты испытаний показали, что композиционная фанера на основе березового шпона и заполнителя на основе костры льна обладает высокими физико-механическими свойствами, поэтому она может найти широкое применение в строительстве, вагоно- и контейнеростроении, а также в мебельной промышленности.

**Библиографический список**

1. Минин А.Н. Пути рационального использования сырья на деревообрабатывающих предприятиях. – Минск: Редакция научно-технической литературы, 1955. – 169 с.
2. Стрелкова В.П., Новикова О.М. Линии малой мощности для производства плит и других прессованных изделий из древесных и сельскохозяйственных отходов // *Деревообрабатывающая пром-сть*, 1993. – № 6. – С. 21–22.
3. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М: Лесная пром-сть, 1986. – 386 с.
4. Справочник по заводской первичной обработке льна. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 511 с.
5. Марков В.В. Первичная обработка льна и других лубяных культур. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 375 с.
6. Суслов Н.Н. Проектирование предприятий первичной обработки лубяных волокон. – М: Легкая индустрия, 1973. – 375 с.

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Б.Л. СПИРИН, *ст. преподаватель каф. сопротивления материалов МГУЛ,*  
Д.В. ТУЛУЗАКОВ, *доц. каф. сопротивления материалов МГУЛ, канд. техн. наук*

**К**ондиционирование композиционных материалов является одной из наиболее ответственных технологических операций, следующей за прессованием и во многом определяющей конечные физико-механические свойства изделий.

Исследование этой стадии на оптимизационных моделях обеспечит создание материалов с лучшими теплофизическими и структурно-механическими свойствами, а также позволит рассчитывать наиболее экономичные программы выпуска изделий и создаст возможность успешного решения экологических проблем.

Структурно-механические и теплофизические свойства композиционных материалов самым существенным образом определяются полями температуры и влажности.

Основная цель кондиционирования композиционных материалов – выравнивание температурных и влажностных полей и, как результат этих процедур, снятие внутренних напряжений. Как технологическая операция кондиционирование включает в себя охлаждение изделия с последующей его акклиматизацией, поскольку повышенные температура и влажность приводят к деформации связующего и, как следствие, к понижению прочности материала, а наличие градиентов влажности и температуры предопределяет возникновение внутренних напряжений, от которых зависит целостность изделий и степень сохранения ими своих физико-механических свойств.

Основные физические процессы, сопровождающие кондиционирование композиционных материалов, подобны соответствующим температурным и влажностным процессам стадии прессования. Однако су-

щественное отличие их состоит в том, что они протекают при значительно более низких температурах, а это приводит к тому, что основу массопереноса составляет диффузионная составляющая.

Один из распространенных способов акклиматизации композиционных изделий – их выдержка в плотных стопах, в которые они укладываются после прессования. Однако этой операции, как правило, предшествует конвективное охлаждение изделий, где между изделиями можно устанавливать определенного размера воздушные каналы.

Повышение точности определения температурно-влажностных полей, возникающих в структуре материала, определение оптимальных режимов кондиционирования возможно лишь при условии совместного решения задачи тепломассопереноса, описывающей динамику поведения температурно-влажностных полей внутри изделия (внутренней задачи), и задачи, связанной с определением параметров массового потока, обдувающего изделие, и определяющей граничные условия для первой задачи, т.е. внешней задачи.

Исследование показывает, что пользоваться только некоторыми средними значениями параметров обдувающего потока (температурой потока, его влажностью) совершенно недостаточно, ибо эти параметры претерпевают существенные изменения при прохождении этого потока вдоль изделия. Поэтому строгое рассмотрение задачи расчета этапа кондиционирования должно быть проведено в рамках решения сопряженной задачи, когда динамика состояния композита и состояния охлаждающей среды описывается единой системой дифференциальных уравнений.

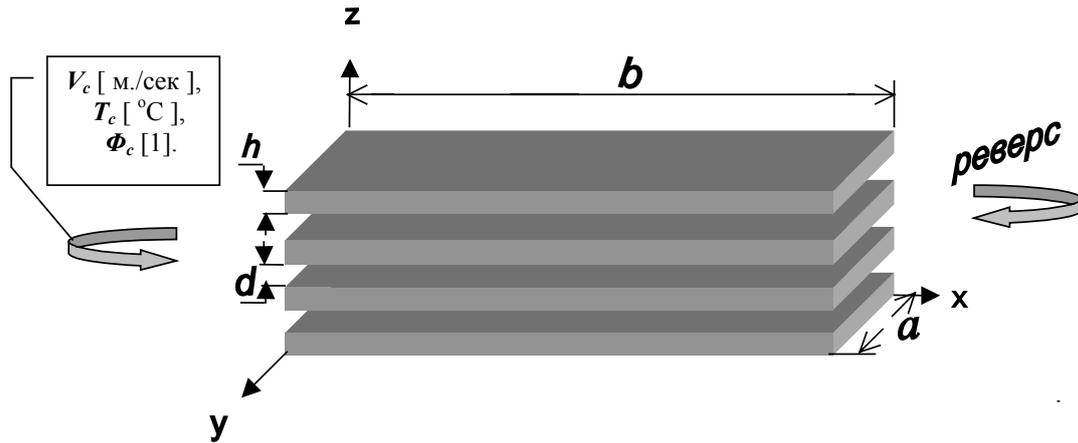


Рис. 1

**Модель состояния охлаждающей среды в объеме пакета**

Выведем систему уравнений, характеризующую состояние воздушной среды, исходя из баланса по теплу и влаге. Будем рассматривать охлаждаемое изделие как пакет (рис. 1), между отдельными плитами которого есть воздушные каналы высотой  $d$  (м).

В направлении оси  $X$  движется охлаждающая среда со скоростью  $v_c$ , которая в общем случае зависит от координаты  $X$ . Тепловой поток от отдельной плиты пакета, расположенной параллельно плоскости  $XOY$ , может быть определен в соответствии с законом теплопередачи Ньютона

$$\Delta Q / \Delta \tau = \alpha \cdot (t_n - t_c) \cdot \Delta x \cdot \Delta y, \quad (1)$$

где  $\Delta x \cdot \Delta y$  – элементарная площадка на плите, которая отдает тепло среде (м);

$\alpha$  – коэффициент теплообмена плиты со средой (Вт/(м<sup>2</sup>·К));

$t_n$  – температура элемента поверхности плиты (К);

$t_c$  – температура среды над элементом поверхности (К).

Этот тепловой поток, имеющий плотность  $\rho_c$  (кг/м<sup>3</sup>) и удельную теплоемкость  $C_c$  (Дж/(кг·К)), изменит в элементе объема  $\Delta V$  (м<sup>3</sup>) за время  $\Delta \tau$  (с) температуру охлаждающей среды на  $\Delta t_c$  (К), т.е.

$$\begin{aligned} \Delta Q / \Delta \tau &= \Delta V \cdot \rho_c \cdot C_c \cdot \Delta t_c \cdot \frac{1}{\Delta \tau} = \\ &= \frac{d}{2} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \rho_c \cdot C_c \cdot \Delta t_c \cdot \frac{1}{\Delta \tau} \quad (2) \end{aligned}$$

Следовательно, дифференциальное уравнение, описывающее градиент температуры среды в направлении оси  $X$ , запишется как

$$\frac{\partial t_c}{\partial x} = \frac{2 \cdot \alpha \cdot (t_c - t_n)}{d \cdot v_c \cdot \rho_c \cdot C_c}. \quad (3)$$

При составлении балансового уравнения относительно влаги, которая может как испаряться, так и поглощаться, будем исходить из следующего: выделим в воздушном потоке элементарный параллелепипед с ребрами  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $d/2$ , в который за время  $\Delta \tau$  с поверхности  $\Delta x \cdot \Delta y$  испарится масса влаги (кг) [2]

$$\Delta m = \beta \cdot \rho_0 \cdot (u_n - u_p) \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta \tau, \quad (4)$$

где  $\beta$  – массообменный коэффициент (м/с);

$\rho_0$  – плотность сухого композита (кг/м<sup>3</sup>);

$u_n$  – влагосодержание на поверхности плиты (1);

$u_p$  – равновесное влагосодержание (1).

Эта влага изменит в элементарном объеме  $\Delta V$  массу влажного воздуха на величину  $\Delta m = \frac{d}{2} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta \rho_n$ , откуда, учитывая, что  $\frac{\partial x}{\partial \tau} = v_c$  – скорость охлаждающего потока, дифференциальное уравнение массообмена можно представить в виде

$$\frac{\partial \rho_n}{\partial z} = \frac{2 \cdot \beta \cdot \rho_0 \cdot (u_n - u_p)}{d \cdot v_c}, \quad (5)$$

где  $\rho_0$  – плотность сухого композита,

$\rho_c$  – плотность потока среды.

Начальные условия, касающиеся состояния среды, обычно задаются в виде температуры среды  $T_c$  (м/с) на входе пакета, скорости воздушного потока  $V_c$  (м/с) и его начальной влажности  $\varphi_c$ , которая связана с плотностью среды известным соотношением

$$\varphi_c = \rho_c / \rho_{п.н.}, \quad (6)$$

где  $\rho_{п.н.}$  – плотность насыщенного пара.

В свою очередь,  $\rho_{п.н.}$  находят из выражения

$$\rho_{п.н.} = \frac{P_{п.н.}}{R \cdot t_c}, \quad (7)$$

где  $P_{п.н.}$  – давление насыщенного пара (Па);

$R$  – газовая постоянная (Дж/(кг·°К)).

Одной из важнейших характеристик влажного пористого тела является равновесное влагосодержание [2]. Оно входит как в граничные и начальные условия, так и в систему дифференциальных уравнений тепло-массопереноса. Зависимость равновесного влагосодержания от температуры и влажности воздуха является исходной для определения термодинамических параметров массопереноса.

Экспериментально установлена следующая аппроксимация этой зависимости:

$$U_p = k^{o_c} (m - n \cdot t_c), \quad (8)$$

где  $k$ ,  $m$ ,  $n$  – некоторые экспериментальные константы.

Таким образом, модель состояния среды может быть задана системой (3), (5), (8), которая относительно температуры среды и ее влажности в некоторый фиксированный момент времени представляет собой систему дифференциальных уравнений. Эта система может быть проинтегрирована численно, а ее результаты (температура среды и влажность среды) доопределяют сопряженную задачу, с помощью которой и формируются граничные условия для задачи тепло-массопереноса при кондиционировании.

### Внутренняя задача

Система уравнений относительно переменных состояния плиты может быть записана следующим образом [2]

$$C(U, T) \cdot \rho_0(U, T) \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda(U, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right], \quad (9)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial x} - a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (10)$$

где  $C(U, T)$  – удельная теплоемкость плиты (Дж/(кг·К));

$\rho_0(\sigma, U, T)$  – плотность каркаса плиты (кг/м<sup>3</sup>);

$\lambda(U, T)$  – теплопроводность плиты по координате  $x$  (Вт/(м·К));

$a_m(U, T)$  – коэффициент влагопроводности плиты (м<sup>2</sup>/с);

$\delta(U, T)$  – термоградиентный коэффициент (1/К);

$T$  – температура плиты (К);

$U$  – влагосодержание плиты [1].

Сопряженная задача (граничные условия)

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T(x, y, o, \tau)}{\partial z} + \alpha \cdot (T_c - T(x, y, o, \tau)) = 0, \quad (11)$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T(x, y, h, \tau)}{\partial z} + \alpha \cdot (T_c - T(x, y, h, \tau)) = 0, \quad (12)$$

$$-(a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial z} + a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial z})_{z=o} = \beta \cdot (U_{z=o} - U_p), \quad (13)$$

$$-(a_m \cdot \frac{\partial U}{\partial z} + a_m \cdot \delta \cdot \frac{\partial T}{\partial z})_{z=h} = \beta \cdot (U_{z=h} - U_p), \quad (14)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплообмена плиты со средой;

$\beta$  – коэффициент массообмена плиты со средой;

$h$  – размер плиты по координате  $Z$ .

Таким образом, система уравнений (1) – (14) представляет собой замкнутую математическую модель, позволяющую всесторонне исследовать процесс кондиционирования плитных композиционных материалов [2, 3].

### Модельный пример

Проверка работоспособности модели была проведена при следующих исходных данных:

длина плиты, (м) – 4;

толщина плиты, (мм) – 20;

высота воздушного канала, (мм) – 20;

начальная влажность плиты, (1) – 0,1;

начальная температура плиты, (°С) – 80;

базовая плотность плиты, (кг/м<sup>3</sup>) – 700.

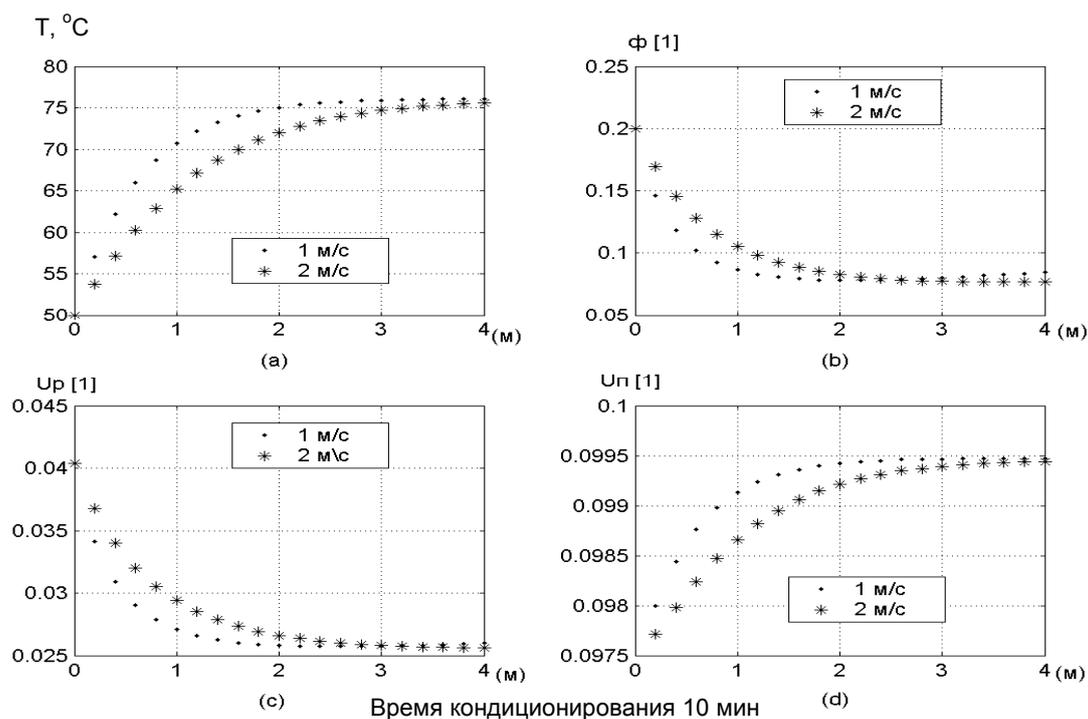


Рис. 2. Распределение температурных и влажностных полей среды и на поверхности плиты в 2-х режимах кондиционирования ( $v = 1$  м/с и  $v = 2$  м/с): а) распределение температуры воздушного потока вдоль плиты; б) распределение влажности воздуха вдоль плиты; в) распределение равновесного влагосодержания вдоль плиты; д) распределение влагосодержания поверхности плиты

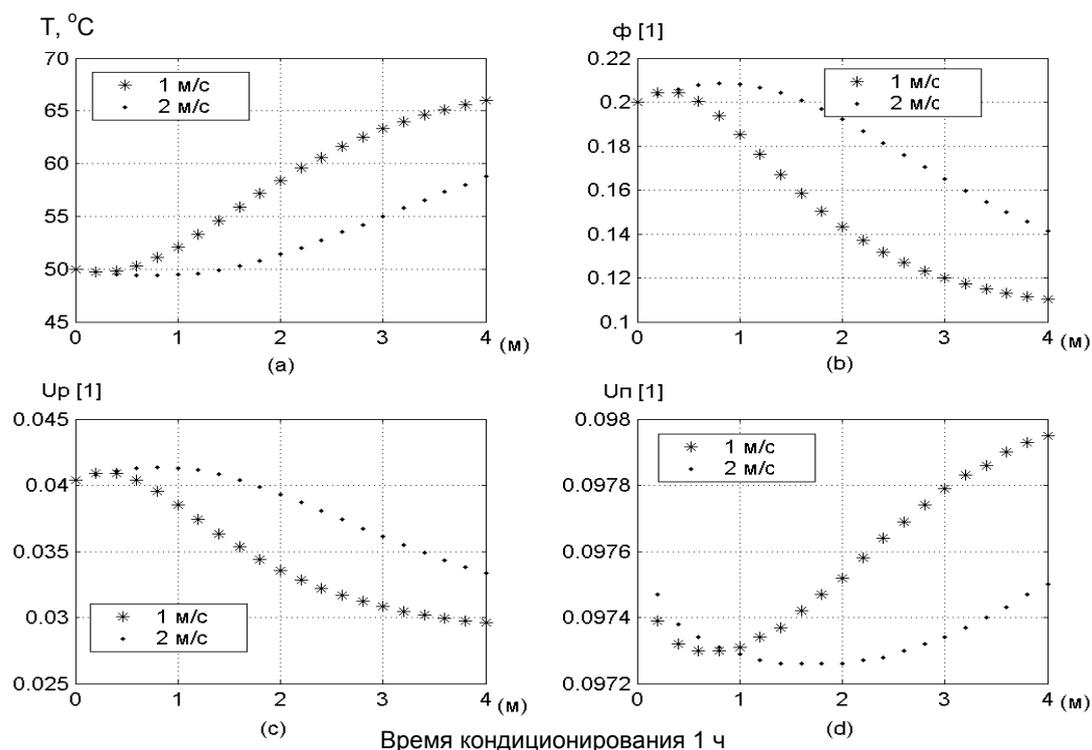


Рис. 3. Распределение температурных и влажностных полей среды и на поверхности плиты в 2-х режимах кондиционирования ( $v = 1$  м/с и  $v = 2$  м/с): а) распределение температуры воздушного потока вдоль плиты; б) распределение влажности воздуха вдоль плиты; в) распределение равновесного влагосодержания вдоль плиты; д) распределение влагосодержания поверхности плиты

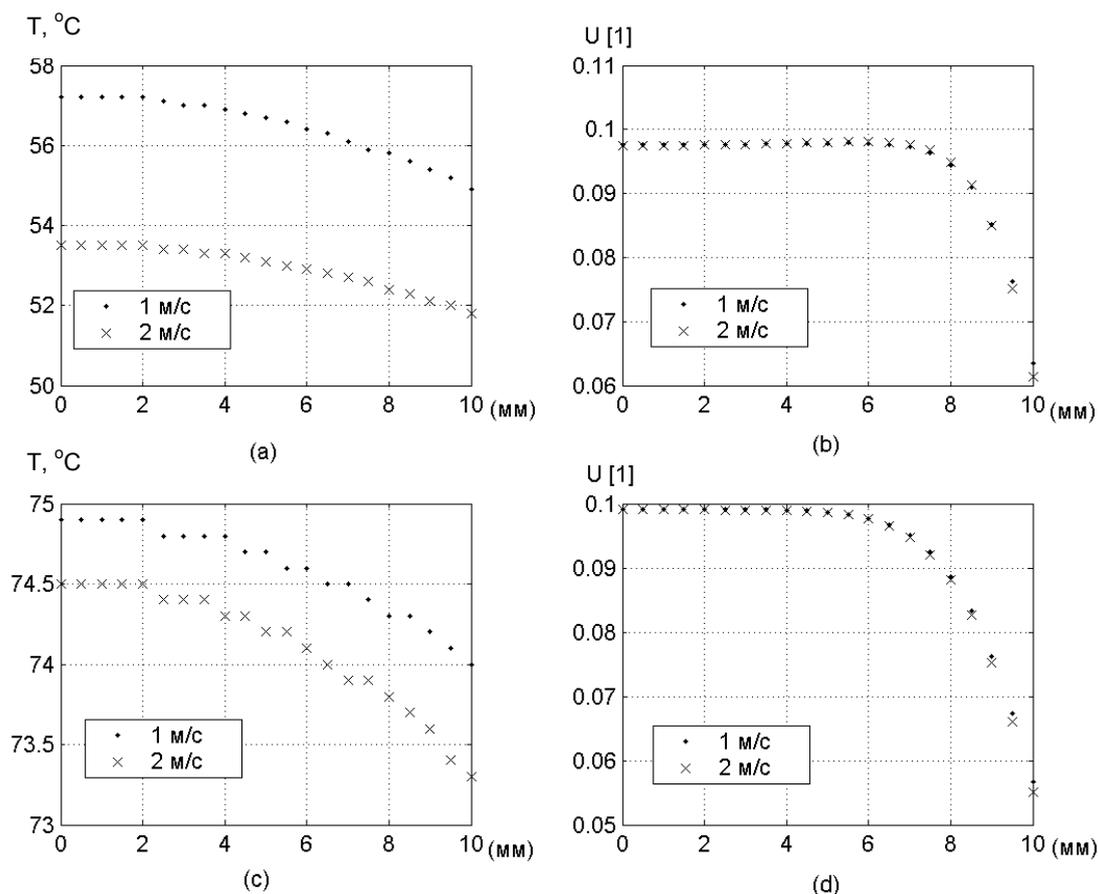


Рис. 4. Распределение температурных и влажностных полей в плите в 2-х режимах кондиционирования ( $v = 1$  м/с и  $v = 2$  м/с): а) распределение температуры в плите (в точке  $x = 0,1$  м,  $\tau$  процесса = 120 мин); б) распределение влагосодержания в плите (в точке  $x = 0,1$  м,  $\tau$  процесса = 120 мин); в) распределение температуры в плите (в точке  $x = 3,9$  м,  $\tau$  процесса = 20 мин); д) распределение влагосодержания в плите (в точке  $x = 3,9$  м,  $\tau$  процесса = 20 мин)

Результаты моделирования (рис. 2, 3, 4) наглядно показывают, что часто принимаемое в исследованиях допущение о постоянстве полей температуры и влажности по координате  $X$  (рис. 1) (т. е. в одномерном случае) вносит значительные ошибки в конечный результат. Поэтому проведение расчетов по предлагаемой модели позволит существенно скорректировать и уточнить результаты моделирования, а также более объективно обосновать выбор оптимальных режимов управления кондиционированием. Следует заметить, что никаких ограничений на форму воздушного канала в данной моде-

ли не накладывалось, а его размеры могут быть функцией координаты  $X$ . В силу симметрии полей температуры и влажности по толщине плит графики на рис. 4 представлены лишь для половины плиты, где координата  $x = 0$  соответствует середине плиты.

### Библиографический список

1. Алифанов О.М. Обратные задачи теплообмена. – М.: Машиностроение, 1988. – 279 с.
2. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.
3. Солодов А.П., Очков В.Ф. МATHCAD: Дифференциальные модели. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 238 с.

## НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТИОНИТОВ ИЗ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ БИСУЛЬФИТНОЙ ВАРКИ

И.С. ГЕЛЕС, *ПетрГУ, канд. техн. наук,*  
М.А. КОРЖОВА, *вед. химик ПетрГУ*

Ранее было показано, что из лигносульфонатов, образующихся при варке еловой древесины бисульфитным способом на натриевом основании, были получены катиониты разной степени сшивки [1, 2]. Причем для экспериментов были использованы образцы ЛСТ (лигносульфонат технический) ОАО «Кондопога». Одной из особенностей предлагаемой технологии является, как отмечалось [1], относительно невысокая степень декатионирования исходного раствора ЛСТ, что должно было сказаться на содержании зольного остатка катионита – продукта конденсации лигносульфонатов и некоторых других специально добавленных веществ. Хотя процесс конденсации протекал в кислой среде, последующая промывка полимерного катионита не привела к существенному снижению зольного остатка, как это следует из данных табл. 1, – зольность катионитов остается высокой. Как известно, основной характеристикой катионитов является их обменная емкость, определяемая, главным образом, содержанием кислотных функциональных групп, наличие которых в первом приближении связывается с присутствием серы (сульфоксильных групп). Определение статической обменной емкости (СОЕ) показало, что у катионитов редкой сшивки ее значение выше, нежели у поликон-

денсатов частой сшивки. Заслуживает внимания то обстоятельство, что величины СОЕ у катионитов редкой сшивки превышают аналогичные значения ее (3,5–4,5 мг-экв/г по NaOH) у катионитов, получаемых по ранее известным способам [3, 4].

В связи с высокой зольностью катионитов независимо от вида сшивки решено было проследить, как влияет ее снижение на величину СОЕ. При проведении экспериментов было установлено, что довести зольность катионитов до низких значений (0,1 % и менее) не представляется возможным при концентрациях кислот, рекомендуемых для этих целей [4]. Наилучшие результаты были получены при действии 5 %-го раствора соляной кислоты, когда зольность у катионитов редкой сшивки снизилась с 5,64 % до 0,37 % (табл. 2). Для катионитов частой сшивки она осталась высокой – 1,86–2,27 %, хотя и уменьшилась в несколько раз по сравнению с исходным содержанием (табл. 2). Определение СОЕ показало существенно возросшие значения, особенно резко она увеличилась у катионита редкой сшивки – с 5,96 мг-экв/г до 14,26 мг-экв/г по 0,1 н раствору NaOH, что более, чем в 3 раза, превышает ее величину у катионитов из лигносульфонатов кислой сульфитной варки [3, 4].

Т а б л и ц а 1

### Краткая характеристика исходных катионообменных материалов

Образец	Характер сшивки	Зольность, % от а.с.н.	Сера, % от а.с.н.	СОЕ по 0.1 н р-ру NaOH, мг-экв/г а.с.н.	Примечание
Обр. 4	редкая	4,83	4,05	5,34	после получения
Обр. 5	редкая	6,73	4,43	6,22	после получения
Ср. проба	редкая	5,64	–	5,96	после многократного использования
Обр. 9	частая	6,25	4,27	3,68–4,53	после получения
Обр. 10	частая	6,46	4,47	3,68–4,05	после получения

**Содержание золы, серы и значения СОЕ у образцов катионитов после перевода их в Н<sup>+</sup>-форму**

Образец	Характер сшивки	После перевода в Н <sup>+</sup> -форму			Зольность после определения СОЕ, % от а.с.н.
		зольность, % от а.с.н.	сера, % от а.с.н.	СОЕ по 0.1 н р-ру NaOH, мг-экв/г а.с.н.	
Ср. проба	редкая	0,37	5,12	14,26	13,97
Обр. 9	частая	1,86	4,36	6,82	6,11
Обр. 10	частая	2,27	4,78	7,44	7,54

Можно отметить также, что, несмотря на повышенную зольность, СОЕ у катионитов частой сшивки больше соответствующего показателя катионообменных смол, получаемых по ранее предложенным технологиям [3, 4]. Катиониты после определения статической обменной емкости промывали на фильтре до полного удаления ионов хлора (что свидетельствовало также об отсутствии катионов) с целью последующего прямого доказательства возрастания у них зольного остатка за счет обмена ионов водорода на натрий. При промывке катионитов было обращено внимание на то обстоятельство, что цвет промывной воды у поликонденсата редкой сшивки не изменялся (близок к нейтральному), тогда как у продуктов частой сшивки он вновь характеризовал кислую среду, так что дополнительно пришлось титровать «запоздавшие» ионы водорода. Подобный ход обменного процесса свидетельствует, очевидно, о наличии у катионитов частой сшивки кислотных групп с различной степенью доступности и/или обменной способности. Результаты определения зольности у катионитов показали значительное ее возрастание по сравнению с исходными значениями, когда основное количество кислотных групп находилось в водородной форме. Особенно резко выросла зольность у образца катионита редкой сшивки, что согласуется с его наивысшим значением СОЕ (табл. 2). Нужно также отметить, что имеется определенная зависимость между содержанием серы у катионита и его СОЕ: чем больше серы (сульфоксильных групп), тем выше и величина СОЕ. Ранее отмечалось, что катиониты, получаемые по новым предлагаемым способам, обладают более высокой СОЕ, нежели лигно-

сульфоновые смолы традиционных технологий. Очевидно, дальнейшее снижение зольности у катионитов должно привести к еще большему росту СОЕ. Возможно, трудности с удалением катионов связаны как с особенностями строения вновь образующегося полимерного материала пространственной структуры, так и с наличием ионов тяжелых металлов, присутствие которых характерно для бисульфитных щелоков и соответственно технических лигносульфонатов ОАО «Кондопога». О необходимости предотвращения попадания ТМ в катиониты из лигносульфонатов отмечалось, например, в работе [4].

Таким образом, показано, что из лигносульфонатов бисульфитной варки на натриевом основании при введении некоторых добавок, в том числе веществ сточных вод того же сульфит-целлюлозного предприятия, можно получать катиониты с широким диапазоном свойств, в частности, с повышенной статической обменной емкостью.

#### Библиографический список

1. Гелес И.С. Новые возможности получения катионитов из лигносульфонатов (на примере сульфитных щелоков ОАО «Кондопога») // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2004. – № 1. – С. 105–110.
2. Гелес И.С., Коржова М.А. К вопросу разработки технологии получения катионитов из лигносульфонатов бисульфитной варки ели на натриевом основании с минимизацией ущерба поверхностным водам // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2003. – № 5. – С. 86–88.
3. Цыпкина М.Н., Махновецкая Г. И., Сергеева В. В. Об «активной» и «неактивной» сере катионитов // ЖПХ. – Т. XXXV. – Вып. 11. – 1962. – С. 2440–2444.
4. Христюк И.А., Тихомирова Н.Г., Махновецкая Г.И., Ардашникова В.М. Получение катионообменной смолы из сульфитных щелоков // Сб. тр. ВНИИБ. – Вып. 57. – М., 1970. – С. 94–102.

## ВОЗДЕЙСТВИЕ КАВИТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА НА ГИДРОБИОНТЫ

А.Ю. МАНУКОВСКИЙ, доц. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, канд. техн. наук

Кавитационный процесс – это образование полостей в жидкости и их замыкание. Он возникает в кавитационных течениях с зонами разрежения и резкими перепадами давлений (Кнэпп, 1974). Внутри среды этот процесс появляется на ядрах кавитации, которыми могут быть газовые пузырьки (газовая кавитация) либо несмачиваемые взвешенные частицы (паровая кавитация). На ядрах образуются полости в зонах разрежения, затем замыкающиеся в зонах положительного давления жидкости. На поверхности обтекаемых элементов при определенных условиях могут возникать обширные каверны (суперкавитация), при которых изменяется геометрия обтекания и которые периодически срываются и захлопываются в зонах положительных давлений. Такая кавитация сопровождается вихреобразованием, пульсациями давлений в потоке и на обтекаемых поверхностях проточной части. Суперкавитация в проточных каналах гидромашин не допускается. Поэтому эксплуатационные параметры гидротурбин назначаются с учетом ограничений по кавитации, для чего проводятся обязательные кавитационные испытания на специальных стендах моделей рабочих колес, при которых определяются их кавитационные свойства.

Кавитационные свойства гидротурбин характеризуются кавитационным коэффициентом  $\sigma_T$ , который пропорционален отношению динамического разрежения на лопастях рабочего колеса к напору. Определение  $\sigma_T$  сводится к нахождению минимально предельных значений высот отсасывания  $h_S$  (рис. 1) во всем поле энергетической характеристики гидротурбины, при которой еще не меняются основные параметры модели тур-

бины: момент на валу рабочего колеса, напор, расход, частота вращения.

Условия возникновения кавитации в гидротурбинах устанавливаются через барометрическое давление  $B$ , высоту отсасывания  $h_S$ , напор  $H$  и  $H_{Bn}$  – давление насыщенных паров воды при данной температуре. Рассчитывается величина, которая называется коэффициентом установки

$$\sigma_{\text{ано}} = \frac{A - h_S - H_{Bn}}{H} \quad (1)$$

Кавитация в гидротурбинах не наступает до тех пор, пока  $\sigma_{\text{уст}} \geq \sigma_T$ .

Это условие не следует понимать в прямом смысле. Здесь имеется в виду, что отсутствие кавитации при выполнении указанного условия означает следующее: при высоте отсасывания  $h_S$  в проточной части турбины не возникают такие сплошные каверны с насыщенными парами воды, которые могли бы исказить геометрию обтекания проточных элементов турбины и привести к изменению ее эксплуатационных параметров.

Существует начальный этап кавитации, так называемый пузырьковый, который не оказывает влияния на параметры турбин, но разрушает материалы деталей проточной части турбины (кавитационная эрозия). Такая кавитация проявляется почти на всех гидромашинах, в том числе и в турбинах низконапорных ГЭС, и, как правило, за рабочим колесом на границе с камерой отсасывания трубы. Примером может служить турбина Саратовской ГЭС (напор 10 м), где от кавитации разрушается звено стальной обшивки, переходящее в камеру отсасывающей трубы. Рассмотрим более подробно кавитацию, которая постоянно сопровождает рабочий процесс при эксплуатации гидромашин.

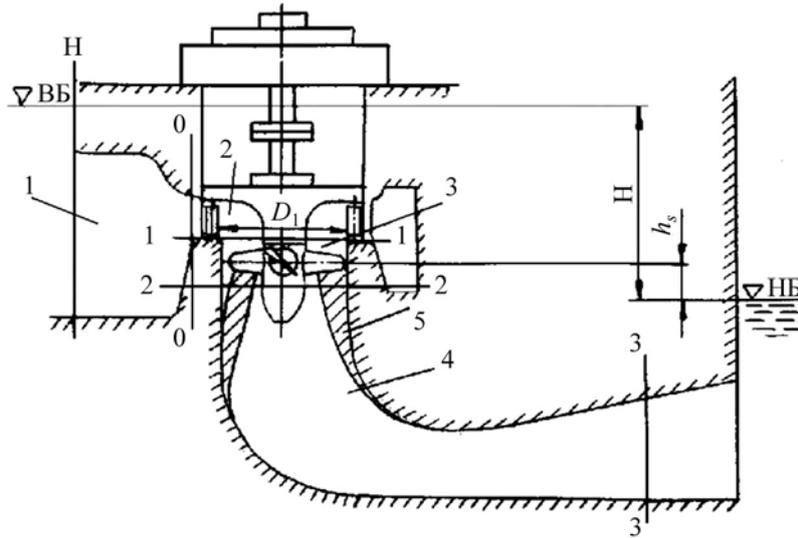


Рис. 1. Схема гидроагрегата и зона воздействия: 1 – подводящая камера; 2 – турбинная камера; 3 – зона рабочего колеса; 4 – отсасывающая труба; 5 – зона разрежения; К – переход к нижнему бьефу (НБ); ВБ – верхний бьеф

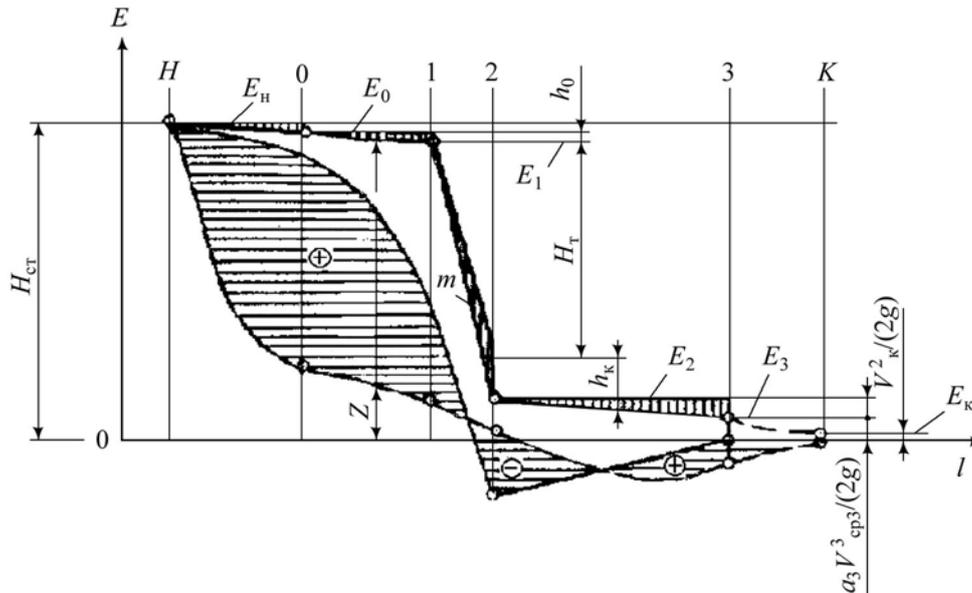


Рис. 2. Изменение механической удельной энергии жидкости по длине проточной части турбины

Согласно диаграмме удельной энергии, поток воды имеет три основные зоны (рис. 2): I – зона сжатой жидкости до рабочего колеса, II – зона разрежения за рабочим колесом, III – зона сжатой жидкости в отсасывающей трубе.

Ядрами кавитации могут быть, как принято считать, пузырьки воздуха либо взвешенные частицы с несмачиваемой поверхностью. В научной литературе обсуждаются различные гипотезы об источниках зародышей кавитации. Это связано с тем,

что в естественных условиях зародыши кавитации в виде пузырьков воздуха и частиц очень малы по размерам (доля микромметра) и на таких ядрах в работающих гидромашинах не может развиваться кавитация, тогда как элементы проточной части машины разрушаются от кавитации. Большие пузырьки (если по какой-либо причине они появятся), на которых может развиваться кавитация, обязательно всплывут (например, в верхнем бьефе ГЭС), а крупные частицы осядут на дно.

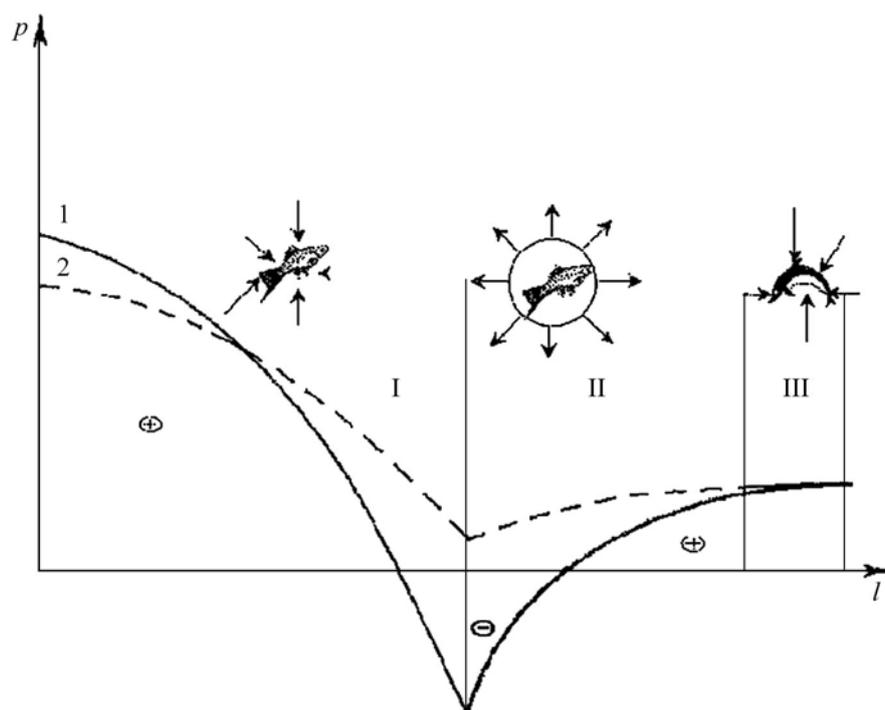


Рис. 3. Механизм воздействия на гидробионты перепадов давлений кавитационного (1) и безкавитационного (2) течений в проточном канале гидротурбины: I – зона сжатой жидкости до рабочего колеса и воздействия положительного давления на гидробионтов; II – зона образования каверны и воздействия разрежения за рабочим колесом; III – зона захлопывания каверны, сжатой жидкости в отсасывающей трубе

Ядрами кавитации могут быть планктонные организмы и рыбы. Диапазон размеров их от 1 мкм и более до больших, их поверхность мало- и несмачиваемая. Это вполне подходящие ядра, на которых может развиваться кавитация в проточных каналах турбин ГЭС, винтах судов и в насосах.

Поясним, как развивается кавитация на рыбах или планктонных организмах в проточном канале турбины. На рис. 3 изображены две кривые абсолютных давлений в сечении 1–1 (рис. 1): 1 – кривая изменения давления в струе кавитационного течения (периферия лопасти), 2 – кривая изменения давления в струе безкавитационного течения (область корневого сечения лопасти на втулке). В струйке 1, имеющей отрицательные давления, возможна кавитация, а в струйке 2 без отрицательного давления кавитации не будет. На рис. 3 схематично изображено прохождение рыб в кавитационном и безкавитационном потоках.

Рыба (либо планктон) в зоне положительного давления сжата жидкостью, и, если

рыба адаптирована к этому давлению, с ней ничего не произойдет. Затем живой организм мгновенно попадает в зону разрежения (кривая 1), где произойдет отрыв жидкости от поверхности гидробионта с образованием вокруг него каверны с давлением насыщенных паров воды. Через доли секунды данная каверна, войдя в зону сжатия, мгновенно захлопнется. При этом произойдет такой же мгновенный процесс конденсации паров, который усилит удар. Микроструя жидкости при захлопывании разрушит либо травмирует организм. Таким образом, организмы в струе 1 будут подвергаться воздействию перепада давления и кавитационного удара, и их травмирование и гибель неизбежны.

В струе 2 кавитация не возникает, т.к. при положительном давлении отрыв жидкости (образование каверны) от поверхности организма не происходит. Здесь организм будет подвергаться воздействию только перепада давления, что создает шанс пройти гидробионту этот опасный путь без повреждений.

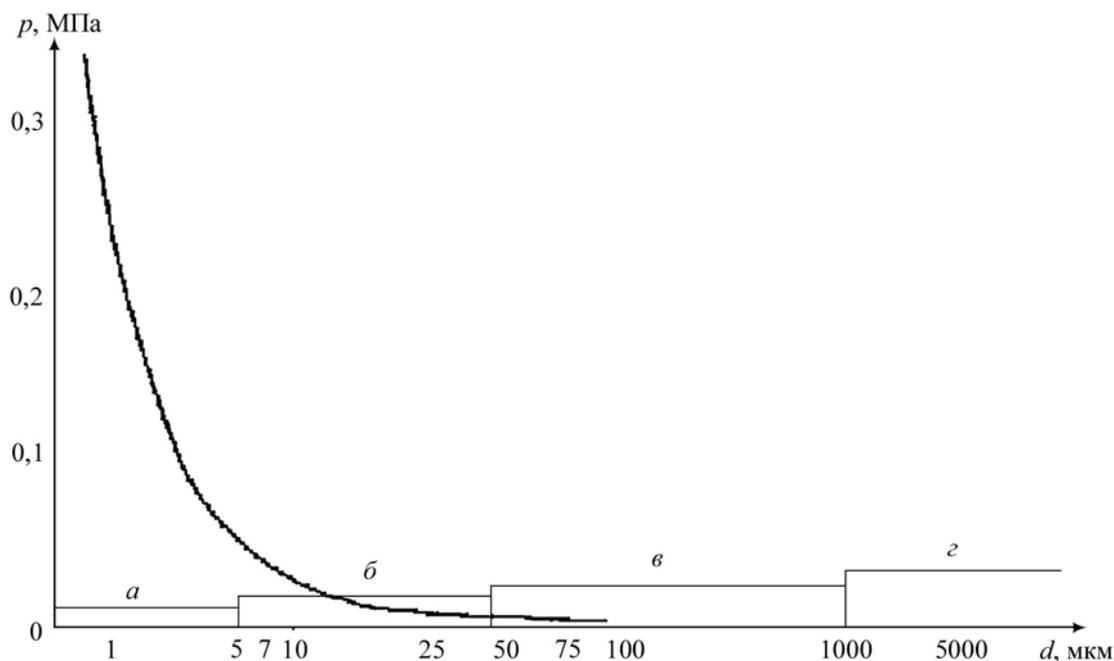


Рис. 4. Образование кавитационной каверны на планктоне и рыбах: а – ультрапланктон; б – нанопланктон; в – микропланктон; г – мезопланктон и рыба

Так как за рабочим колесом турбины разрежение возникает в большей части объема потока, в кавитационный процесс будет включаться большая часть проходящих через турбину гидробионтов.

Если известна величина разрежения жидкости, можно определить, на каких размерах планктона при этом давлении будет образовываться кавитационная полость, т.е. какие обитатели воды погибнут. Соотношение между давлением  $p$  и характерным размером планктона  $d$ , на котором образуется сферическая полость диаметром  $d$ , можно представить в виде

$$d = \frac{4\sigma}{p_n - p}, \quad (2)$$

где  $p_n = 0,002$  МПа – давление водяных паров;

$\sigma = 7,5 \cdot 10^{-4}$  Н/см –поверхностное натяжение воды.

Это соотношение справедливо при  $p \leq 0$ .

Зависимость между  $d$  и  $p$  согласно (2) представлена на рис 4, где наглядно иллюст-

рируется воздействие кавитации на группы планктона, классифицированные по размеру. В высоконапорных ГЭС ( $H = 100-300$  м), где разрежение может достигать 0,3 МПа, кавитация будет развиваться не только на нанопланктоне, но и частично на ультрапланктоне. Это значит, что в таких турбинах полностью погибнет зоо- и фитопланктон. Возможна также трансформация бактериопланктона. При величине разрежения, близкой к нулю, что характерно для низконапорных ГЭС, кавитация может развиваться на планктонных организмах с размером 150 мкм.

Это теоретическая оценка воздействия кавитации на гидробионты в кавитационных течениях гидромашин. Возможно, она недостаточна в силу того, что представленная аналитическая зависимость не учитывает ряд других факторов в сложном физическом процессе возникновения и развития кавитации. Здесь важно было раскрыть механизм воздействия кавитации на ихтиофауну и планктон. Именно это позволило сформировать основной принцип защиты гидробионтов от гибели в кавитационном течении гидромашин.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ МНОЖЕСТВА СОСТОЯНИЙ ПРЕДМЕТА ТРУДА ЛЕСОЗАГОТОВОК

С.Б. ЯКИМОВИЧ, *МарГТУ, д-р техн. наук*

Многообразие состояний предмета труда (ПТ) лесозаготовок определяет множество технологических процессов (ТП). Моделирование этого множества в совокупности системно позволяет более адекватно описать математически известные и проектируемые ТП и получить модель, отражающую полные системные оценки процессов по соответствующему критерию, а также синтезировать оптимальные процессы и определить законы управления.

Представление совокупности ТП для дискретного отображения  $n$  конечных и промежуточных состояний ПТ посредством графов дано в работах [1–7]. За основу для дальнейшего изложения сущности моделирования ТП с множеством состояний  $n$  ПТ принят метод, изложенный в [8]. Графическая интерпретация дискретно-непрерывного ТП лесозаготовок с  $n$  состояниями и  $m$  процессами в контексте излагаемого метода проектирования и оптимального управления ТП представлена на рис. 1.

Исходя из рис. 1, полным маршрутом ТП отражается совокупность процессов и соответствующих им идеальных [9] или реальных устройств, осуществляющих изменение и транспортировку объема различных видов ПТ, представляемых ветвями орграфа и имеющих, по крайней мере, один общий узел для разветвляющихся процессов или процесса разделения ПТ на компоненты.

Иначе формализованные технологические процессы для множества состояний есть совокупность маршрутов (путей), взаимосвязанных преобразованием предмета труда в форме движения и изменения объема ПТ в координатах объема  $V$  и времени  $t$  или перемещения  $l$ . Математическая модель совокупности ТП для  $n$  конечных и промежуточных состояний ПТ должна включать две составные части: 1) расчетную структурную схему ТП

(например, на рис. 1 или в виде графа) с направлениями – ветвями, отражающими закономерности потоков движения и изменения объема (хлысты, сортименты, сучья, щела и пр.) и позициями – узлами – разделения потоков изменяемого объема ПТ и машин лесозаготовок; 2) множество математических выражений, описывающих взаимозависимость количественных характеристик элементов расчетной схемы и законы транспортировки (перемещения) и изменения объема ПТ во времени, а также функционалы по каждому из процессов в отдельности. Изложенное отличает эту форму представления технологии лесозаготовок от разработанных ранее.

Расчетная оргграф-схема совокупности ТП лесозаготовок включает: отдельные технологические процессы изменения и транспортировки соответствующего объема ПТ – в виде ветвей (дуг); позиции начального и конечных состояний ПТ, позиции разделения ветвей, позиции начала и окончания изменения объема одного вида ПТ (начало и окончание обрабатывающего и переместительного действий) – в виде узлов (вершин); источники подводимой мощности для преобразования и транспортировки ПТ относятся к ветвям орграфа. На рис. 2 приведен пример орграфа непрерывного технологического процесса лесозаготовок, и нумерация ветвей в отличие от узлов дана в окружностях.

Как отмечалось в [2, 4–7, 10], технологический процесс лесозаготовок представляется оргграфом с вполне определенным маршрутом, в ряде случаев содержащим повторяющиеся ветви (ребра) и узлы (вершины) орграфа, а также ветви и узлы, представляющие движение, изменение и разделение ПТ на определенные компоненты. Если повторяющиеся ветви и узлы графа отсутствуют, то маршрут представляется посредством цепи.

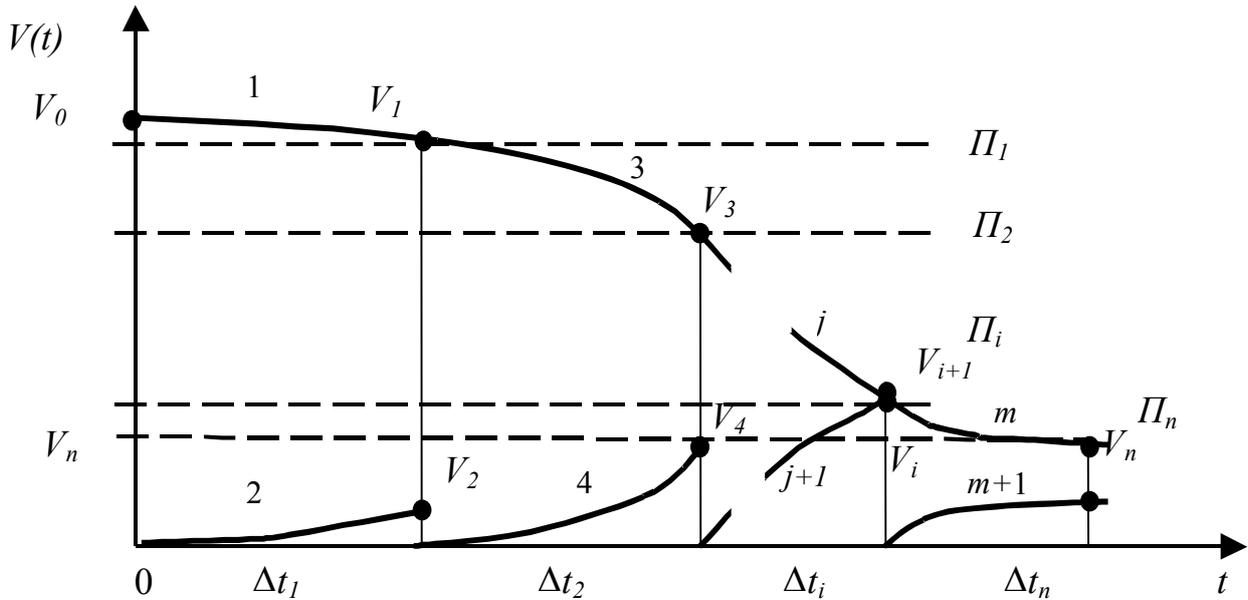


Рис. 1. Графическая интерпретация ветвей (траекторий движения изменяемого объема предмета труда) и узлов совокупности технологических процессов лесозаготовок

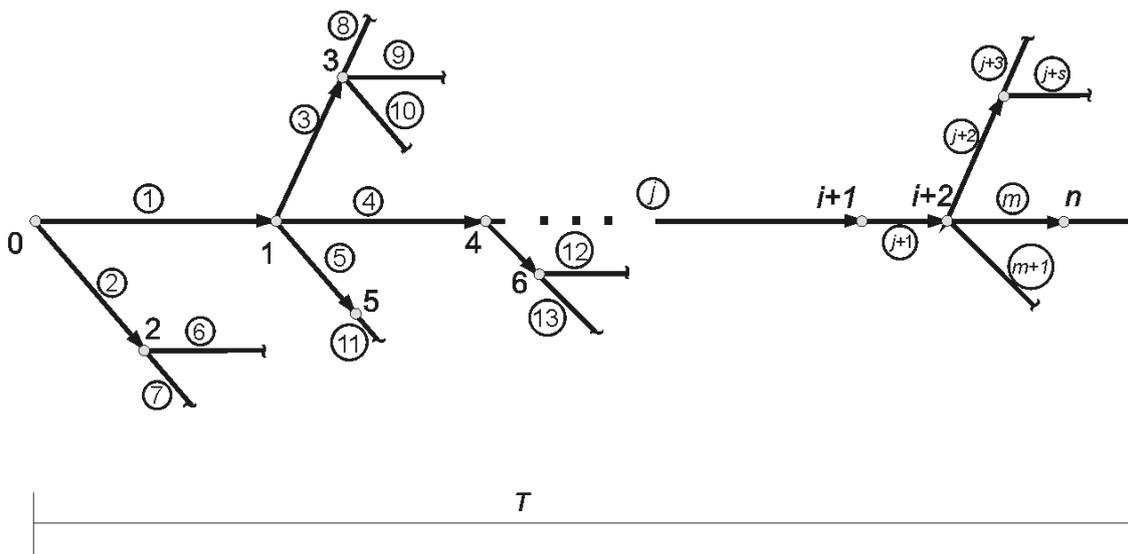


Рис. 2. Орграф совокупности технологических процессов лесозаготовок

Тогда для подобного орграфа соответствие состояний ПТ и номеров узлов для хлыстовой технологии с получением пиломатериалов следующее: 0 – стоящее дерево; 1 – поваленное дерево; 2 – пнекорневая часть; 3 – сучья; 4 – хлыст; 5 – опил; 6 – вершины и обломки стволов;  $i + 1$  – пиловочник;  $i + 2$  – необрезной пиломатериал;  $i + 3$  – горбыль;  $n$  – обрезной пиломатериал. Для сортиментной процессорной и харвестерной технологий с получением пилома-

териалов соответствие состояний ПТ и номеров узлов несколько иное: 0 – стоящее дерево; 1 – поваленное дерево; 2 – пнекорневая часть; 3 – сучья; 4 – сортименты; 5 – опил; 6 – сортименты, за исключением пиловочника;  $i + 1$  – пиловочник;  $i + 2$  – необрезной пиломатериал;  $i + 3$  – горбыль;  $n$  – обрезной пиломатериал. В переходах между состояниями представлены соответствующие процессы, определяющие вид и место выполнения соответствующего процесса. Например,

переход из состояния 0 в состояние 1 определяет обрабатывающий процесс отделения дерева от пня и переместительный процесс валки с соответствующими уравнениями состояния.

Для совокупности процессов с конечным состоянием ПТ в координатах стоящего дерева схема и нумерация могут оставаться неизменными. Однако соответствие номеров узлов и состояний, номеров ветвей и процессов будет несколько иным, а именно: 0 – стоящее дерево; 1 – хлыст в вертикальном положении; 2 – сучья; 3 – пнекорневая часть; 4 – сортименты; 5 – вершины; 6 – сортименты, за исключением пиловочника, и далее – аналогично предыдущему. Здесь переход из состояния 0 в состояние 1 определяет обрабатывающий процесс разделения дерева на хлыст и сучья и переместительный в виде движения рабочего органа или дерева в вертикальном направлении.

Если в модель технологического процесса включаются холостые (обратные) ходы машин и реальные машины лесозаготовок как источники мощности (энергии) и преобразователи с присущими им массами и КПД, то расчетная схема структуры ТП представляется графом или сетью, отличие которого от орграфа заключается в следующем: маршрут совокупности ТП от начального состояния ПТ к конечному (рабочий ход),

кроме узлов разделения, содержит и узлы соединения ветвей, учитывающих присоединение соответствующих лесозаготовительных машин для отдельных ТП. Направление холостых или обратных ходов машин отображается ветвями противоположной ориентации. Эти ветви соединяются в узлах начала обработки и (или) транспортировки соответствующего состояния ПТ и отделяются в узлах окончания рабочего процесса, соответствующего определенному конечному состоянию ПТ. Пример подобного графа для хлыстовой технологии представлен на рис. 3.

На рис. 3 ветви означают:  $(m - 6)$  – процесс переезда валочной машины или переноса моторного инструмента,  $(m - 5)$  – процесс холостого хода сучкорезного устройства или переноса моторного инструмента к следующему дереву;  $(m - 4)$  – процесс холостого хода транспортных или переместительных (трелевочных) устройств;  $(m - 3)$  – процесс холостого хода раскряжевно-сортировочных машин и (или) их переместительных устройств;  $(m - 2)$  – процесс холостого хода мобильных рубильных машин;  $(m - 1)$  – процесс холостых перемещений устройств продольной распиловки. Аналогично определяются ветви графа любых других холостых перемещений машин и оборудования.

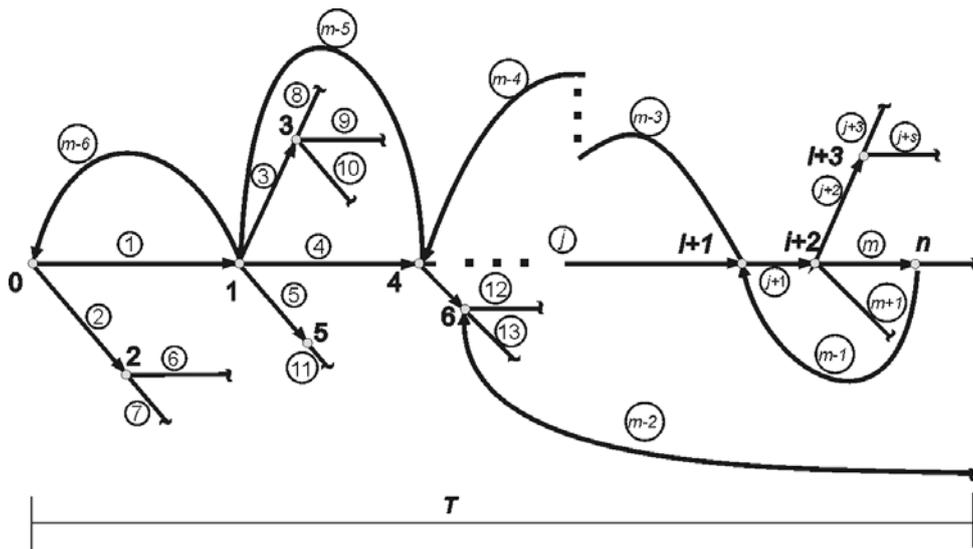


Рис. 3. Граф ТП лесозаготовок с процессами холостых движений машин и рабочего оборудования для хлыстовой технологии с получением пиломатериалов

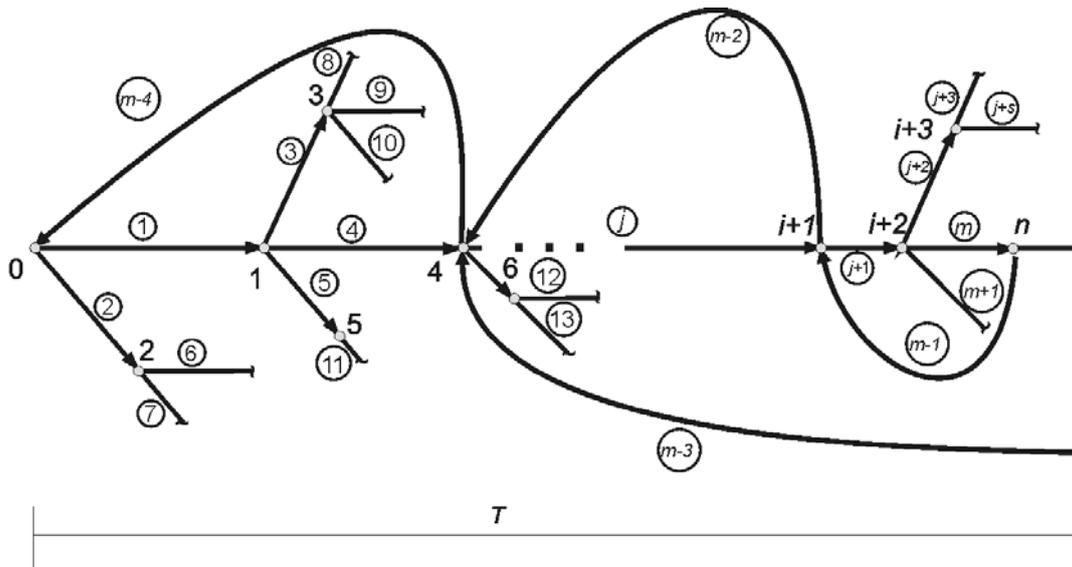


Рис. 4. Граф ТП лесозаготовок с процессами холостых движений машин и рабочего оборудования для сортиментной харвестерной технологии с получением пиломатериалов

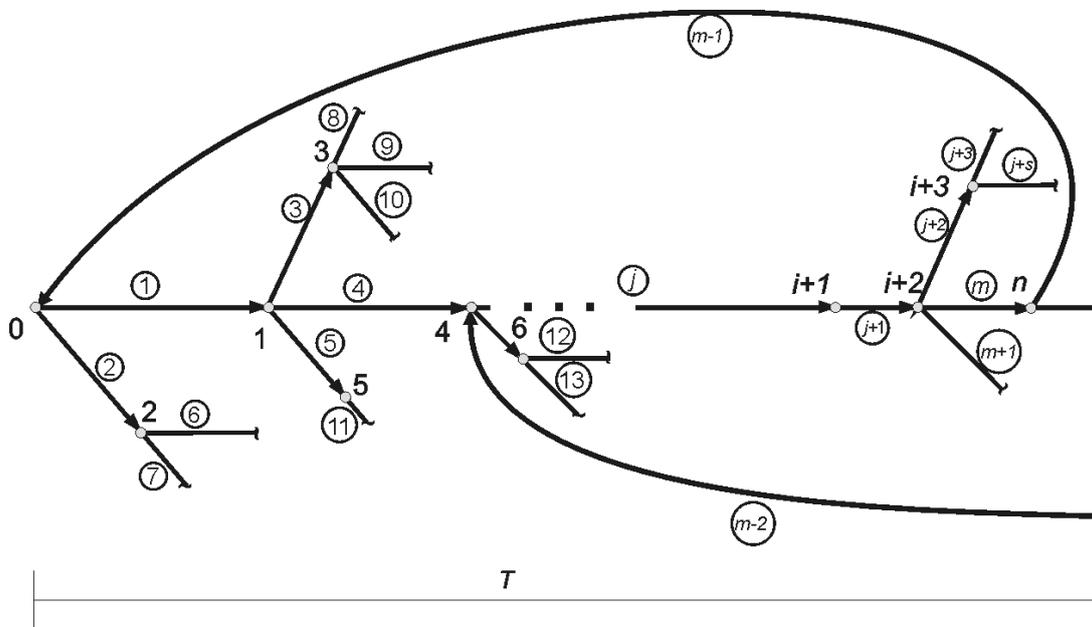


Рис. 5. Граф ТП лесозаготовок с процессами холостых движений машин и рабочего оборудования для технологии лесного комбайна с получением пиломатериалов

На рис. 4 представлен пример отображения харвестерной технологии, где ветви означают:  $(m - 4)$  – процесс холостого хода харвестера (и)или его переместительных устройств;  $(m - 3)$  – процесс холостого хода транспортно-сортировочных устройств (форвадера) для пиловочника;  $(m - 2)$  – процесс холостого хода транспортно-сортировочных устройств для других видов сортиментов;  $(m - 1)$  – процесс холостых перемещений устройств продольной распиловки.

Пример отображения технологии получения конечного состояния ПТ посредством лесного комбайна представлен на рис. 5. Здесь ветви означают:  $(m - 1)$  – процесс холостых перемещений лесного комбайна (и)или его переместительных устройств;  $(m - 2)$  – процесс холостого хода транспортно-сортировочных устройств для всех видов сортиментов, кроме пиловочника.

Структурная схема ТП содержит множество узлов

$$I = \{ i : i = \overline{0, n} \},$$

состоящих из подмножеств начальных –  $I_1$ , конечных –  $I_2$  и промежуточных состояний  $I_3$  предмета труда лесозаготовок. Отражение качественных и количественных состояний ПТ (хлыст, сортимент и пр.) в узлах введено в работах [3, 4, 6, 7, 10]. В этих работах ветви графа (переходы между узлами) отображают определенное промежуточное множество состояний ПТ [4], вид переместительной операции ПТ [7], производительность или себестоимость [3], наименование технической функции [6, 10].

В представлении же излагаемого метода моделирования узлов, кроме наименования состояния ПТ, физически и количественно отражает переход от одного вида обрабатывающих, переместительных, транспортных, обрабатывающе-транспортных действий к другому или момент фиксации переменных состояния предмета труда (объема и положения) и состояния машин. В терминах теории графов узел отражает переход от одной или нескольких ветвей к другой или другим. Для  $j$ -ой ветви узел является точкой входа или выхода. Ветви графа отражают на основе уравнений состояния динамику движения и изменения объема ПТ посредством обрабатывающих, переместительных, транспортных, обрабатывающе-переместительно-транспортных процессов.

К параметрам и (или) переменным  $i$ -го узла технологического процесса относятся:  $V_{y_i}$  – объем ПТ в узле,  $m_{y_i}$  – масса лесозаготовительной машины, проходящей через соответствующий узел,  $l_i$  – координата  $i$ -го узла по расстоянию маршрута ПТ,  $\Pi_i$  – значение производительности. Для каждого из узлов соблюдается соотношение

$$\sum_j \dot{I}_i = \Delta \dot{I}_i,$$

где  $\Delta \Pi_i$  – разность производительностей в узле (разность между входящими и выходящими потоками объема ПТ в единицу времени), определяемая различного вида неравномерностями обработки и транспортировки. Размер запаса также определяется значением  $\Delta \Pi_i$ .

Множество ветвей

$$J = \{ j : j = \overline{1, m} \}$$

структурной схемы технологического процесса лесозаготовок отображает обрабатывающие транспортно-переместительные или обрабатывающе-транспортно-переместительные действия и парные связи (соединения между  $i$  и  $i + s$  узлами). Физически ветви являются процессами по транспортировке и (или) изменению объема ПТ, процессами холостых ходов рабочих органов и машин либо составляющими процесса для отдельного, в том числе и отделяемого компонента ПТ. Каждая  $j$ -ая ветвь располагается между  $i$  и  $i + s$  узлами.

Переменные и (или) параметры  $j$ -ой ветви отражают:  $x^3 = V_j(t)$  или  $V_j$  – переменная объема ПТ по сечению ветви;  $x^{3'} = V_{j'}'$  – скорость изменения объема ПТ или объем, проходящий в единицу времени через сечение  $j$ -ой ветви;  $x^1_j = l_{g_j}$  или  $x^1 = l(t)$  – координата расстояния, на котором реализуется соответствующее действие, или совокупность действий, или длина  $j$ -ой ветви;  $x^2 = x^{1'} = l_{ij}'$  – скорость транспортировки, или перемещения ПТ по  $j$ -ой ветви;  $u_r^1 = k_{pn}(t)$  – коэффициент распределения и использования мощности в обрабатывающе-переместительных и транспортных процессах;  $\Delta V_{\text{пт}j}$  или  $u_r^2 = \Delta V_{\text{пт}}(t)$  – объем отделяемого компонента ПТ;  $\Delta \Pi_j = \Pi_i - \Pi_{i+1}$  – разность производительностей на входе-выходе ветви.

Узлы структурной схемы ПТ лесозаготовок и процессы, в них происходящие, классифицируются, исходя из уравнений материального баланса для узлов графа и значения  $\Delta \Pi_i$ . Для каждого  $i$ -го узла выделяются следующие признаки:

1.  $\sum V_j = V_{y_i} > 0, \sum m_j = m_{y_i} = 0$

– узел начального состояния ПТ начальной ветви, отражающей холостой и рабочий процессы движения ПТ лесозаготовительной машины массой  $m_i$ , вошедшей в узел и вышедшей из него.

2.  $\sum V_j = V_{y_i} = 0, \sum m_j = m_{y_i} = 0$

– узел промежуточных состояний ПТ, отражающий переход от одного вида со- вмещенных транспортно-переместительно- обрабатывающих действий, либо этих же действий по отдельности к другим без заме- ны машины, или узел замены входящей транспортной машины на иную выходящую, но с одинаковой массой.

$$3. \sum V_i = V_{y_{ic}} = 0, \sum m_j = m_{y_{ic}} \neq 0$$

– узел промежуточных состояний ПТ, в котором происходит замена обрабатываю- щих машин, модулей с различными массами или замена обрабатывающей машины на транспортную, например, ВПМ (валка- пакетирование) на ТТМ (трелевка).

$$4. \sum V_j = V_{y_e} < 0, \sum m_j = m_{y_e} = 0$$

– конечный узел конечной ветви, отражающей рабочий и холостой процессы движения лесозаготовительной машины массой  $m_i$  и конечное состояние ПТ (массы машин потребителя в модель не включа- ются).

5. Классификация узлов по запасам. Значение  $\Delta\Pi_i = 0$ , определяет отсутствие за- пасов в узле и согласованных по производи- тельности переходов;  $\Delta\Pi_i > 0$  определяет процесс накопления запаса;  $\Delta\Pi_i < 0$  определя- ет процесс выборки запаса.

Классификация ветвей схем ТП лесоза- готовок определяется на основе уравнений непрерывности в контурах (аналог второго закона Кирхгофа) [11], [12] и знака  $V'_{ij}$  (рис. 1). Исходя из изложенного, выделяют- ся следующие ветви:

1) если  $V'_{il} < 0$ , то ветвь отображает основной поток, в котором компонент пред- мета труда с изменяемым (уменьшаемым) объемом (дерево, хлыст, сортимент, пилома- териал и др.) является целевым или основ- ным;

2) если  $V'_{il} > 0$ , то ветвь отображает вторичный поток изменения объема, полу- ченный в результате отделения (разделения) ПТ, при этом отделяемый компонент опре- деляется как вторичный;

3) если  $V'_{il} = 0$ , то ветвь отображает процесс транспортировки или вспомога- тельного перемещения ПТ без изменения его объема (обработки) или обратный ход ма- шины;

4) дополнительные классификацион- ные признаки каждой  $j$ -ой ветви связаны с моделированием реального или идеального ТП [13]. Если  $m_j = 0$ , то отображается иде- альный процесс, в противном случае ( $m_j \neq 0$ ) – реальный ТП с рабочими или холостыми движениями лесозаготовительных машин.

Перемещение (транспортировка) и изменение объема ПТ можно считать двух- мерным в координатах  $V$  и  $l$  с усреднением по  $j$ -ветви определенных постоянных (удельной работы резания, скорости резания и размеров сечений, по которым отделяются или разделяются компоненты, либо иное).

Исходя из возможности моделирова- ния ТП в виде моделей с сосредоточенными, переменными и распределенными фактора- ми (континуальные модели), с одной сторо- ны, и моделирования ТП для постановки за- дач оптимального управления – с другой, наиболее адекватным представляется ото- бражение ТП как модели с факторами, опи- сываемыми распределенными переменными. Модели этого типа предполагают, что какая- то часть переменных представляется в виде функций, которые в последующем подлежат определению в ходе решения задач опти- мального управления на основе соответ- ствующего критерия. Тогда уравнение связи между переменными  $j$ -ветви определяются дифференциальными уравнениями состоя- ния вида [8]

$$V'_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V(t) - V(t + \Delta t)}{\Delta t} \Rightarrow \frac{dV}{dt} = V'_i \approx \dot{I}_i - \dot{I}_{i+1}.$$

Для всей совокупности ветвей струк- турной схемы, исходя из уравнений непре- рывности, может быть записано соотноше- ние (рис. 1)

$$\sum_k \sum_j V'_{ij} = 0.$$

При этом для определения направле- ния обхода и формирования контура исполь-

зуются фиктивные, замыкающие ветви, здесь  $k$  – индекс суммирования по  $k$  контурам. Или, без формирования контура, для каждого выходящего процесса из  $i$ -го узла имеет место соотношение

$$\sum_i \sum_j d_j V_{ij} = 0, \quad (1)$$

где  $i$  – индекс суммирования по  $i$ -ым узлам,  $d_j$  принимает значение в интервале  $[0,1]$  и определяет долю соответствующего компонента ПТ  $j$ -ветви относительно потока, принятого за основной из выходящих потоков для узла  $i$ . Значение  $d_j$  определяется тем, что при разделении ПТ из определенного начального состояния в единицу времени отделяются различные объемы для различных компонентов, например, переход от дерева к сучьям и хлысту. Коэффициент  $d_j$  определяется из выражения

$$d_j = V_{i+1}/V_i.$$

Для случаев ветвей, входящих в контуры и находящихся вне контурной части схемы, могут быть использованы соотношения баланса производительностей в узлах

$$\sum_j \dot{I}_i = \Delta \dot{I}_i.$$

Каждый процесс характеризуется интегральным функционалом [14]

$$\hat{O}_j = \int_0^{l_j(t_j)} f_j(F_{oi}, F'_{oi}, l_j) dl_j. \quad (2)$$

Совокупность ТП как система оценивается суммой интегральных функционалов по всем ветвям графа

$$\hat{O} = \sum_{j=1}^m \hat{O}_j. \quad (3)$$

Структурно-физическую схему ТП лесозаготовок удобно представлять в матричном виде. Соединения узлов  $n$  и  $m$  ветвей описывается матрицей инцидентности  $A$  размером  $n \times m$ , в которой строки  $i$  отвечают узлам  $i$ , а столбцы  $j$  соответствуют  $j$ -ветвям [11]. Элемент матрицы инцидентности (соединений)

$$A_{ij} = \begin{cases} 0 - \text{áñèè } óçàèi - íá ñíááèíáí \\ \text{ááòáúþ } j \\ +1 - \text{áñèè } \text{ááòáú } j \text{ áúðíáèò } èç \\ \text{óçèà } i \\ -1 - \text{áñèè } \text{ááòáú } j \text{ ýáëýáðñý \\ \text{áðíäýùáé } \text{áëý } \text{óçèà } i \end{cases}. \quad (4)$$

Линейная независимость строк (столбцов) определяется значением  $n-1$ , что может быть получено вычеркиванием из  $A$  любой из строк, и узел, соответствующий этой строке, называется базовым. Как правило, за базовый может приниматься либо начальный (0), либо конечный ( $n$ -й) узлы.

Особенности контуров структурно-физической схемы ТП лесозаготовок отражаются посредством  $M$ -матрицы (матрицы контуров и сечений [11], где количество столбцов соответствует числу ветвей дерева  $m$ , а число строк – числу контуров или хорд  $K$ . В ней на пересечении строки  $k$  соответствующего контура и столбца  $j$  задается элемент

$$M_{kj} = \begin{cases} 0, \text{ áñèè } \text{ááò } \text{áú } j \text{ í } \text{á } \text{í } \text{ðèí } \text{ááèáæ } èð \\ \text{éí } \text{í } \text{ò } \text{óð } k ; \\ 1, \text{ áñèè } \text{ááò } \text{áú } j \text{ áðí } \text{áèò } \text{á } \text{éí } \text{í } \text{ò } \text{óð} \\ k \text{ è } \text{áá } \text{í } \text{ðèáí } \text{ò } \text{àòèý} \\ \text{ñí } \text{áí } \text{ááááò } \text{ñ } \text{í } \text{áí } \text{ðááéáí } \text{èáí} \\ \text{éí } \text{í } \text{ò } \text{óð}; \\ -1, \text{ áñèè } \text{ááò } \text{áú } j \text{ áðí } \text{áèò } \text{á } \text{éí } \text{í } \text{ò } \text{óð} \\ k \text{ è } \text{áá } \text{í } \text{ðèáí } \text{ò } \text{àòèý} \\ \text{í } \text{ðí } \text{ò } \text{èáí } \text{í } \text{í } \text{éí } \text{æ } \text{í } \text{à } \text{í } \text{áí } \text{ðááéáí } \text{èþ} \\ \text{í } \text{áðí } \text{áá.} \end{cases} \quad (5)$$

Направление обхода задается направлением хорды. Фундаментальное дерево, или остов графа, формируется из ветвей и вершин, отражающих совокупность технологических процессов лесозаготовок.

Уравнения и функционалы для ТП лесозаготовок основного и ответвляющихся потоков представлены в виде выражений, выведенных в [8], [14]. Уравнение состояний [8] может рассматриваться как уравнение связи между  $i$ ,  $i+s$  узлами. Уравнения совокупности ТП, отражающие структуру

узлов и контуров, строятся на основе аналогов законов Кирхгофа и конкретных структурных схем (рис. 2, 3, 4, 5) в виде графов. Специфичность структурных схем, отражающих совокупность ТП лесозаготовок и избыточность переменных, подлежащих оптимизации в задачах оптимального управления, определяют возможность системного описания совокупности ТП на основе межузловых связей для  $j$ -х ветвей в виде дифференциальных уравнений состояний и связей, определяемых уравнениями баланса. Уравнения межузловых связей для каждой  $j$ -й ветви в совокупности ТП конструируются в виде матриц и соотношений между ними.

Основой матричного описания являются дифференциальные уравнения состояний ТП [8], которые для  $j$ -й ветви имеют вид

$$\begin{cases} x_j^1 = x_j^2 \\ x_j^2 = \frac{u_{rj}^1 \cdot N_{enj}}{x_j^2 \cdot \rho_j \cdot x_j^3 \cdot \delta_j} - \frac{g(f_j \cos \alpha_j \pm \sin \alpha_j)}{\delta_j} \\ x_j^3 = \frac{u_{rj}^2 \cdot \left[ \frac{(1-u_{rj}^1) \cdot N_{enj}}{x_j^2 k_{pj} b_j^{(1-p_j)} \cdot H_j \cdot (1+\alpha_{0j})} \right]^{\frac{1}{1-p_j}} \cdot v_j}{R_{xj}} \end{cases}, \quad (6)$$

- где  $\rho_j$  – объемная масса 1 м<sup>3</sup> ПТ;  
 $f_j$  – коэффициент сопротивления качению и (или) волочению, а также протаскиванию (перемещению) ПТ при его обработке и перемещении;  
 $g$  – гравитационная постоянная;  
 $b_j, H_j$  – параметры пропила;  
 $\alpha_{0j} = \alpha'_{0j} u_j / v_j$  – коэффициент, учитывающий распределение мощности на нормальную составляющую;  
 $\alpha'_{0j}$  – коэффициент, учитывающий нормальные силы сопротивления, возникающие в процессе резания (отжима);  
 $u_j$  – скорость подачи;  
 $v_j$  – скорость резания;  
 $N_{enj}$  – номинальная мощность;

$k_{pj} = Cp / t_o^p$  – коэффициент, учитывающий вклад в удельную работу резания шага  $t_{us}$ , вида пиления и типа режущего инструмента  $p_j$ , а также постоянных  $Cp$  при определении  $k_{0j}$  по эмпирической зависимости А.Л. Бершадского;

$\delta_j$  – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс привода;

$\alpha_j$  – угол (уклон), учитывающий направление движения ПТ или машины;

$R_{xj}$  – путь, на котором выполняется деление древесины;

$p_j$  – показатель, уточняющий вид пиления и тип режущего инструмента;

Две и более ветви  $j$  и  $j+s$  ( $s = 1, \dots, S$ ), выходящие из  $i$ -го узла, отображающие процесс деления  $V_i$  на  $i+1$  и  $i+s+1$  компоненты и их движения, используемые в дальнейшем полностью для получения следующих компонентов (новых состояний) без потерь и отходов, описываются системой вида

$$\begin{cases} x_j^1 = x_j^2 \\ x_j^2 = \frac{u_{rj}^1 \cdot N_{enj}}{x_j^2 \cdot \rho_j \cdot x_j^3 \cdot \delta_j} - \frac{g(f_j \cos \alpha_j \pm \sin \alpha_j)}{\delta_j} \\ u_j = \left[ \frac{(1-u_{rj}^1) \cdot N_{enj}}{x_j^2 k_{pj} b_j^{(1-p_j)} \cdot H_j \cdot (1+\alpha_{0j})} \right]^{\frac{1}{p_j-1}} \cdot v_j \end{cases},$$

где  $x_j^3 = V_i = V_{i+1} + V_{i+s+1}$ .

Физически это означает, что происходит процесс деления без изменения первоначального объема ПТ, скорость изменения объема ПТ равняется нулю. Разделяемый объем ПТ либо перемещается, либо нет. Ветвь  $j+s$  в этом случае отражает лишь процесс перехода в  $i+s+1$  состояние ПТ.

Введем следующие матричные обозначения

$$X_j = \begin{bmatrix} x_j^1 \\ x_j^2 \\ x_j^3 \end{bmatrix}, \quad U_{rj} = \begin{bmatrix} 0 \\ u_{rj}^1 \\ u_{rj}^2 \cdot (1-u_{rj}^1)^{\frac{1}{1-p_j}} \end{bmatrix}$$

$$S_j(X_j) = \left[ \begin{array}{c} x_j^2 \\ \frac{N_{enj}}{x_j^2 \cdot \rho_j \cdot x_j^3 \cdot \delta_j} - \frac{g(f_j \cos \alpha_j \pm \sin \alpha_j)}{\delta_j \cdot u_{rj}^1} \\ \left[ \frac{N_{enj}}{x_j^2 k_{pj} b_j^{(1-p_j)} \cdot H_j \cdot (1 + \alpha_{0j})} \right]^{1-p_j} \cdot v_{rj} \\ R_{xj} \end{array} \right] \cdot (7)$$

Тогда система (6) запишется в векторно-матричной форме

$$\dot{X}_j = S_j(X_j) \cdot U_{rj} \cdot (8)$$

На основе (8) формируется система  $m$  уравнений для всех ветвей, отображающих отдельные процессы совокупности ТП лесозаготовок.

Матрица переменных состояния, состоящая из субматриц  $X_j$ , имеет вид

$$X = \begin{bmatrix} X_1 & & & & & \\ & X_2 & & & & \\ & & \dots & & & \\ & & & X_j & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & X_m \end{bmatrix} \cdot$$

Матрица управлений

$$U_r = \begin{bmatrix} U_{r1} & & & & & \\ & U_{r2} & & & & \\ & & \dots & & & \\ & & & U_{rj} & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & U_{rm} \end{bmatrix}$$

и матрица правых частей уравнений (6) без составляющих управлений имеет вид

$$S(X) = \begin{bmatrix} S(X)_1 & & & & & \\ & S(X)_2 & & & & \\ & & \dots & & & \\ & & & S(X)_j & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & S(X)_m \end{bmatrix} \cdot$$

Система  $m$ -уравнений состояний для совокупности ТП в целом представляется следующим векторно-матричным выражением

$$\dot{X} = S(X) \cdot U_r \cdot (9)$$

Связи, отображающие соединения ветвей и их взаимодействие в узлах, строятся на основе баланса производительностей  $i$ -го узла с учетом возможного запаса, накапливаемого в единицу времени

$$\sum \dot{I}_i = \Delta \dot{I}_i \cdot (10)$$

а также соотношений вида (1), матрицы соединений (4) или матрицы контуров и сечений (5). Функционал удельной энергоёмкости совокупности ТП, содержащего  $m$  ветвей, отражающих процессы по перемещению и обработке ТП, конструируется, исходя из выведенного в [14] отдельного процесса, выражений (2, 3), и имеет следующий вид

$$g \dot{Y} \dot{O} \dot{I} = \sum_{j=1}^m \int_0^T \left\{ \left[ \rho_j \delta_j \cdot x_j^2 + \rho_j g(f_j \cos \alpha_j \pm \sin \alpha_j) \right] x_j^2 + \frac{\left( \frac{x_j^3 R_{xj}}{u_{rj}^2} \right)^{1-p_j} v_j^{p_j} k_{pj} b_j^{(1-p_j)} H_j (1 + \alpha_{0j})}{x_j^3} \right\} dt \rightarrow \text{mir} \cdot (11)$$

Аналогично, выделяя две и более ветви  $j$  и  $j + s$ , выходящие из  $i$ -го узла, отображающие процесс разделения  $V_i$  на  $i + 1$  и  $i + s + 1$  компоненты, используемые в дальнейшем полностью для получения следующих компонентов (новых состояний) без потерь и отходов при  $V_t(x_j^3)$  и  $\Delta V_{io}(u_{rj}^2)$ , равных 0, в соответствии с [14], имеем функционал

$$g \dot{Y} \dot{O} \dot{I} = \sum_{j=1}^m \int_0^T \left\{ \left[ \rho_j \delta_j \cdot x_j^2 + \rho_j g(f_j \cos \alpha_j \pm \sin \alpha_j) \right] x_j^2 + \frac{\left( \frac{R_{xj}}{t_j} \right)^{1-p_j} v_j^{p_j} k_{pj} b_j^{(1-p_j)} H_j (1 + \alpha_{0j})}{x_j^3} \right\} dt \rightarrow \text{min}$$

Физически это означает, что процесс транспортировки и деления ПТ реализуется с постоянным значением объема, равным  $V_i$ .

Полученные выражения используются для постановки задачи синтеза совокупности оптимальных процессов лесозаготовок.

**Библиографический список**

- 1 Алябьев В.И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 232 с.
- 2 Редькин А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: Учебник. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 255 с.
- 3 Пижурин А.А., Пижурин А.А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки: Учебник. – М.: МГУЛ, 2004.–375 с.
- 4 Воевода Д.К., Коган К.Г. Автоматизация проектирования лесоскладских процессов. Обзор. информ. ВНИПИЭИлеспром. – М., 1986. – 32 с.
- 5 Дорошенко В.А. Синтез технологической структуры автоматизированных технологических процессов первичной обработки древесины: Монография. – Красноярск: КГТА, 1996. – 299 с.
- 6 Цветков В.Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
- 7 Венценосцев Ю.Н. Проектирование лесосечных работ: Учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГУ, 1983. – 32 с.
- 8 Якимович С.Б. Оптимальное управление процессами лесозаготовок: уравнения состояний // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2003. – № 3(28). – С. 96–103
- 9 Редькин А.К., Якимович С.Б. Способ моделирования и проектирования технологических процессов лесопромышленного комплекса // Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2000. – № 4(13). – С. 55–69.
- 10 Мазуркин П.М. Поисковое проектирование лесотехнических объектов. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1990. – 192 с.
- 11 Системы автоматизированного проектирования: В 9-ти кн. Кн.4. Математические модели технических объектов / В.А. Трудоношин, Н.В. Пивоварова: Под ред. И.П. Норенкова. – М.: Высш. шк., 1986. – 160 с.
- 12 Системы автоматизированного проектирования: В 9-ти кн. Кн.6. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования / Н.М. Капустин, Г.М. Васильев: Под ред. И.П. Норенкова. – М.: Высш. шк., 1986. – 191с.
- 13 Якимович С.Б. Измерение и проектирование технологических процессов лесопромышленного комплекса. Деп. в ВИНТИ, № 1931. – В97. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 29 с.
- 14 Якимович С.Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2003. – № 5(30). – С. 149–160.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
СИНТЕЗА ДЛЯ СОВОКУПНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК**

С.Б. ЯКИМОВИЧ, *МарГТУ, д-р техн. наук*

Многообразие состояний предмета труда (ПТ) лесозаготовок определяет множество технологических процессов (ТП). Моделирование этого множества системно изложено в [1] и предыдущей публикации. На основе разработанных при моделировании уравнений состояния и функционалов ставится задача оптимального управления.

Постановка задачи оптимального управления и синтеза совокупности идеальных [1–3] технологических процессов, определяемых  $n$  состояниями предмета труда лесозаготовок по критерию удельной энергоемкости, имеет следующий вид.

Найти процессы для совокупности ТП лесозаготовок (траектории  $\bar{x}^3, \bar{x}^1$  и управления  $\bar{u}_r$ ) и соответствующие им размещение и степень совмещения обрабатывающе-переместительных и транспортных функций в пространстве и времени, такие, при которых функционал

$$g \dot{y} \dot{\omega} l = \sum_{j=1}^m \int_0^{T_j} \left\{ \left[ \rho_j \delta_j \cdot x_j^{2'} + \right. \right. \\ \left. \left. + \rho_j g \left( f_j \cos \alpha_j \pm \sin \alpha_j \right) \right] x_j^2 + \right. \\ \left. \frac{(w_j)^{1-p_j} v_j p_j k p_j b_j \left( 1-p_{1j} \right) H_j \left( 1+\alpha_{0j} \right)}{x_j^3} \right\} dt \rightarrow \min ?$$

где 
$$W_j = \frac{x_j^3 R}{u_{rj}^2} \text{ или } W_j = \frac{R x_j}{t_j}$$

в зависимости от степени использования в последующем компонентов ПТ, получаемых в ходе процессов, описываемых двумя и более ветвями, выходящими из узла; технологические процессы совокупности соответствуют уравнениям состояний  $\dot{X} = S(X) \cdot U_r$ ; уравнениям материального баланса в узлах и соединениям узлов  $\dot{A} \cdot x_j^3 = \nabla V_{\dot{i},i}$ ; уравнениям баланса (4.76) скорости изменения объема разделяемых компонентов ПТ и материального баланса в ветвях

$$\sum_k \sum_j x_j^3 = 0, \sum_i \sum_j d_j x_j^3 = 0.$$

А также удовлетворяются ограничения:

по номинальной мощности в  $j$ -й ветви (для ветвей  $j$  и  $j + s$  с полностью используемыми в дальнейшем компонентами ограничение по мощности вводится только для  $j$ -й ветви)

$$\left[ \rho_j x_j^3 \delta_j \cdot x_j^2 + \rho_j x_j^3 g \left( f_j \cos \alpha_j \pm \sin \alpha_j \right) \right] x_j^2 + \left[ (W_j)^{1-p_j} v_j^{p_j} k_{p_j} b_j \left( 1 - p_{1j} \right) H_j \left( 1 + \alpha_{0j} \right) \right]_j \leq N_{\dot{a}i_j}$$

по условиям размещения опиала в межзубовом пространстве для  $j$ -й ветви

$$\left[ \frac{(1 - u_{rj}) \cdot N_{en_j}}{x_j^2 k_{0j} b_j^{(1-p_j)} \cdot t_{\sigma_j}^{-p_j} \cdot H_j \cdot (1 + \alpha_{0j})} \right]^{\frac{1}{p_j-1}} \leq \frac{\Theta_j \cdot t_{\sigma_j}}{\sigma_j \cdot H_j};$$

на управления

$$0 \leq u_{rj}^1 \leq 1, 0,00001 \leq u_{rj}^2 \leq V_{H_j} - V_{k_j};$$

по граничным условиям

$$x_1^3(0) = V_{i_1}, x_n^3(T) = V_{y_{kn}}, x_1^1(0) = 0, x_n^1(T) = l_{kn}, \\ x_1^2(0) = 0, x_n^2(T) = 0;$$

на координаты размещения узлов

$$0 \leq x_i^1(0) \leq l_{kn}. \quad (1)$$

В постановке задачи введены следующие обозначения: множество ветвей

$$J = \{ j : j = \overline{1, m} \}$$

структурной схемы технологического процесса лесозаготовок отображает обрабатывающие, транспортно-переместительные или обрабатывающе-транспортно-переместительные действия и парные связи (соединения между  $i$  и  $i + s$  узлами, определяемые множеством  $I = \{ i : i = \overline{1, n} \}$ ). Физически ветви являются процессами по транспортировке и (или) изменению объема ПТ, процессами холостых ходов рабочих органов и машин либо составляющими процесса для отдельного, в том числе и отделяемого компонента ПТ. Каждая  $j$ -я ветвь располагается между  $i$  и  $i + s$  узлами. Переменные и (или) параметры  $j$ -ой ветви отражают:

$x_j^3 = V_j(t)$  или  $V_j$  – переменная объема ПТ по сечению ветви;

$x_j^{3'} = V_j'$  – скорость изменения объема ПТ или объем, проходящий в единицу времени через сечение  $j$ -ой ветви;

$x_j^1 = l_{\sigma_j}$  или  $x^1 = l(t)$  – координата состояния, на котором реализуется соответствующее действие, или совокупность действий, или длина  $j$ -й ветви;

$x_j^2 = x^{1'} = l_{ij}'$  – скорость транспортировки или перемещения ПТ по  $j$ -ой ветви;

$x_j^{2'}$  – ускорение транспортировки или перемещения ПТ по  $j$ -й ветви;

$u_{rj}^1 = k_{pn}(t)$  – коэффициент распределения и использования мощности в обрабатывающе-переместительных и транспортных процессах;

$\Delta V_{nmj}$  или  $u_{rj}^2 = \Delta V_{nm}(t)$  – объем отделяемого компонента ПТ;

$\Delta \Pi_j = \Pi_i - \Pi_{i+1}$  – разность производительностей на входе-выходе ветви;

$\rho_j$  – объемная масса  $1 \text{ м}^3$  ПТ;

$f_j$  – коэффициент сопротивления качению и (или) волочению, а также протаскиванию (перемещению) ПТ при его обработке и перемещении;

$\alpha'_{oj}$  – коэффициент, учитывающий нормальные силы сопротивления, возникающие в процессе резания (силы отжима);

$g$  – гравитационная постоянная;

$k$  – удельная работа резания,

- $b_j, H_j$  – параметры пропила,
- $\alpha_{0j} = \alpha'_{0j} u_j / v_j$  – коэффициент, учитывающий распределение мощности на нормальную составляющую;
- $u_j$  – скорость подачи;
- $v_j$  – скорость резания;
- $N_{енj}$  – номинальная мощность;
- $k_{pj} = Cp / t_o^p$  – коэффициент, учитывающий вклад в удельную работу резания шага  $t_{us}$ , вида пиления и типа режущего инструмента  $p_j$ , а также постоянных  $Cp$  при определении  $k_{0j}$  по эмпирической зависимости А.Л. Бершадского;
- $\delta_j$  – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс привода;
- $\alpha_j$  – угол (уклон), учитывающий направление движения ПТ или машины;
- $R_{xj}$  – путь, на котором выполняется деление древесины;
- $p_{lj}$  – показатель, уточняющий вид пиления и тип режущего инструмента;
- $d_j$  принимает значение в интервале  $[0,1]$  и определяет долю соответствующего компонента ПТ  $j$ -ветви относительно потока, принятого за основной из выходящих потоков для узла  $i$ ;
- $\Theta_j$  – коэффициент площади впадины  $(0,12 \dots 0,6)$ ;
- $\sigma_j$  – напряженность работы межзубовой впадины  $(0,6 \dots 0,8)$ ;
- $V_{H_j}$  – начальное значение объема ПТ в  $j$ -ой ветви;
- $V_{k_j}$  – конечное значение объема ПТ в  $j$ -ой ветви;
- $x_n^3(T) = Vy_{kn}$  – конечное значение объема ПТ для основного потока;
- $x_i^1(0) \leq l_{kn}$  – максимально допустимое расстояние перемещения ПТ;
- $X$  – матрица переменных состояния, состоящая из субматриц  $X_j$ ;
- $\dot{X}$  – матрица скоростей переменных состояния;
- $S(X)$  – матрица правых частей уравнений состояния;
- $U_r$  – матрица управлений;

$A$  – матрица инцидентности.

Преобразование бесконечномерной постановки (1) для последующего решения в конечномерную выполняется с использованием аналогичных, приведенных в [3], разностных схем. Однако в отличие от постановки в [3] обозначения индекса  $i$  в постановке (1) соответствует номеру узла. Поэтому индекс при дискретных переменных принимает значение  $z$  ( $z = \overline{0, Z}$ ) и определяет соответствие переменной  $x_z$  моменту времени с аналогичным индексом. В новых переменных уравнения состояния имеют вид

$$\bar{x}_{z+1} = \bar{x}_z + hF(\bar{x}_z, \bar{u}_{rz}, t_z),$$

а функционал

$$J = \sum_{j=1}^m h_j \sum_{z=0}^{Z-1} f_0(\bar{x}_{jz}, \bar{u}_{rjz}).$$

Аналогично представляются граничные условия и другие ограничения.

В конечномерной форме нелинейного программирования постановка задачи оптимального управления для совокупности ТП имеет следующий вид.

Найти процессы для совокупности ТП лесозаготовок (траектории  $\bar{x}_j^3, \bar{x}_j^1$  и управления  $\bar{u}_{rj}$ ), координаты начала  $\bar{x}_j^3, \bar{x}_j^1$  и окончания каждого из  $j$ -х процессов  $\bar{x}_{jz}^3, \bar{x}_{jz}^1$  и соответствующее синтезированным траекториям размещение и степень совмещения в пространстве и времени обрабатывающе-переместительных и транспортных функций, при которых функционал

$$g \dot{Y} \dot{O} \dot{I} = \sum_{j=1}^m h_j \sum_{z=0}^{Z-1} \left\{ \rho_j \delta_j \cdot \left( \frac{x_{j,z+1}^2 - x_{j,z}^2}{h_j} \right) + \right. \\ \left. + \rho_j g \left( f_j \cos \alpha_j \pm \sin \alpha_j \right) \right\} x_{j,z}^2 + \\ + \frac{(W_j)^{1-p_j} v_j p_j k p_j b_j (1-p_{1j}) H_j (1+\alpha_{0j})}{x_{j,z}^3} \rightarrow \min,$$

где  $W_j = \frac{x_{j,z+1}^3 - x_{j,z}^3}{h_j u_{rj,z}^2} \cdot R_{sj}$  или  $W_j = \frac{R_{sj}}{t_j}$ ;

технологические процессы соответствуют матричным уравнениям состояния в конечных разностях

$$X_{z+1} = X_z + h_j S(X_z) U_{rz};$$

уравнениям материального баланса в узлах и соединениям узлов  $A \cdot x_{j,z}^3 = \nabla V_{j,z}$ , здесь  $z$  принимает значение  $Z$ , равное 1 для входящих в узел ветвей и 0 для выходящих из узла; уравнением баланса скорости изменения объема разделяемых компонентов ПТ и материального баланса в ветвях

$$\sum_k \sum_j d_j \frac{x_{j,z+1}^3 - x_{j,z}^3}{h_j} = 0, \quad \sum_i \sum_j d_j x_{j,z}^3 = 0,$$

а также удовлетворяются ограничения:  
по номинальной мощности

$$\left[ \rho_j \cdot x_{j,z}^3 \cdot \delta_j \cdot \frac{x_{j,z+1}^2 - x_{j,z}^2}{h_j} + \rho_j \cdot x_{j,z}^3 \cdot g \left( f_j \cos \alpha_j \pm \sin \alpha_j \right) \right] x_{j,z}^2 + \left[ (W_j)^{1-p_j} v_j^{p_j} k_{p_j} b_j \left( 1 - p_{1j} \right) H_j \left( 1 + \alpha_{0j} \right) \right] \leq N_{ai_j};$$

по условиям размещения опилов в межзубовом пространстве для  $j$ -й ветви

$$\left[ \frac{(1 - u_{rj,z}^1) \cdot N_{en_j}}{x_{j,z}^2 k_{0j} b_j^{(1-p_{1j})} \cdot t_{0j}^{-p_j} \cdot H_j \cdot (1 + \alpha_{0j})} \right]^{\frac{1}{p_j-1}} \leq \frac{\Theta_j \cdot t_{0j}}{\sigma_j \cdot H_j};$$

по управлениям

$$0 \leq u_{rj,z}^1 \leq 1, \quad 0,00001 \leq u_{rj,z}^2 \leq V_{H_j} - V_{k_j};$$

по граничным условиям

$$x_{1,0}^3 = V_{i_1}, \quad x_{n,Z-1}^3 = V_{kn}, \quad x_{1,0}^1 = 0, \quad x_{n,Z-1}^1 = l_{kn}, \\ x_{1,0}^2 = 0, \quad x_{n,Z-1}^2 = 0;$$

на координаты размещения узлов

$$0 \leq x_{i,0}^1 \leq l_{kn}. \quad (2)$$

Постановка и решение задачи оптимального управления процессами лесозаготовок в форме (1, 2) в части оптимизации размещения и степени совмещения обрабатывающе-переместительно-транспортных функций и действий предполагает решение поставленной задачи с целью определения законов управления и использования их в различных видах регуляторов машин лесозаготовок с совмещенными функциями. Например, регулятор оптимального распре-

ления мощности между обрабатывающими, переместительными и транспортными процессами или регулятор исполнительных элементов скорости перемещения и изменения объема ПТ лесозаготовок в ходе получения конечного продукта.

Система матричных уравнений состояния совокупности ПТ, уравнения материального баланса и соединений узлов с уравнениями баланса скоростей изменения объема разделяемых компонентов ПТ, приведенных в постановках (1, 2), являются математической моделью существующих ПТ лесозаготовок, которая может быть использована для расчетов по совокупности ПТ в целом:

1. При заданной мощности для реализации  $n$  состояний ПТ и соответствующих им  $m$  технологических процессов определить скорости изменения объема и перемещения (транспортировки) ПТ по каждому из  $m$  процессов и по совокупности ПТ лесозаготовок в целом. Рассчитанные скорости используются для определения производительности  $j$ -го технологического процесса и совокупности ПТ в целом.

2. При заданной производительности совокупности ПТ в целом и каждого  $j$ -го технологического процесса ( $\Pi_j$ ) и, соответственно, скорости изменения объема ( $Vt_j$ ) и перемещения ПТ совместно с устройством перемещения и транспортировки (машиной) определить потребную мощность для реализации  $j$ -го технологического процесса и совокупности ПТ в целом.

### Библиографический список

- 1 Якимович С.Б. Оптимальное управление процессами лесозаготовок: уравнения состояний // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2003. – №3 (28). – С. 96–103
- 2 Якимович С.Б. Измерение и проектирование технологических процессов лесопромышленного комплекса. Деп. в ВИНТИ, № 1931 – В97. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 29 с.
- 3 Якимович С.Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2003. – № 5(30). – С. 149–160.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ

А.Ю. ШИРНИН, *асп. каф. ЭМО МарГТУ*

**В** зависимости от применяемых средств трелевку древесины разделяют на лебедочную, тракторную и машинную. В данной работе под комбинированной трелевкой понимают использование в одном процессе лебедочной, тракторной и машинной трелевки.

### Актуальность исследования

В связи с истощением лесного фонда, особенно в Европейской части территории Российской Федерации, возникает необходимость вовлечения в эксплуатацию заболоченных лесных массивов с ограниченными возможностями использования на этих площадях колесных и гусеничных движителей. Одним из возможных вариантов освоения заболоченных лесосек может быть применение на трелевке канатных установок. Подобные установки могут также эффективно использоваться при разработке лесосек с целью сохранения территорий от разрушений почвы гусеницами и колесами трелевочных машин.

В связи с этим вопросы ограничения перемещений машин в лесной среде за счет использования комбинированного способа трелевки являются актуальными.

### Анализ научных работ по лебедочной и комбинированной трелевке древесины

Исследования авторов [2, 4–6, 8, 10] посвящены лебедочной трелевке с использованием вертикальных мачт, установка которых сопряжена с большими трудовыми и денежными затратами. Перебазировка мастерских участков на базе таких установок сопряжена со значительными затратами времени и поэтому не может быть эффективной в равнинной местности.

Значительные исследования проведены по созданию мобильных лебедочных установок [1], с помощью которых мачты ус-

танавливаются на базовом тракторе. Их недостатком является то, что расстояние трелевки невелико, и, кроме того, они требуют времени на монтаж оборудования, хотя и могут быть эффективны при освоении горных лесов. Подобный опыт используется также и за рубежом.

Применение комбинированной трелевки отражено в литературе [7]. Трелевка осуществляется агрегатом ПДТ-03. В Швеции выпускается агрегат НИАБ 5-15, использующий лебедочную трелевку, управление которой осуществляется с дистанционного пульта. Основными недостатками данных устройств является то, что трелевка лебедкой осуществляется с низким размещением тягового каната, что не исключает упор хлыстов в пни и другие препятствия, а также нарушения лесной среды.

Нами предложен способ и машина для комбинированной трелевки леса [3]. Машина включает в себя трелевочное оборудование, состоящее из лебедки, арки А-образной формы, шарнирно закрепленной на раме трактора с возможностью наклона взад и вперед. На верхнем конце арки шарнирно закреплена стрела-коромысло, на одном конце которой установлен пачковый клещевой захват, а на другом – гидроцилиндр. Также вместе с пачковым клещевым захватом шарнирно закреплена рукоять, которая может поворачиваться относительно стрелы-коромысла в вертикальной плоскости с помощью гидроцилиндра. На дальнем конце рукояти смонтирован клещевой захват для обхвата стоящего дерева. На захвате установлен блок, через который пропускается канат. Чтобы избежать его провисания, внутри арки также устанавливается блок. В транспортном положении рукоять за счет гидроцилиндра ложится на стрелу-коромысло и закрепляется за кронштейн.

Предлагаемый способ позволяет трелевать деревья (хлысты) без заезда в пасечные волока. Машина с технологическим оборудованием заезжает по магистральному волоку и устанавливается напротив пасеки, на которой произведена валка деревьев и очистка их от сучьев. Далее стрелой манипулятора блок закрепляется на стволе одного из деревьев, расположенных у волока, на некоторой высоте, поднимая таким образом тяговый канат от поверхности земли. К концу каната прикреплены чокера, которыми чокеруются поваленные деревья (хлысты). После чокеровки и натяжения тяговый канат с поверхностью волока будет составлять в вертикальной плоскости некоторый угол  $\gamma$ .

#### Технологическая схема разработки пасеки при комбинированной трелевке

Схема разработки комбинированной трелевки представлена на рис. 1. Лесосека 1 разбивается на делянки с границей 2. Посередине делянки разрубается магистральное волоко 3. Делянку в свою очередь разбивают

на пасеки 4. Посередине пасеки размечают пасечные волока 5. Валку деревьев проводят обычным способом вершинами к пасечному волоку бензомоторными пилами. Далее у поваленных деревьев обрезают сучья и оставляют хлысты 7. Во время валки, обрезки сучьев и трелевки на делянках сохраняют либо подрост, либо не подлежащие валке деревья 8 (при несплошных и выборочных рубках). Зачокерованные деревья (хлысты), образуя пачку, подтрелевываются к машине 9 лебедкой. Подтрелеванную пачку 10 отцепляют и оставляют у магистрального волока. Далее цикл повторяется до тех пор, пока не будут подтрелеваны все деревья (хлысты) на пасеке в пределах досягаемости тягового каната. Далее рукоять у стрелы складывается и закрепляется за кронштейн. Используя клещевой захват, пачки треляют на погрузочный пункт 11, расположенный у лесовозной дороги 12, где осуществляется их выгрузка. После трелевки всех заготовленных на данной пасеке деревьев трелевочная машина переезжает к другой пасеке, и процесс повторяется.

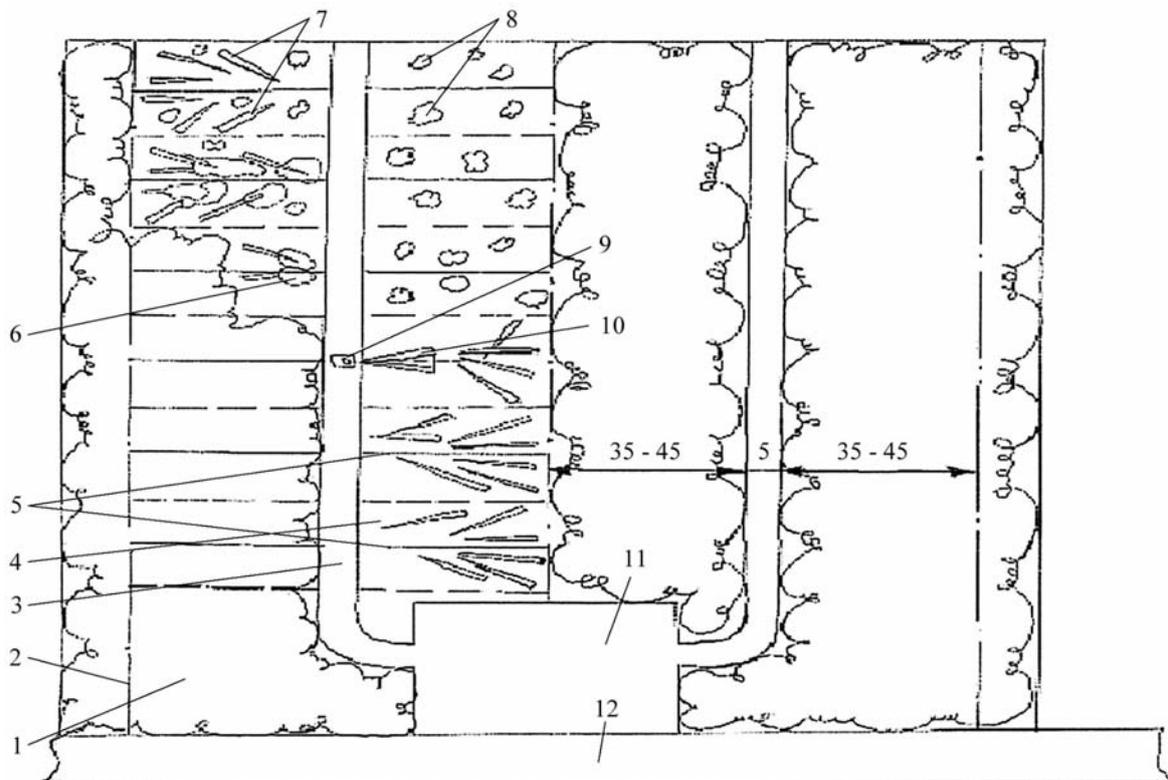


Рис. 1. Схема разработки пасек комбинированной трелевкой

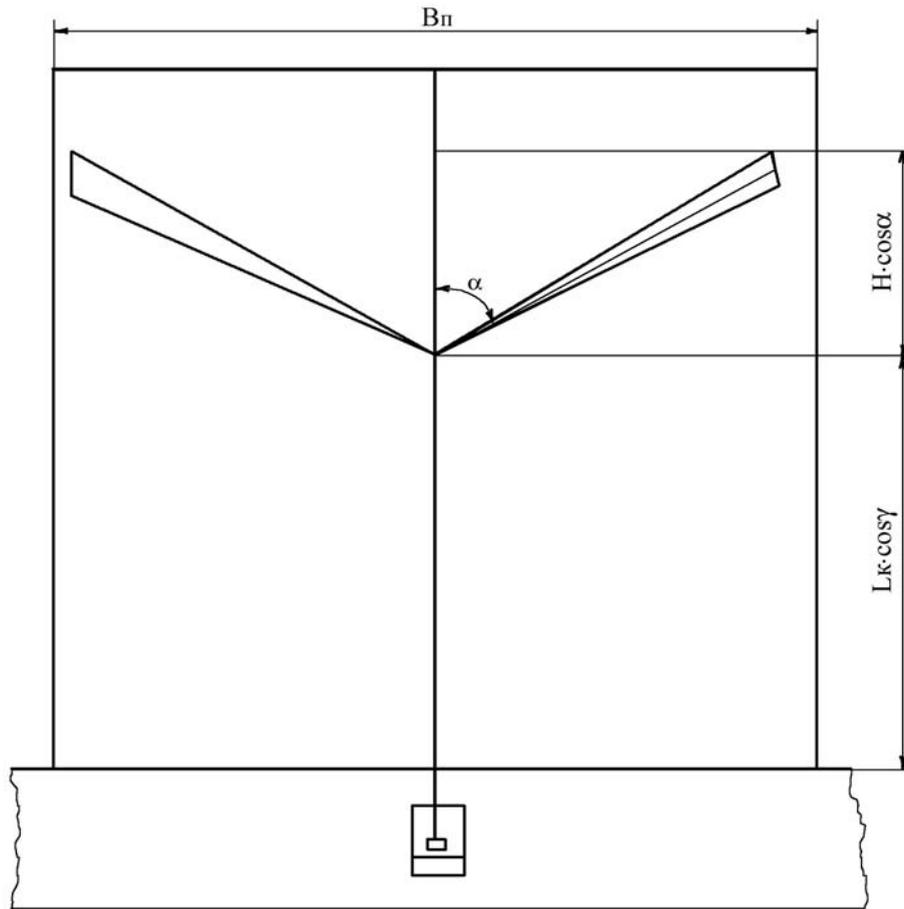


Рис. 2. Схема к расчету ширины делянки

Ширина делянки (рис. 2) определяется из выражения

$$\hat{A} = 2 \times (L_e \times \cos \gamma + H \times \cos \alpha) + \hat{a}_i, \quad (1)$$

где  $L_k$  – длина каната, м;

$H$  – средняя высота древостоя на делянке, м;

$\alpha$  – максимальный угол между осями дерева и волока, град.;

$\gamma$  – средний угол в первоначальный момент трелевки между канатом и волоком в вертикальной плоскости, град.;

$v_B$  – ширина волока, м.

Ширина пазухи определяется из выражения

$$\hat{A}_i = 2 \times H \times \sin \alpha. \quad (2)$$

### Моделирование процесса комбинированной трелевки

В работе [9] система параметров, влияющих на процесс лесозаготовок, разделяют на подсистемы: СО (система качеств, характеризующих подготовку оператора),

СТ (система технологических параметров), СМ (система, характеризующая параметры машин), СУР (система свойств, характеризующих условия работы), СПТ (система свойств предмера труда), СП (система свойств готовой продукции).

На блок-схеме информационно-логической модели данной трелевочной машины (рис. 3) блоки 1, 8, 12, 23, 25, 39, 42 отражают взаимодействие СМ и СО; 2, 4, 6, 31 – СО, СУР, СТ и СМ; 10, 14, 21, 27, 29, 37 – СО, СМ и СПТ; 16, 31 – СО, СУР, СТ, СМ и СПТ; 35, 41 – СО, СМ, СП. Контролирующие действия (блоки 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40) выполняет оператор.

Участие оператора в выполнении механических воздействий на рычаги управления (блоки 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 39) является для него большой физической и психологической нагрузкой и отражается на производительности машины.

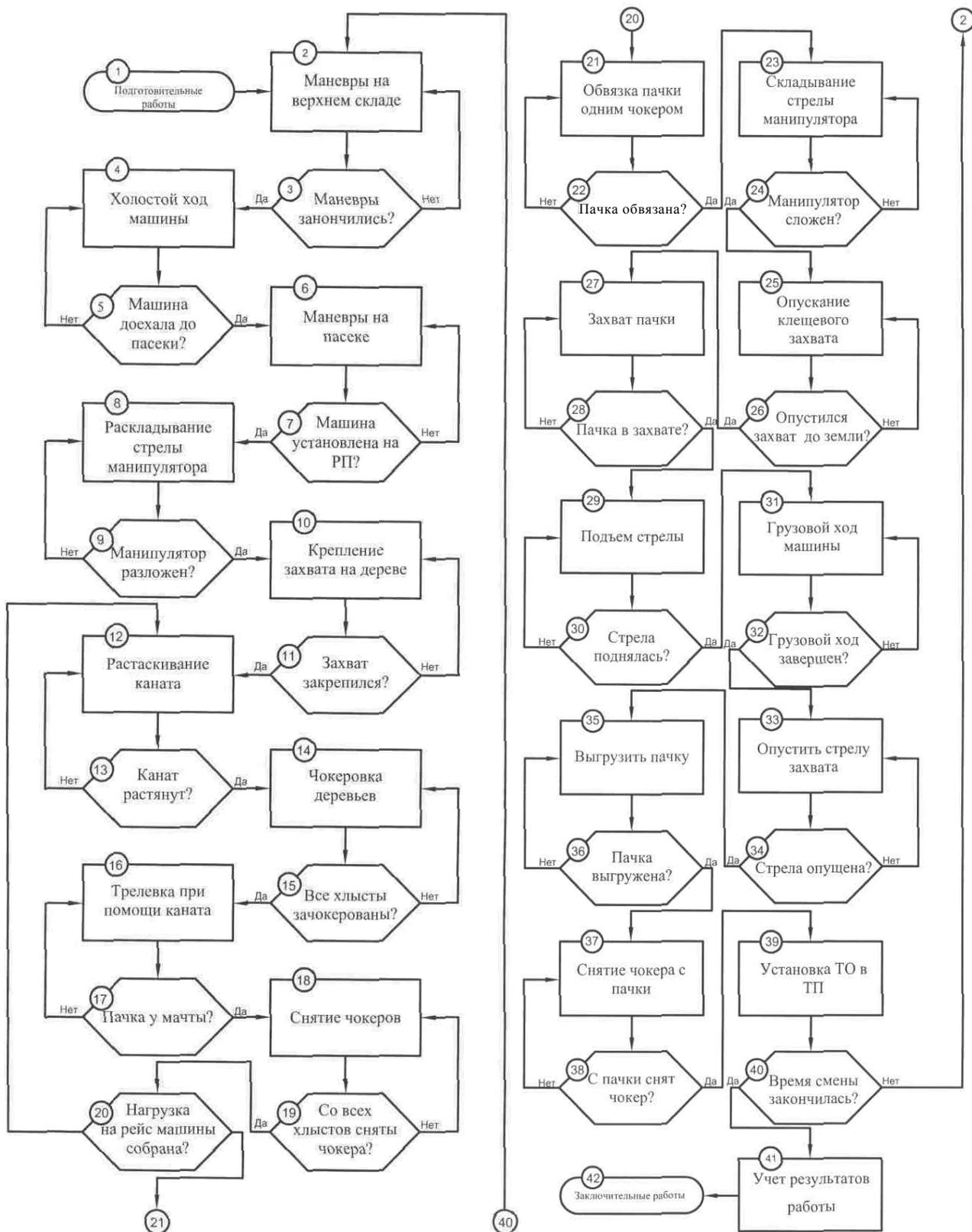


Рис. 3. Блок-схема информационно-логической модели комбинированного способа трелевки: ТО – технологическое оборудование; ТП – транспортное положение

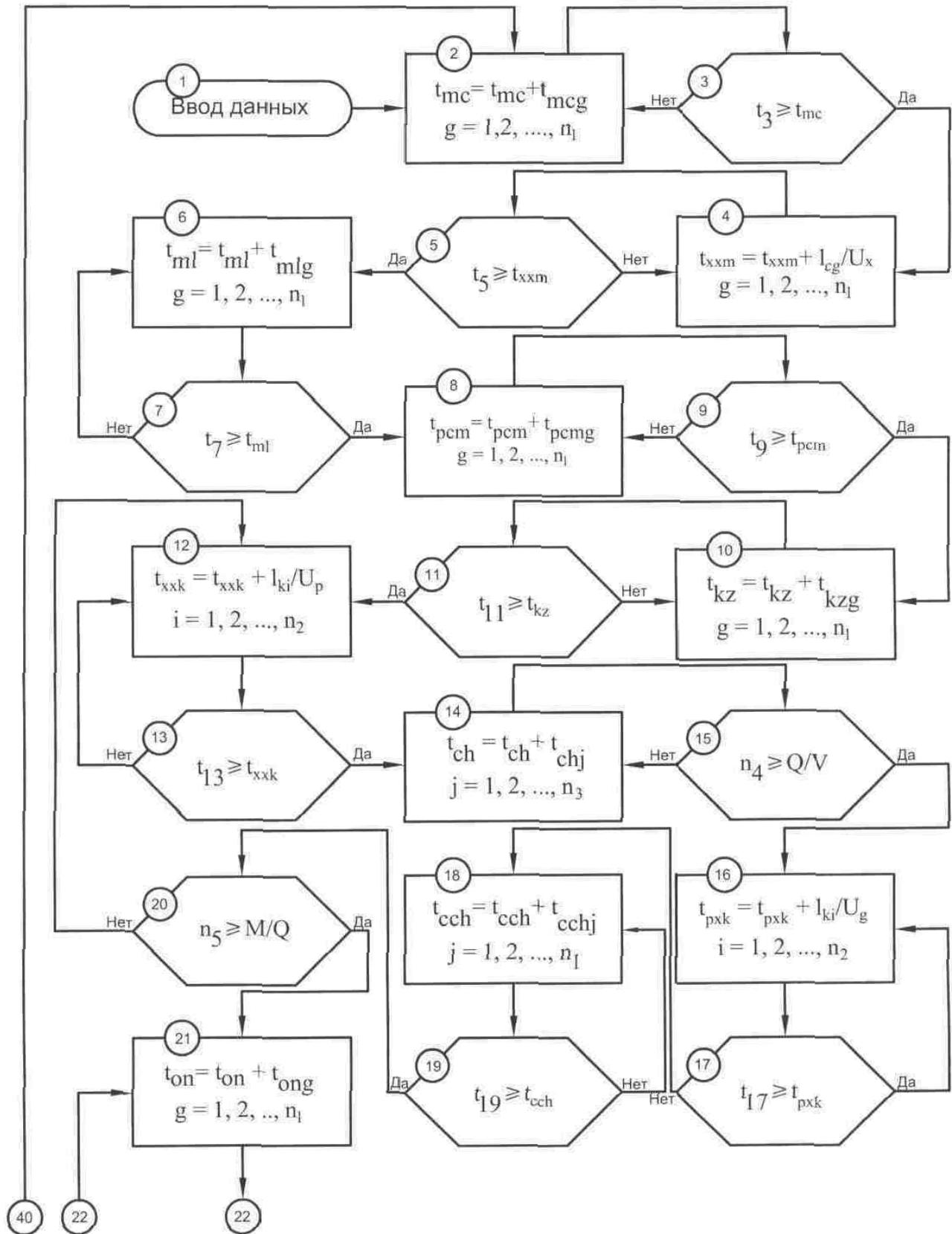


Рис. 4. Блок-схема математической модели комбинированного способа трелевки

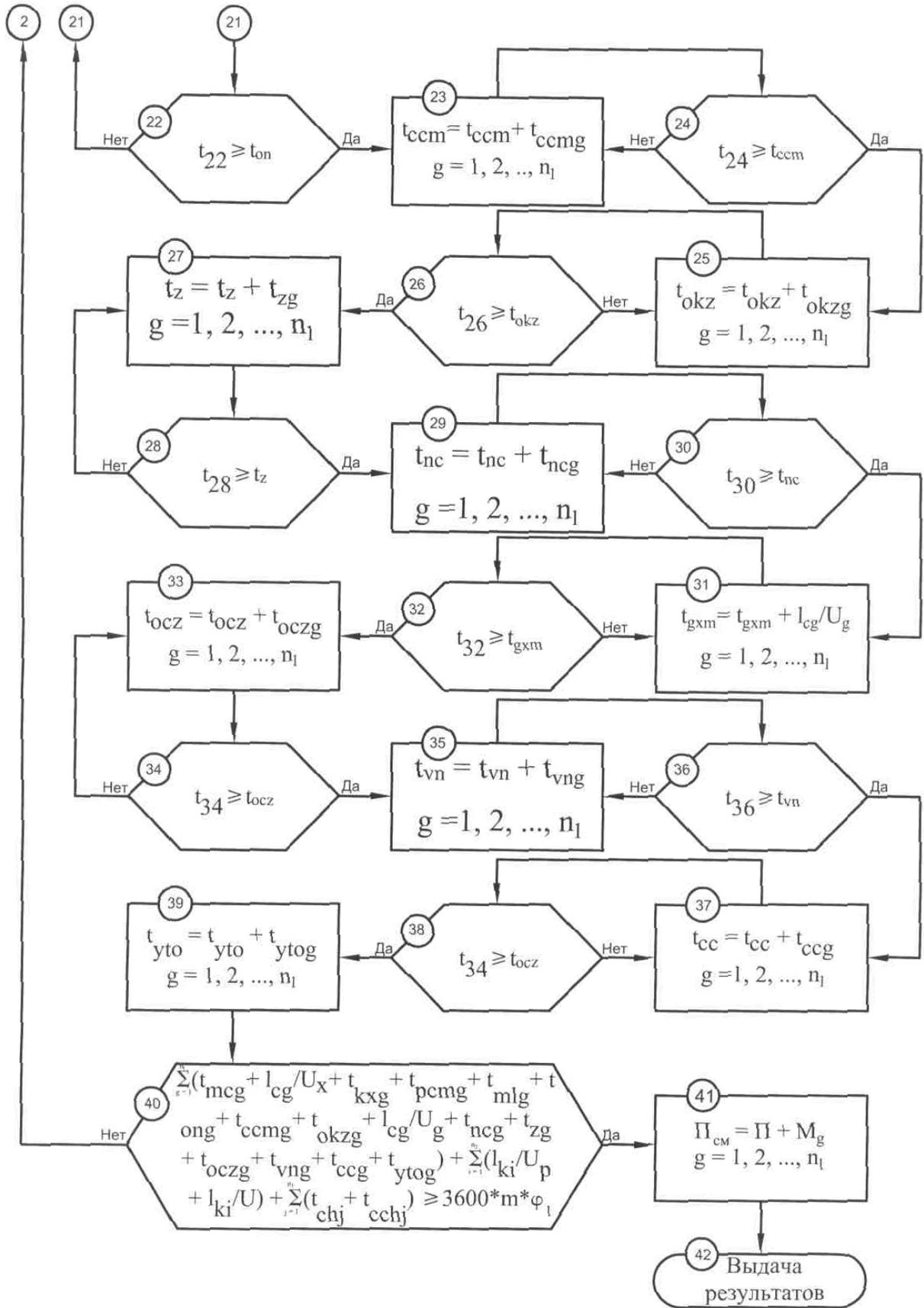


Рис. 4. (окончание)

На математической модели комбинированного способа трелевки число блоков равно числу блоков информационно-логической модели.

На эвристической основе разрабатывается блок-схема математической модели (рис. 4). Для ее создания выполняются дополнительная символизация параметров:

- $t_{mc}$  – время маневров на верхнем складе, с;
- $t_{xxm}$  – время холостого хода машины от верхнего склада до места сбора пачки, с;
- $t_{ml}$  – время маневров на лесосеке, с;
- $t_{pcm}$  – время раскладывания стрелы манипулятора, с;
- $t_{kz}$  – время крепления захвата на дереве, с;
- $t_{xxk}$  – время растаскивания каната, с;
- $t_{ch}$  – время чоковой хлыстов, с;
- $t_{pxk}$  – время на подтрелевку хлыстов лебедкой, с;
- $t_{cch}$  – время снятия чоковой, с;
- $t_{on}$  – время на обвязку пачки одним чоком, с;
- $t_{ccm}$  – время складывания стрелы манипулятора, с;
- $t_{okz}$  – время опускания клещевого захвата, с;
- $t_{nc}$  – время подъема стрелы, с;
- $t_{gxm}$  – время грузового хода машины, с;
- $t_{ocz}$  – время опускания стрелы захвата, с;
- $t_{vm}$  – время выгрузки пачки, с;
- $t_{cc}$  – время снятия чока, с;
- $t_{yto}$  – время установки технологического оборудования в транспортное положение, с;
- $n_1$  – число стрелеванных машиной пачек в смену;
- $n_2$  – число пачек, стрелеванных в смену при помощи каната;
- $n_3$  – число зачочеренных хлыстов или деревьев в смену;
- $n_4$  – число деревьев, стрелеваемых при помощи каната за один прием (число чоков).

$$n_1 = \frac{\dot{I}_{ni}}{M}, \quad (3)$$

где  $\dot{I}_{ni}$  – сменная производительность машины, м<sup>3</sup>/см;

$M$  – объем пачки, трелеваемой машиной, м<sup>3</sup>.

$$n_2 = \frac{\dot{I}_{ni}}{z \times V_{\dot{n}d}} = \frac{\dot{I}_{ni}}{Q}, \quad (4)$$

где  $z$  – число чоков;

$V_{cp}$  – средний объем хлыста, м<sup>3</sup>;

$Q$  – объем пачки, трелеваемой лебедкой за один прием, м<sup>3</sup>

$$n_3 = \frac{\dot{I}_{ni}}{V_{\dot{n}d}}. \quad (5)$$

Время, затрачиваемое в течение смены на выполнение всех действий, суммируется и сравнивается в блоке 40 со временем смены ( $3600 \times m \times \phi_1$ ). Взаимосвязь затрат времени и количества стрелеванных пачек определяется производительностью машины.

В момент окончания смены выражение (блок 40) можно записать в виде

$$n_1 \times (t_{mcg} + \frac{l_{cg}}{U_x} + t_{mlg} + t_{pcmg} + t_{kzg} + t_{ong} + t_{cimg} + t_{okzg} + t_{zcg} + t_{ncg} + \frac{l_{cg}}{U_g} + t_{oczg} + t_{vng} + t_{ccg} + t_{ylog}) + n_2 \times (\frac{l_{ki}}{U_p} + \frac{l_{ki}}{U}) + n_3 \times (t_{chj} + t_{cchj}) = 3600 \times m \times \phi_1. \quad (6)$$

Подставим значение  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  соответственно из формул (3–5) в выражение (6), получим

$$\frac{\dot{I}_{ni}}{M} \times (t_{mcg} + \frac{l_{cg}}{U_x} + t_{mlg} + t_{pcmg} + t_{kzg} + t_{ong} + t_{cimg} + t_{okzg} + t_{zcg} + t_{ncg} + \frac{l_{cg}}{U_g} + t_{oczg} + t_{vng} + t_{ccg} + t_{ylog}) + \frac{\dot{I}_{ni}}{z \times V_{\dot{n}d}} \times (\frac{l_{ki}}{U_p} + \frac{l_{ki}}{U}) + \frac{\dot{I}_{ni}}{V_{\dot{n}d}} \times (t_{chj} + t_{cchj}) = 3600 \times m \times \phi_1. \quad (7)$$

Решая уравнение (7) относительно  $\dot{I}_{ni}$ , находим выражение для определения производительности трелевочной машины

$$\dot{I}_{ni} = \frac{3600 \times m \times \phi_1 \times M}{\left( t_{mcg} + \frac{l_{cg}}{U_x} + t_{mlg} + t_{pcmg} + t_{kzg} + t_{ong} + t_{ccmg} + t_{okzg} + t_{zcg} + t_{ncg} + \frac{l_{cg}}{U_g} + t_{oczg} + t_{vng} + t_{ccg} + t_{ylog} + \frac{M}{z \times V_{\dot{n}d}} \times (\frac{l_{ki}}{U_p} + \frac{l_{ki}}{U}) + \frac{M}{V_{\dot{n}d}} (t_{chj} + t_{cchj}) \right)}. \quad (8)$$

Зависимость сменной производительности трелевочной машины от параметров СТ, СПТ, СМ при ее работе по схеме рис. 1, рассчитанная по формуле (8), представлена рис. 5–7.

Анализ графика рис. 5 и уравнение (8) показывают, что производительность трелевочной машины растет при уменьшении среднего объема хлыста и увеличении расстояния трелевки.

Из графика рис. 6 видно, что уменьшение нагрузки на рейс трелевочной маши-

ны и увеличение расстояния трелевки приводят к снижению сменной производительности трелевочной машины.

Динамика роста производительности (рис. 7) трелевочной машины тем больше, чем больше нагрузка на рейс и средний объем хлыста.

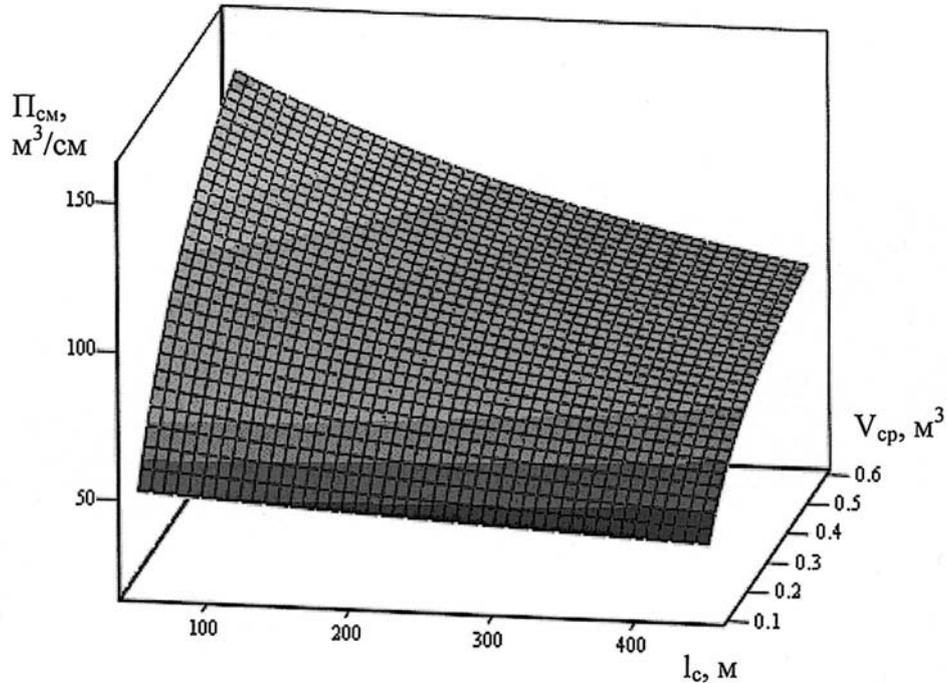


Рис. 5. График сменной производительности ( $P_{cm}$ ) трелевочной машины в зависимости от расстояния трелевки  $l_c$  (м) и среднего объема хлыста  $V_{cp}$  ( $M^3$ )

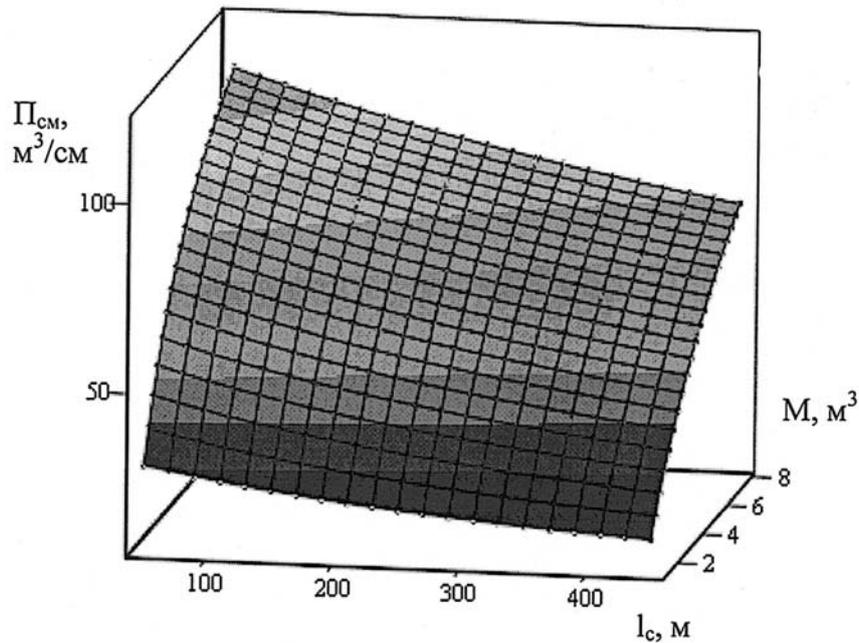


Рис. 6. График сменной производительности ( $P_{cm}$ ) трелевочной машины в зависимости от расстояния трелевки  $l_c$  (м) и нагрузки на рейс  $M$  ( $M^3$ )

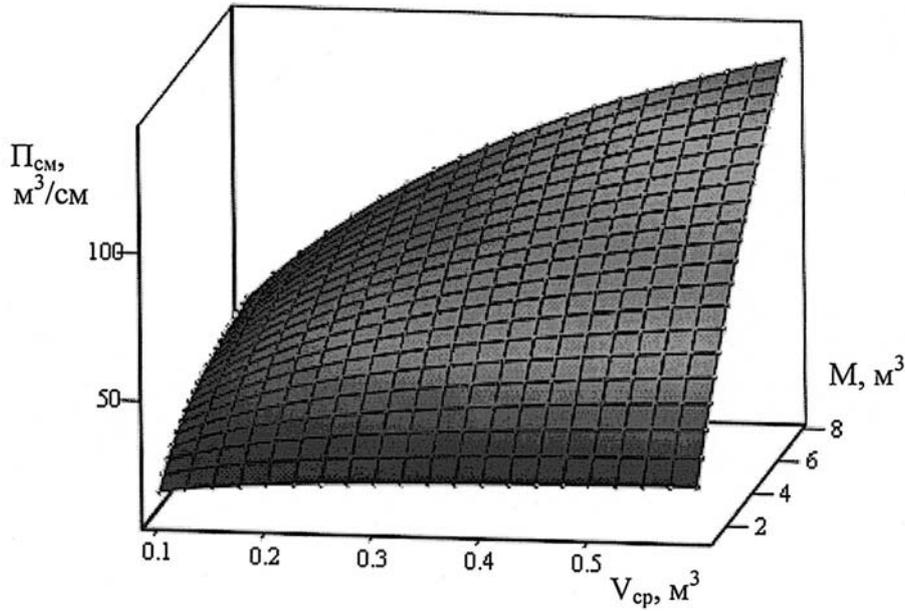


Рис. 7. График сменной производительности ( $P_{cm}$ ) трелевочной машины в зависимости от среднего объема хлыста  $V_{cp}$  ( $M^3$ ) и нагрузки на рейс  $M$  ( $M^3$ )

### Выводы

1. Одним из путей сохранения лесной среды и возможностей освоения лесосек на переувлажненных (заболоченных) грунтах и для сохранения лесной среды является комбинированный способ трелевки.

2. Всесторонний анализ комбинированного способа трелевки может быть выполнен путем последовательного информационно-логического и математического моделирования процессов.

3. Полученная математическая модель процесса комбинированной трелевки и формула (8) позволяют находить производительность машины в широком диапазоне изменения факторов: предмета труда, условия работы, технологии и машины.

4. Графики рис. 5–7 наглядно показывают динамику изменения производительности машины в зависимости от перечисленных выше факторов.

### Библиографический список

1. Занегин Л.А., Шабалин Н., Мацкевич К.Н., Уфимцев Е.А. Мобильные короткодистанционные канатные установки; Экспресс-информ. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1984. – 28 с., ил., табл.

2. Кочегаров В.Г., Федяев Л.Г., Лавров И.А. Технология и машины лесосечных и лесовосстановительных работ. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 400 с.

3. Патент №2224417 РФ, МКИ 7 А 01 G 23/02. Способ и машина для трелевки / Ю.А. Ширнин, Я.И. Шестаков, А.Ю. Ширнин – Оpubл. 27.02.2004. Бюл. №16. – 8 с.

4. Рахманов С.И. К вопросу о расчете трелевочных мачт // Лесн. журн. – 1959. – №5. – С. 62 – 69.

5. Рахманов С. И. Расчет натяжения тросов в подвесных установках // Лесн. журн. – 1960. – № 1. – С. 63 – 72.

6. Силаев Г. В. Механизация работ в комплексном лесном предприятии / Г.В. Силаев, О.М. Шапкин, А.А. Золотаревский. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 272 с.

7. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В. Сортиментная заготовка леса: Учеб. пособие. – Екатеринбург: УГЛТА, 1999. – 129 с.

8. Ширнин А.Ю. Вопросы исследования подтрелевки лесоматериалов канатом, волоком и в полуподвешенном положении // Транспорт в лесном комплексе. Сб. науч. тр., посвященный 70-летию кафедры сухопутного транспорта леса МарГТУ. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – С. 93–96.

9. Ширнин Ю.А. Моделирование процессов заготовки сортированных деревьев и хлыстов. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 204 с.

10. Ширнин Ю.А. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Часть 1. Лесосечные работы: Учеб. пособие. – М.: МГУЛ, 2004. – 446 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ХЛЫСТОВ НА ЛЕСОСЕКЕ

Н.К. КЛИМУШЕВ, доц. каф. технологии и машин лесозаготовок Ухт.ГТУ, канд. техн. наук

Управление запасами хлыстов на лесосеке относится к системным задачам большой сложности. В процессах формирования и потребления запасов хлыстов принимают участие системы специализированных технологических машин, операторы и рабочие, действующие в существенно меняющихся природно-климатических и лесорастительных условиях. В сложных системах такого класса установление аналитических зависимостей между основными факторами не представляется возможным.

В условиях реального лесозаготовительного производства практически всегда создаются и поддерживаются буферные запасы лесоматериалов, позволяющие снизить неравномерность производственных процессов и избежать простоев на последующих технологических операциях. В лесозаготовительных предприятиях стараются избежать снижения уровня запасов ниже некоторого порогового уровня, определяемого зачастую интуитивно. Однако полностью избежать таких нежелательных ситуаций не всегда возможно. Предотвращение подобных нежелательных ситуаций требует прогнозирования производственных процессов на основе моделирования. Для решения такой задачи в системах автоматизированного управления лесозаготовительным производством необходима адекватная модель.

Наиболее универсальным методом моделирования технологических процессов лесозаготовительного производства последние три десятилетия является имитационное моделирование. Имитационное моделирование предоставляет широкие возможности для оптимизации производственных процессов. Важным преимуществом имитационного моделирования является отражение случайного характера моделируемых процессов. Вместе с тем возможности имитационного

моделирования ограничиваются применением корреляционно-регрессионных моделей, придающих ему статичность и ограниченную идеализацию.

Альтернативой корреляционно-регрессионному моделированию является нечеткое моделирование. Нечеткое моделирование относится к современным высоким технологиям. Актуальность технологии нечеткого моделирования и ее преимущество перед классическими концепциями моделирования проявляется в условиях действующей тенденции возрастания сложности математических и формальных моделей реальных систем и процессов управления. Эта тенденция обусловлена желанием повысить их адекватность при одновременном увеличении числа учитываемых факторов. В этих условиях традиционные методы построения моделей не приводят к удовлетворительным результатам, когда исходное описание решаемой проблемы заведомо является неполным или неточным. Полное и точное описание в большинстве случаев является либо невозможным, либо требует чрезвычайно больших затрат времени и сил, несоизмеримых с получаемыми результатами.

В подобных случаях наиболее целесообразно воспользоваться такими методами, которые специально ориентированы на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных. Именно в таких ситуациях технология нечеткого моделирования является наиболее конструктивной.

Центральное место в нечетком моделировании занимает база правил нечетких продукций. В то же время существуют классы прикладных задач, в которых выявление и построение правил нечетких продукций невозможно или связано с серьезными трудностями концептуального характера. К та-

ким задачам относятся экстраполяция и интерполяция функциональных зависимостей, классификация и прогнозирование, нелинейное и ситуационное управление и др.

Общей особенностью подобных задач является существование некоторой зависимости или отношений, связывающих входные и выходные переменные в форме модели «черного ящика». При этом выявление и определение данной зависимости в явном теоретико-множественном или аналитическом виде не представляется возможным либо по причине недостатка информации о моделируемой проблемной области, либо сложности учета многообразия влияющих факторов.

Суждения, свойственные качественной оценке процессов человеком, обозначают явления как подмножества в координатах: уровень достоверности – интервал достоверности. Основной особенностью применения нечетких множеств является однозначность факта принадлежности (непринадлежности) множеству. Теория нечетких множеств позволяет избежать искусственного снижения неопределенности. Поэтому нечеткие высказывания обретают смысл точных чисел. Это – эффективное математическое моделирование процессов управления экономическими объектами.

Для конструктивного решения подобных задач разработан специальный математический аппарат – нейронные сети. Достоинством моделей, построенных на основе нейронных сетей, является возможность получения новой информации о проблемной области в форме некоторого прогноза. При этом построение и настройка нейронных сетей осуществляется посредством их обучения на основе имеющейся и доступной информации. Свойство обучения нейронных сетей является одним из самых замечательных качеств нейронных сетей.

Недостатком нейронных сетей является предоставление знаний о проблемной области в специальном виде.

Нечеткие нейронные или гибридные сети призваны объединить в себе достоинства нейронных систем и систем нечеткого

вывода. С одной стороны, они позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной информации. С другой стороны, для построения правил нечетких продукций используются методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким процессом. В последнее время аппарат гибридных сетей повсеместно признается специалистами как один из наиболее перспективных для решения слабо или плохо структурированных задач прикладного системного анализа [1].

Нейронная сеть представляет собой совокупность отдельных нейронов, взаимодействующих между собой некоторым фиксированным образом. При этом взаимодействие нейронов определяется или задается структурой (топологией) нейронной сети.

Процесс построения и использования нейросетевых моделей состоит из следующих этапов:

1) выбор типа и структуры нейронной сети для решения поставленной проблемы (синтез структуры нейронной сети);

2) обучение нейронной сети (определение численных значений весов каждого из нейронов) на основе имеющейся информации о решении данной задачи экспертом или данных о решении задачи в прошлом;

3) проверка нейронной сети на основе использования некоторого контрольного примера (необязательный этап);

4) использование обученной нейронной сети для решения поставленной проблемы.

Выбор вида и структуры нейронной сети предопределяется спецификой решаемой задачи. При этом для решения отдельных типов практических задач разработаны оптимальные конфигурации нейронной сети, которые наиболее адекватно отражают особенности соответствующей проблемной области. Дальнейшим развитием нейронной сети являются так называемые гибридные сети.

Гибридная сеть представляет собой многослойную нейронную сеть специальной

структуры без обратных связей, в которой используются обычные (не нечеткие) сигналы, веса и функции активации, а выполнение операции суммирования основано на использовании фиксированной Т-нормы, Т-конормы или некоторой другой непрерывной операции. При этом значения входов, выходов и весов гибридной нейронной сети представляют собой вещественные числа из отрезка  $[0, 1]$ .

Основная идея, положенная в основу модели гибридной сети, заключается в том, чтобы использовать существующую выборку данных для определения параметров функций принадлежности, которые лучше всего соответствуют некоторой системе нечеткого вывода. При этом для нахождения параметров функций принадлежности используются известные процедуры обучения нейронной сети.

Нечеткая логика, которая служит основой для реализации методов нечеткого управления, более естественно описывает характер человеческого мышления, чем традиционные формально-логические системы.

Именно поэтому изучение и использование математических средств для представления нечеткой исходной информации позволяет строить модели, которые наиболее адекватно отражают различные аспекты неопределенности, постоянно присутствующей в окружающей нас реальности.

Под нечеткой моделью понимается информационно-логическая модель системы, построенная на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики. Процесс нечеткого моделирования содержит этапы:

- 1) анализ проблемной ситуации;
- 2) структуризация предметной области и построение нечеткой модели;
- 3) выполнение вычислительных экспериментов с нечеткой моделью;
- 4) использование результатов экспериментов;
- 5) коррекция или доработка нечеткой модели.

Характерным признаком сложности построения модели является неопределенность в представлении структуры или поведения системы-оригинала.

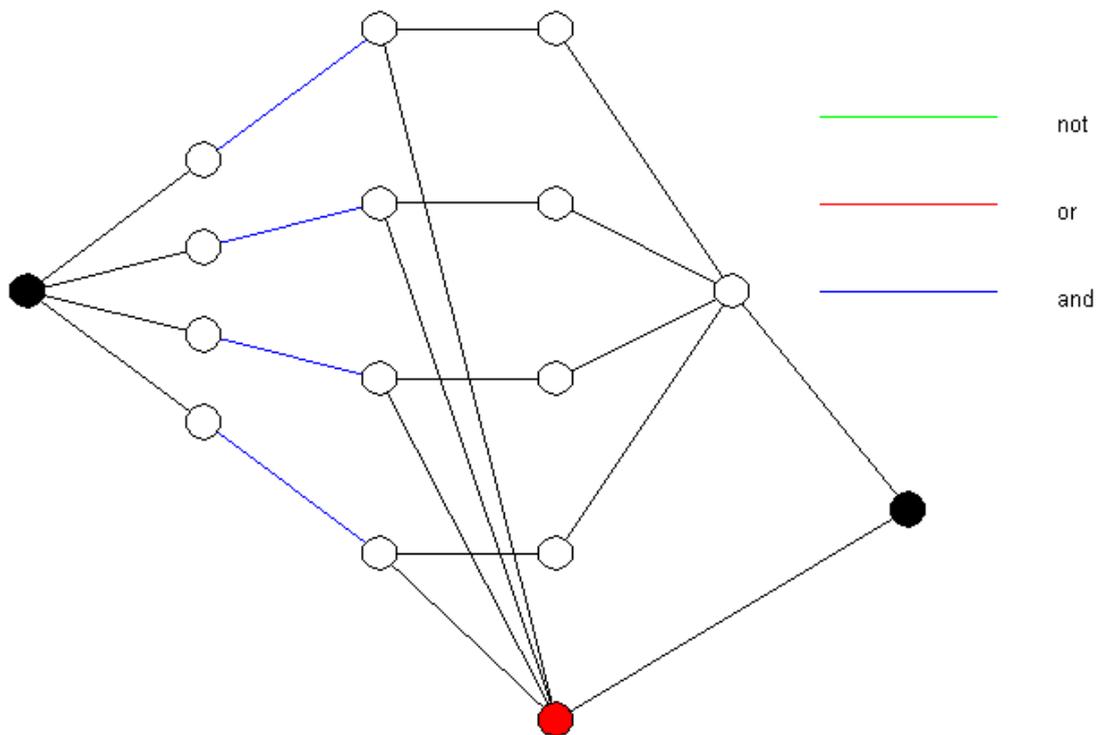


Рисунок. Структура сгенерированной гибридной сети класса ANFIS

Рассмотрим гибридную модель запасов хлыстов на лесосеке, построенную на основе обучения на примере реального производственного процесса Усогорского лесозаготовительного предприятия в условиях существенного влияния недостатка запасов на уровень вывозки. Выполненный анализ влияния основных факторов лесозаготовительного процесса позволил установить высокую степень корреляции объемов вывозки от уровня запасов. При этом даже такой фактор, как уровень суточной заготовки, значительно не коррелирует с уровнем вы-

возки, следовательно, возможно построение нейросети вида один вход (уровень запасов лесоматериалов на погрузочных пунктах) – один выход (уровень вывозки). Гибридная сеть класса ANFIS, построенная в среде Matlab, представлена на рисунке. Ее можно использовать в экспертных советующих системах и нейросетевых моделях лесозаготовительного производства.

#### Библиографический список

1. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

## НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ВЫВОЗКОЙ

Н.К. КЛИМУШЕВ, доц. каф. технологии и машин лесозаготовок Ухт.ГТУ, канд. техн. наук

Лесозаготовительные предприятия в составе вертикально-интегрированных структур (холдингов) создают запасы товарных лесоматериалов для поставки на перерабатывающие предприятия. В условиях централизованной вывозки лесоматериалов с ряда лесозаготовительных предприятий возникает задача рационального управления процессом. Основными факторами, определяющими рациональный уровень вывозки, являются текущий уровень запасов лесоматериалов и темпы его пополнения.

Для текущей оценки уровня запасов лесоматериалов применяются, как правило, качественные, недостаточно четко определенные показатели. В таких условиях для управления процессом целесообразно применение экспертных советующих систем, в основу которых положена нейро-нечеткая модель.

Цель создания экспертных систем заключается в разработке программ, которые при использовании знаний, полученных от специалистов в данной предметной области, решают те же проблемы, экспертами в которых являются эти специалисты.

Экспертные системы отличаются от систем обработки данных тем, что в них в основном используется символичный, а не

числовой способ представления, символичный вывод и эвристический поиск.

Суждения, свойственные качественной оценке процессов человеком, обозначают явления как подмножества в координатах: уровень достоверности – интервал достоверности. Основной особенностью применения нечетких множеств является однозначность факта принадлежности (непринадлежности) множеству. Теория нечетких множеств позволяет избежать искусственного снижения неопределенности. Поэтому нечеткие высказывания обретают смысл точных чисел – это эффективное математическое моделирование процессов управления экономическими объектами.

Теория нечетких множеств позволяет описывать качественные неточные понятия и знания об окружающем мире, а также оперировать этими понятиями с целью получения новой информации. Основанные на этой теории методы построения информационных моделей существенно расширяют традиционные области применения компьютеров и образуют самостоятельное направление научно-прикладных исследований, которое получило специальное название – нечеткое моделирование.

В последнее время нечеткое моделирование является одним из наиболее активных и перспективных направлений прикладных исследований в области управления и принятия решений. Нечеткое моделирование оказывается особенно полезным тогда, когда в описании технических систем и бизнес-процессов присутствует неопределенность, которая затрудняет или даже исключает применение точных количественных методов и подходов.

В области управления техническими системами нечеткое моделирование позволяет получать более адекватные результаты по сравнению с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических методов и моделей.

Для конструктивного решения подобных задач разработан специальный математический аппарат – *нейронные сети*. Достоинством моделей, построенных на основе нейронных сетей, является возможность получения новой информации о проблемной области в форме некоторого прогноза. При этом построение и настройка нейронных сетей осуществляются посредством их обучения на основе имеющейся и доступной информации.

Недостатком нейронных сетей является представление знаний о проблемной области в специальном виде.

Нечеткие нейронные или гибридные сети призваны объединить в себе достоинства нейронных систем и систем нечеткого вывода. С одной стороны, они позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной информации. С другой стороны, для построения правил нечетких продукций используются методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким процессом. В последнее время аппарат гибридных сетей повсеместно признается специалистами как один из наиболее перспективных для решения слабо или плохо структурированных задач прикладного системного анализа [1].

Рассмотрим нечеткую модель управления вывозкой лесоматериалов одновре-

менно из нескольких лесозаготовительных предприятий. Центральное место в нечетком моделировании занимает база правил нечетких продукций.

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода будем рассматривать две нечеткие лингвистические переменные: «*темпы заготовки лесоматериалов*» и «*наличие запасов лесоматериалов на погрузочном пункте*» (или сокращенно – «*наличие запасов*»), а в качестве выходных параметров – нечеткую лингвистическую переменную – «*интенсивность вывозки*».

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной «*темпы заготовки лесоматериалов*» будем использовать множество  $T_1 = \{\text{«низкие»}, \text{«средние»}, \text{«высокие»}\}$ , а в качестве терм-множества второй лингвистической переменной «*наличие запасов лесоматериалов на погрузочном пункте*» будем использовать множество  $T_2 = \{\text{«недостаточные»}, \text{«достаточные»}, \text{«избыточные»}\}$ . В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной «*интенсивность вывозки*» будем использовать множество  $T_3 = \{\text{«малая»}, \text{«средняя»}, \text{«большая»}\}$ .

При этом каждый из термов первой и второй входной переменной будем оценивать по 10-балльной порядковой шкале, при которой цифре 0 соответствует наименьшая оценка, а цифре 10 – наивысшая оценка. Что касается термов выходной переменной, то будем предполагать, что малая интенсивность составляет около 10 % имеющихся запасов лесоматериалов, средняя – около 20 %, а высокая – около 30 %.

Сформулируем правила нечетких продукций следующего вида (система нечеткого вывода типа Мамдани):

ПРАВИЛО 1: ЕСЛИ «*темпы заготовки лесоматериалов низкие*» И «*запасы лесоматериалов на погрузочном пункте недостаточные*», ТО «*интенсивность вывозки малая*».

ПРАВИЛО 2: ЕСЛИ «*темпы заготовки лесоматериалов низкие*» И «*запасы лесоматериалов на погрузочном пункте достаточные*», ТО «*интенсивность вывозки средняя*».

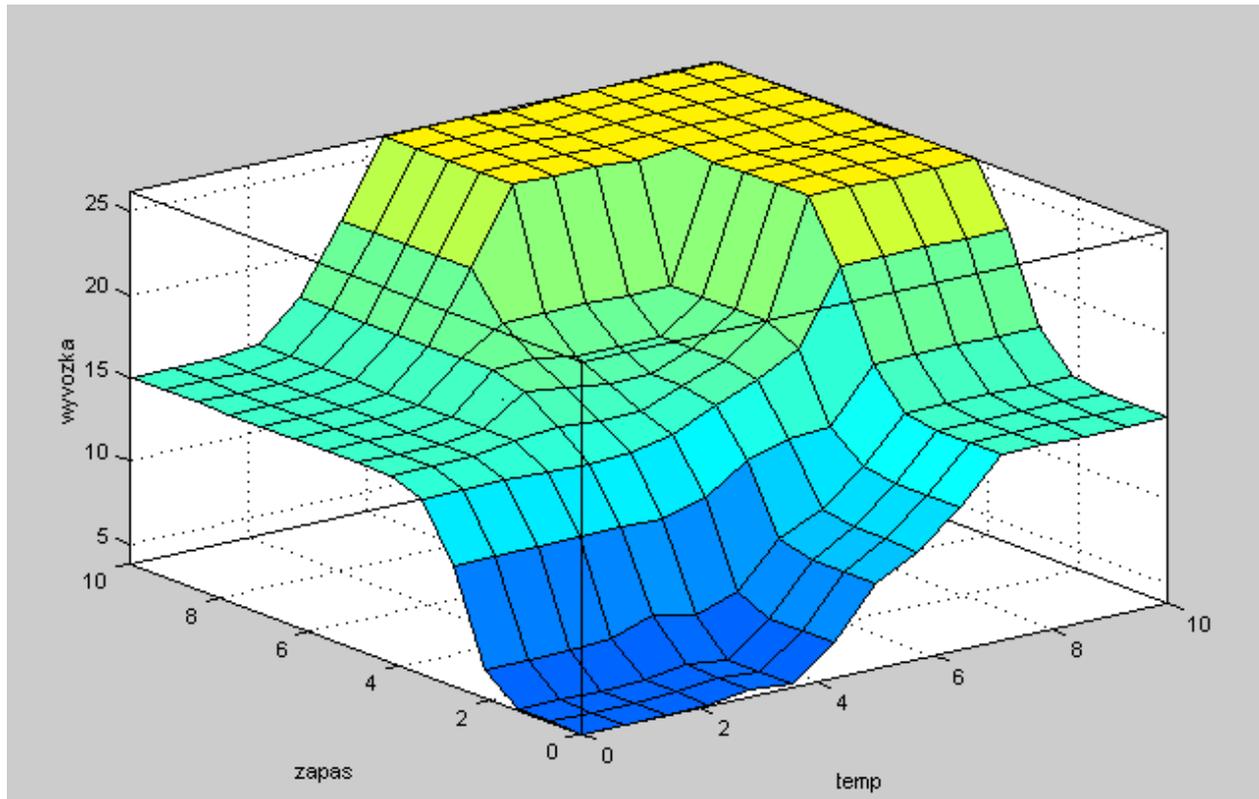


Рис. 1. Поверхность нечеткого вывода управления вывозкой

**ПРАВИЛО 3:** ЕСЛИ «темпы заготовки лесоматериалов низкие» И «запасы лесоматериалов на погрузочном пункте избыточные», ТО «интенсивность вывозки средняя».

**ПРАВИЛО 4:** ЕСЛИ «темпы заготовки лесоматериалов средние» И «запасы лесоматериалов на погрузочном пункте недостаточные», ТО «интенсивность вывозки малая».

**ПРАВИЛО 5:** ЕСЛИ «темпы заготовки лесоматериалов средние» И «запасы лесоматериалов на погрузочном пункте достаточные», ТО «интенсивность вывозки средняя».

**ПРАВИЛО 6:** ЕСЛИ «темпы заготовки лесоматериалов средние» И «запасы лесоматериалов на погрузочном пункте избыточные», ТО «интенсивность вывозки большая».

**ПРАВИЛО 7:** ЕСЛИ «темпы заготовки лесоматериалов высокие» И «запасы лесоматериалов на погрузочном пункте недостаточные», ТО «интенсивность вывозки средняя».

**ПРАВИЛО 8:** ЕСЛИ «темпы заготовки лесоматериалов высокие» И «запасы лесоматериалов на погрузочном пункте достаточные», ТО «интенсивность вывозки большая».

**ПРАВИЛО 9:** ЕСЛИ «темпы заготовки лесоматериалов высокие» И «запасы лесоматериалов на погрузочном пункте избыточные», ТО «интенсивность вывозки большая».

Поверхность нечеткого вывода управления вывозкой, полученная на основе разработанной модели, представлена на рисунке.

Нейро-нечеткое моделирование допускает широкое варьирование и дифференциацию терм-множеств лингвистических переменных, а также применение различных функций принадлежности, что расширяет возможности использования модели.

### Библиографический список

1. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH.– СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

**АНАЛИЗ ЗАЗОРА ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР НАСОСА 4-УТНМ**

Ю.А. ШАМАРИН, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ

При эксплуатации дизелей значительная доля отказов приходится на топливную аппаратуру: на дизели типа ЯМЗ – около 25 %, на тракторные двигатели СМД – 14–30 %.

Надежность топливной аппаратуры определяется прежде всего работой прецизионных деталей – плунжера и его втулки. Средний ресурс плунжерной пары до потери гидроплотности составляет 3149 мото-часов. Исследование микрогеометрии изношенных поверхностей прецизионных деталей, в частности, втулок плунжеров и плунжеров топливных насосов высокого давления УТН-5М, показало их локальный износ.

Процесс износа происходит следующим образом. Мелкие абразивные частицы, имеющие малую массу, но обладающие значительной кинетической энергией, благодаря высокой скорости острыми кромками снимают микростружку и нарушают поверхностную прочность металла. В последующем

быстро движущаяся жидкость размывает эти микроцарапины, расширяя и углубляя их. Размыв металла ускоряют присутствующие в топливе абразивные частицы.

Для анализа зазоров в плунжерных парах были произведены измерения 100 нераспаренных, изношенных плунжерных пар с номинальным диаметром 9 мм. Измерения наружного диаметра плунжера производились рычажной скобой СР 0–25 ГОСТ 11098–75, а внутреннего диаметра втулки – нутромером индикаторным НМ 175 ГОСТ 10–58. В результате измерений диаметров были вычислены зазоры между плунжером и втулкой по формуле

$$z = D - d, \tag{1}$$

где  $D$  – внутренний диаметр втулки, мкм;

$d$  – наружный диаметр плунжера, мкм.

Данные расчета зазоров приведены в табл. 1 и расположены в порядке возрастания.

Т а б л и ц а 1

**Значения зазоров плунжерных пар**

№ п/п	Зазор, мкм								
1	2	21	3	41	5	61	6	81	8
2	2	22	3	42	5	62	6	82	8
3	2	23	3	43	5	63	6	83	8
4	2	24	4	44	5	64	7	84	8
5	2	25	4	45	5	65	7	85	8
6	2	26	4	46	5	66	7	86	8
7	2	27	4	47	5	67	7	87	8
8	2	28	4	48	5	68	7	88	8
9	2	29	4	49	5	69	7	89	8
10	2	30	4	50	6	70	7	90	8
11	3	31	4	51	6	71	7	91	8
12	3	32	5	52	6	72	7	92	9
13	3	33	5	53	6	73	7	93	9
14	3	34	5	54	6	74	7	94	9
15	3	35	5	55	6	75	7	95	9
16	3	36	5	56	6	76	7	96	10
17	3	37	5	57	6	77	7	97	11
18	3	38	5	58	6	78	7	98	11
19	3	39	5	59	6	79	8	99	13
20	3	40	5	60	6	80	8	100	14

Статистический ряд

Интервал, тыс. мото-ч	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14
Опытная частота $m_i$	23	26	29	17	3	2
Опытная вероятность $p_i$	0,23	0,26	0,29	0,17	0,03	0,02
Накопленная опытная вероятность $\Sigma p_i$	0,23	0,49	0,78	0,95	0,98	1,00

Выбираем количество интервалов  $n = 6$ . Протяженность одного интервала рассчитывается по формуле

$$A = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{n}, A = \frac{14 - 2}{6} = 2 \text{ мкм}, \quad (2)$$

где  $Z_{\max}$ ,  $Z_{\min}$  – соответственно наибольшая и наименьшая величина зазора, мкм.

Значение опытных вероятностей определяем по формуле

$$P_{on_i} = \frac{m_{on_i}}{N}, \quad (3)$$

где  $m_{on_i}$  – опытная частота в  $i$ -ом интервале.

$$P_{on_1} = \frac{23}{100} = 0,23; P_{on_2} = \frac{26}{100} = 0,26;$$

$$P_{on_3} = \frac{29}{100} = 0,29;$$

$$P_{on_4} = \frac{17}{100} = 0,17; P_{on_5} = \frac{3}{100} = 0,03;$$

$$P_{on_6} = \frac{2}{100} = 0,02.$$

Полученные данные заносим в статистический ряд (табл. 2).

Среднюю величину зазора определяем по формуле

$$\bar{C} = \sum_i C_{ci} \cdot P_{on_i}, \quad (4)$$

где  $C_{ci}$  – середина  $i$ -го интервала;

$P_{on_i}$  – опытная вероятность в  $i$ -ом интервале.

$$3 = 3 \cdot 0,23 + 5 \cdot 0,26 + 7 \cdot 0,29 + 9 \cdot 0,17 + 11 \cdot 0,03 + 13 \cdot 0,02 = 6,14 \text{ мкм}.$$

Среднее квадратическое отклонение определяем по формуле

$$\sigma = \sqrt{\left[ \begin{aligned} &(-3,14)^2 \cdot 0,23 + (-1,14)^2 \cdot 0,26 + \\ &+(0,86)^2 \cdot 0,17 + (4,86)^2 \cdot 0,03 + \\ &+(6,86)^2 \cdot 0,02 \end{aligned} \right]} = 5,86 \text{ мкм};$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_i^n (C_{ci} - \bar{C})^2 \cdot P_{on_i}}.$$

Определяем наличие выпадающих точек по опытному значению критерия Ирвина [6].

Для проверки выпадения наименьшей точки [2]

$$\lambda_{on} = \frac{C_i - C_{i-1}}{\sigma}.$$

Для проверки выпадения наибольшей точки (14)

$$\lambda_{on_1} = \frac{3 - 2}{5,86} = 0,17.$$

Находим теоретическое значение критерия Ирвина. При доверительной вероятности  $\beta = 0,95$  и  $N = 100$ ,  $\lambda = 1,0$ . Сравнение опытных и теоретических значений Ирвина показывает, что первая и последняя точки информации достоверны, т.к.

$$\lambda_{on_1} = \lambda_{on_2} = 0,17 \leq \lambda_{\beta} = 1,0.$$

Сдвиг начала рассеивания определяем по формуле

$$\tilde{N} = C_1 - \frac{C_3 - C_1}{2}, \quad (7)$$

где  $C_1$ ,  $C_3$  – первое и одиннадцатое значения величин зазора

$$\tilde{N} = 2 - \frac{3 - 2}{2} = 1,5 \text{ мкм}.$$

Коэффициент вариации определяем по формуле (8)

$$V = \frac{\sigma}{\bar{C} - \tilde{N}}, \quad (8)$$

$$V = \frac{5,86}{6,14 - 1,5} = 1,26.$$

Гистограмма и полигон – это дифференциальные законы, а кривая накопленных опытных вероятностей – интегральный закон распределения опытных значений зазора.

Гистограмма строится так. По оси абсцисс откладываются в определенном масштабе интервалы в соответствии со статистическим рядом, а по оси ординат – опытная вероятность  $P_{оп}$  в начале и в конце  $i$ -го интервала. Соединив построенные точки, получаем прямоугольники. Площадь каждого прямоугольника в долях единицы выражает опытную вероятность деталей, у которых износ находится в данном интервале. Построение полигона осуществляется по точкам, образованным пересечением абсциссы, равной середине интервала, и ординаты, равной опытной вероятности интервала. Площадь под кривой полигона в заданном интервале равна в долях единицы количеству плунжерных пар, имеющих зазор в границах этого интервала. За начальную и конечную точки полигона принимают начало первого и конец последнего интервалов. Точки кривой накопленных опытных вероятностей образуются пересечением абсциссы, равной концу данного интервала, и ординаты, равной сумме вероятностей предыдущих интервалов.

Замена опытного закона распределения износа теоретическим называется в теории вероятностей процессом выравнивания статистической информации. Теоретический закон применим как к генеральной совокупности, так и к любой частной совокупности тракторов. Применительно к сельскохозяйственной технике используются в основном закон нормального распределения (ЗНР) и закон распределения Вейбулла (ЗРВ).

Выбор теоретического закона распределения (ТЗР) осуществляется по величине коэффициента вариации  $V$ . Если  $V < 0,3$ , то распределение подчиняется закону ЗНР, если  $V > 0,5$  – ЗРВ. В случае, когда  $V$  лежит в интервале от 0,3 до 0,5, выбирается тот закон, который лучше совпадает с опытной информацией. Точность совпадения оценивается по критерию согласия.

В нашем случае коэффициент вариации  $V = 1,26$ , поэтому выбираем закон распределения Вейбулла (ЗРВ).

Дифференциальная функция ЗРВ определяется по формуле (9)

$$f(C_{\bar{n}_i}) = \frac{A}{a} \cdot f_t \left( \frac{C_{\bar{n}_i} - C}{a} \right), \quad (9)$$

где  $A$  – протяженность интервала, мкм;

$a$  – параметр ЗРВ, мкм;

$f_t$  – табулированные значения дифференциальной функции,

$$\hat{a} = \frac{\bar{C} - \tilde{N}}{K_{\hat{a}}}.$$

В зависимости от коэффициента вариации  $V$  находим по таблице [1] параметры и коэффициенты ЗРВ. При  $V = 1,26$ ,  $\sigma = 0,8$ ;  $K_{\sigma} = 1,13$ ;  $C_{\sigma} = 1,43$ .

Расчет  $f(3_{ci})$  производим для каждого интервала и полученные данные заносим в статистический ряд

$$f(3) = \frac{2}{4,11} f_t \left( \frac{3 - 1,5}{4,11} \right) = 0,49 \cdot f_t(0,36) = 0,49 \cdot 0,71 = 0,35;$$

$$f(5) = \frac{2}{4,11} f_t \left( \frac{5 - 1,5}{4,11} \right) = 0,49 \cdot f_t(0,85) = 0,49 \cdot 0,43 = 0,21;$$

$$f(7) = \frac{2}{4,11} f_t \left( \frac{7 - 1,5}{4,11} \right) = 0,49 \cdot f_t(1,34) = 0,49 \cdot 0,26 = 0,13;$$

$$f(9) = \frac{2}{4,11} f_t \left( \frac{9 - 1,5}{4,11} \right) = 0,49 \cdot f_t(1,82) = 0,49 \cdot 0,165 = 0,081;$$

$$f(11) = \frac{2}{4,11} f_t \left( \frac{11 - 1,5}{4,11} \right) = 0,49 \cdot f_t(2,31) = 0,49 \cdot 0,10 = 0,049;$$

$$f(13) = \frac{2}{4,11} f_t \left( \frac{13 - 1,5}{4,11} \right) = 0,49 \cdot f_t(2,79) = 0,49 \cdot 0,08 = 0,039.$$

Расчет интегральной функции ЗРВ определяется по формуле

$$F(C_{ki}) = F_t \left( \frac{C_{ki} - C}{a} \right), \quad (11)$$

где  $F(3_{ki})$  – интегральная функция ЗРВ в конце  $i$ -го интервала;

$F_t$  – табулированное значение интегральной функции;

$a$  – параметр ЗРВ, мкм.

Статистический ряд

Интервал, мкм	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14
Середина интервала, мкм	3	5	7	9	10	11
Опытная частота $m_{on_i}$	23	26	29	17	3	2
Опытная вероятность $P_{on_i}$	0,23	0,26	0,29	0,17	0,03	0,02
Сумма накопленной вероятности $\Sigma P_{on_i}$	0,23	0,49	0,78	0,95	0,98	1,00
$f(z)$	0,35	0,21	0,13	0,081	0,049	0,039
$F(z)$	0,47	0,66	0,777	0,86	0,89	0,91

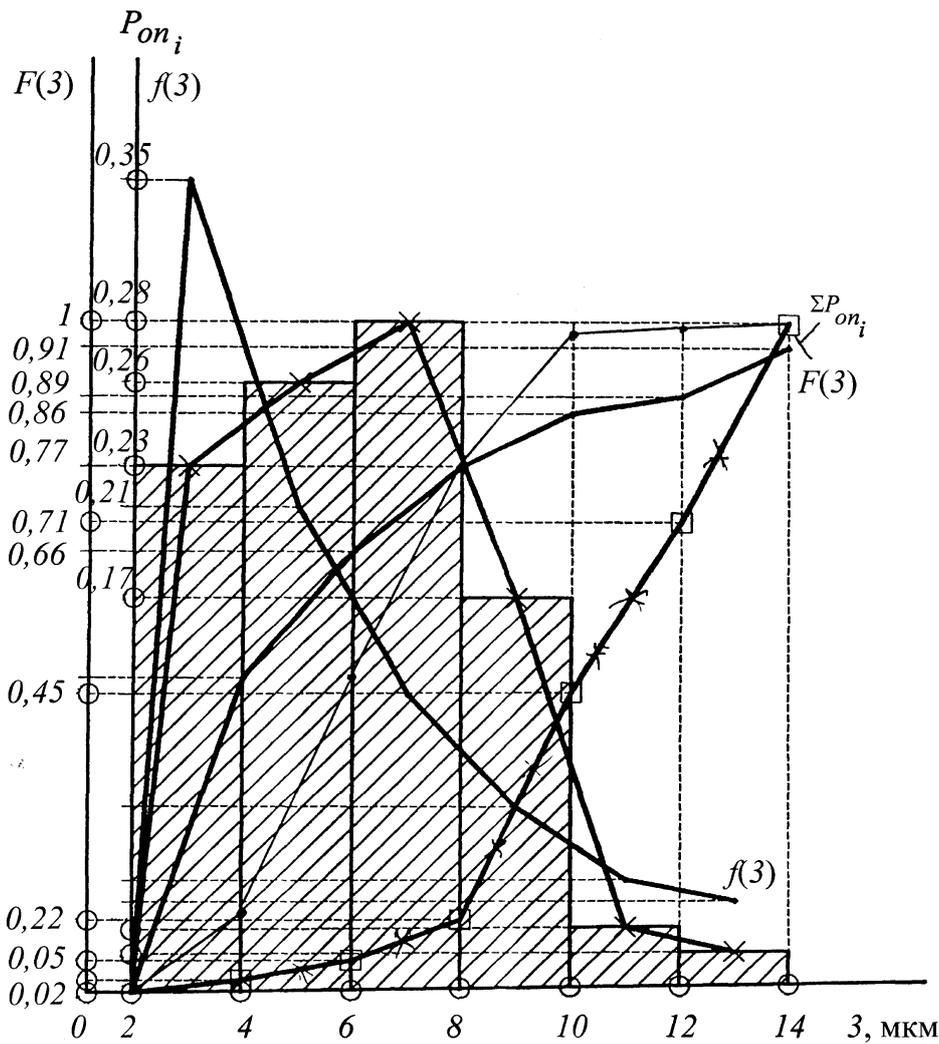


Рисунок. Дифференциальная и интегральная кривые распределения зазора плунжерных пар УТН-5М

Проанализировав данные о зазоре, можно сказать, что только 10 % плунжерных пар имеют зазор от 1,5–2,0 мкм, такой, как в технических условиях на сборку плунжерных пар. И именно 10 % может использоваться без восстановления при условии, что у них не

нарушена геометрия. Максимальное значение зазора 14 мкм говорит о том, на сколько нужно уменьшать внутренний диаметр втулки, поскольку плунжер обрабатывается только в сторону уменьшения его диаметра

$$L = 0,014 + l_{i\hat{a}} + l_{on}, \quad (12)$$

где  $L$  – величина, на которую требуется уменьшить внутренний диаметр втулки, мм;

$l_{ov}$  – толщина металла, которая снимается за весь технологический процесс при обработке втулки,  $l_{ov} = 0,055$  мм;

$l_{on}$  – толщина металла, которая снимается за весь технологический процесс, процесс при обработке плунжера,  $l_{on} = 0,012$  мм;

$$L = 0,014 + 0,055 + 0,012 = 0,081 \text{ мм.}$$

Поэтому выбранный способ восстановления должен обеспечить при пластиче-

ском обжати втулки уменьшение ее диаметра как минимум на 81 мкм.

### Библиографический список

1. Надежность и ремонт машин / Под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000.
2. Кривенко П.М., Федосов И.М., Аверьянов В.Н. Ремонт дизелей сельхозназначения. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
3. Пучин Е.А., Дидманидзе О.Н., Корнеев В.М., Петровский Д.И. Технический сервис дизельной топливной аппаратуры. – М.: УМЦ ТРИАДА, 2003. – 108 с.
4. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. – Л.: Машиностроение, 1990. – С. 352.
5. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. – 395с.

## АНАЛИЗ ГИДРОПЛОТНОСТИ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР

Ю.А. ШАМАРИН, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ

Для анализа был произведен замер гидроплотности 100 нераспаренных изношенных и предварительно очищенных плунжерных пар. Замеры производились на стенде М-106Э. Данные замеров приведены в табл. 1 в порядке возрастания.

### Составление статистического ряда

Определяем число интервалов статистического ряда.

Выбираем количество интервалов  $n = 10$ .

Протяженность одного интервала определяем по формуле 1

$$A = \frac{\tilde{A}_{\max} - \tilde{A}_{\min}}{n}, A = \frac{13 - 0}{10} = 1,3 \text{ с,} \quad (1)$$

где  $\Gamma_{\max}$ ,  $\Gamma_{\min}$  – соответственно наибольшая и наименьшая величина гидроплотности.

Значение опытных вероятностей

$$P_{on_i} = \frac{m_{on_i}}{N}, P_{on_i} = \frac{54}{100} = 0,54.$$

Аналогично определяем оставшиеся опытные вероятности и заносим их в табл. 2.

Средняя величина гидроплотности определяется по формуле 2

$$\tilde{A}_{\bar{n}\delta} = \sum_i^n \tilde{A}_{c_i} \cdot P_{on_i}, \quad (2)$$

где  $\Gamma_{c_i}$  – середина  $i$ -го интервала;

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{\bar{n}\delta} &= 0,65 \cdot 0,54 + 1,95 \cdot 0,21 + 3,25 \cdot 0,07 + \\ &+ 4,55 \cdot 0,08 + 5,85 \cdot 0,01 + 7,15 \cdot 0,03 + \\ &+ 8,45 \cdot 0,04 + 12,35 \cdot 0,02 = 2,21 \text{ н.} \end{aligned}$$

Среднее квадратическое отклонение определяем по формуле 3

$$\sigma = \sqrt{\sum_i^n (\tilde{A}_{c_i} - \tilde{A}_{\bar{n}\delta})^2 \cdot D_{on_i}}, \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\begin{aligned} &(0,65 - 2,21)^2 \cdot 0,54 + \\ &+ (1,95 - 2,21)^2 \cdot 0,21 + \\ &+ (3,25 - 2,21)^2 \cdot 0,07 + \\ &+ (4,55 - 2,21)^2 \cdot 0,08 + \\ &+ (5,85 - 2,21)^2 \cdot 0,01 + \\ &+ (7,15 - 2,21)^2 \cdot 0,03 + \\ &+ (8,45 - 2,21)^2 \cdot 0,04 + \\ &+ (12,35 - 2,21)^2 \end{aligned}} = 2,3 \text{ н.}$$

Т а б л и ц а 1

**Значения гидроплотности плунжерных пар**

№ п/п	Гидроплотность, с								
1	0,0	21	0,0	41	0,7	61	1,5	81	3,5
2	0,0	22	0,0	42	0,8	62	1,7	82	3,6
3	0,0	23	0,0	43	1,0	63	1,8	83	4,0
4	0,0	24	0,0	44	1,0	64	2,0	84	4,0
5	0,0	25	0,0	45	1,0	65	2,0	85	4,0
6	0,0	26	0,0	46	1,0	66	2,0	86	4,0
7	0,0	27	0,0	47	Ю	67	2,0	87	4,3
8	0,0	28	0,0	48	1,0	68	2,0	88	5,0
9	0,0	29	0,0	49	1,0	69	2,0	89	5,0
10	0,0	30	0,0	50	1,0	70	2,0	90	5,0
11	0,0	31	0,0	51	1,0	71	2,2	91	5,8
12	0,0	32	0,0	52	1,0	72	2,2	92	7,0
13	0,0	33	0,0	53	1,2	73	2,2	93	7,0
14	0,0	34	0,0	54	1,3	74	2,3	94	7,5
15	0,0	35	0,0	55	1,3	75,	2,5	95	8,0
16	0,0	36	0,0	56	15	76	3,0	96	8,0
17	0,0	37	0,0	57	1,5	771	3,0	97	8,8
18	0,0	38	0,5	58	1,5	78	3,0	98	9,0
19	0,0	39	0,5	59	1,5	79	3,0	99	13,0
20	0,0	40	0,7	60	1,5	80	3,2	100	13,0

Т а б л и ц а 2

**Статистический ряд распределения гидроплотности**

Интервал, с	0–1,3	1,3–2,6	2,6–3,9	3,9–5,2	5,2–6,5	6,5–7,8	7,8–9,1	9,1–13
Середина интервала	0,65	1,95	3,25	4,55	5,85	7,15	8,45	11,05
Опытная частота $m_{on_i}$	54	21	7	8	1	3	4	2
Опытная вероятность $\Sigma P_{on_i}$	0,54	0,21	0,07	0,08	0,01	0,03	0,04	0,02
Сумма накопленной вероятности	0,54	0,75	0,82	0,90	0,91	0,94	0,98	1
$f(I)$	0,3	0,23	0,15	0,09	0,05	0,03	0	0
$F(I)$	0,42	0,65	0,81	0,90	0,95	0,97	0,99	1

Определяем наличие выпадающих точек по опытному значению критерия Ирвина

$$\lambda_{on} = \frac{\tilde{A}_i - \tilde{A}_{i-1}}{\sigma} \quad (4)$$

Для проверки выпадения наименьшей точки (0)

$$\lambda_{on_1} = \frac{0-0}{2,3} = 0.$$

Для проверки выпадения наибольшей точки (13)

$$\lambda_{on_2} = \frac{13-13}{2,3} = 0.$$

Находим теоретическое значение критерия Ирвина. При доверительной вероятности  $\beta = 0,95$  и  $N = 100$ ,  $\lambda = 1,0$ . Сравнение опытных и теоретических значений критерия Ирвина показывает, что первая и последняя точки информации достоверны, т. к.

$$\lambda_{on_1} = \lambda_{on_2} = 0,17 < \lambda_0 = 1,0.$$

Сдвиг начала рассеивания определяем по формуле

$$C = \Gamma_1 - 0,5 \cdot A, \quad (5)$$

$$C = 0 - 0,5 \cdot 1,3 = -0,65 \text{ с.}$$

Коэффициент вариации определяем по формуле

$$V = \frac{\sigma}{\tilde{A}_{\text{нб}} - \tilde{N}}, \quad (6)$$

$$V = \frac{2,3}{2,21 - (-0,65)} = 0,8.$$

Так как  $V = 0,8 > 0,5$ , распределение подчиняется закону распределения Вейбулла.

Дифференциальная функция ЗРВ вычисляется по формуле

$$f(\tilde{A}_{c_i}) = \frac{A}{a} \cdot f_t \left( \frac{\tilde{A}_{c_i} - C}{a} \right), \quad (7)$$

где 
$$a = \frac{\tilde{A}_{\text{нб}} - C}{K_a}. \quad (8)$$

В зависимости от коэффициента вариации  $V$  находим по таблице параметры и коэффициенты ЗРВ.

При  $V = 0,8$ ,  $b = 1,3$ ;  $K_a = 0,92$ ;  $C_a = 0,72$ .

$$a = \frac{2,21 - (-0,65)}{0,92} = 3,1.$$

Расчет  $\Gamma_{c_i}$  ведем для каждого интервала.

Аналогично определяем  $f(\Gamma_{c_i})$  для остальных интервалов и полученные значения заносим в статистический ряд (табл. 2).

Интегральная функция ЗРВ определяется по формуле

$$F(\tilde{A}_{k_i}) = F_t \left( \frac{\tilde{A}_{k_i} - C}{a} \right), \quad (9)$$

где  $F(\Gamma_{k_i})$  – интегральная функция ЗРВ в конце  $i$ -го интервала.

$$F(1,3) = F_t \left( \frac{1,3 - (-0,65)}{3,1} \right) = F_t(0,63) = 0,42.$$

Аналогично для остальных интервалов. Полученные значения заносим в статистический ряд (табл. 2).

Известно, что при гидроплотности 7 секунд и выше у изношенных плунжерных пар их можно использовать без восстановления.

### Библиографический список

1. Надежность и ремонт машин / Под ред. В.В. Курчаткина – М.: Колос, 2000.
2. Кривенко П.М., Федосов И.М., Аверьянов В.Н. Ремонт дизелей сельхозназначения. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
3. Пучин Е.А., Дидманидзе О.Н., Корнеев В.М., Петровский Д.И. Технический сервис дизельной топливной аппаратуры. – М.: УМЦ ТРИАДА, 2003. – 108 с.
4. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. – Л.: Машиностроение, 1990. – С. 352.
5. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. – 395 с.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ЗВЕНА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

М.Ю. СМИРНОВ, доц. каф. транспорта леса МарГТУ, канд. техн. наук,  
И.Р. ГАБДУЛЛИНА, асп. каф. транспорта леса МарГТУ

На вывозке сортиментов широкое распространение получили самозагружающиеся автопоезда с навесными гидроманипуляторами. При этом они часто работают совместно с автопоездами, не имеющими собственных погрузочных средств. Автопоезд с манипулятором сначала загружает другие автопоезда звена, а затем себя. Разгрузка осуществляется в обратном порядке. Соотношение числа автопоездов с гидроманипуляторами и без них может быть разным. Значительный интерес представляет звено из трех автопоездов, два из которых (1 и 3) имеют навесные гидроманипуляторы. Автопоезд 2 не оснащен гидроманипулятором. Возможны несколько способов организации их работы.

**Первый способ.** Погрузка лесоматериалов на автопоезд 2 постоянно производится автопоездом 1, а выгрузка – автопоездом 3. Продолжительность рейса всех автопоездов в этом случае будет различаться. Временная диаграмма одного рейса звена автопоездов показана на рис. 1.

**Второй способ.** В целях сокращения простоев автопоездов на погрузочных и разгрузочных пунктах и продолжительно-

сти рейсов предлагается комбинированная работа автопоездов. В первом рейсе автопоезд 1 вначале производит погрузку лесоматериалов на автопоезд 2, а затем загружает себя. Автопоезд 3 загружается лесоматериалами и движется к месту разгрузки. На разгрузочном пункте он разгружается, а затем выгружает лесоматериалы с автопоезда 2, и они вместе движутся на погрузочный пункт. Автопоезд 1 к пункту разгрузки прибывает позднее автопоездов 2 и 3, позднее выезжает и на погрузочный пункт. Автопоезда 2 и 3 вместе возвращаются на погрузочный пункт. Автопоезд 3 начинает загружать автопоезд 2, а затем себя. Автопоезд 1, загрузив себя лесоматериалами, совместно с автопоездом 2 направляется к разгрузочному пункту. Выгрузка лесоматериалов с автопоезда 2 производится автопоездом 1. Второй рейс все автопоезда звена заканчивают одновременно.

Схема и временная диаграмма работы показаны на рис. 2, 3.

Рассмотрим продолжительность рейсов автопоездов при сравниваемых способах их работы.



Рис. 1. Временная диаграмма работы звена автопоездов (первый способ): ДПП, ДРП – движение на погрузочный и разгрузочный пункты соответственно; [затененная область], [затененная область] – пребывание автопоездов под погрузкой и разгрузкой соответственно; [затененная область] – простои в ожидании погрузки или разгрузки; [затененная область с диагональными линиями] – совместная работа автопоездов

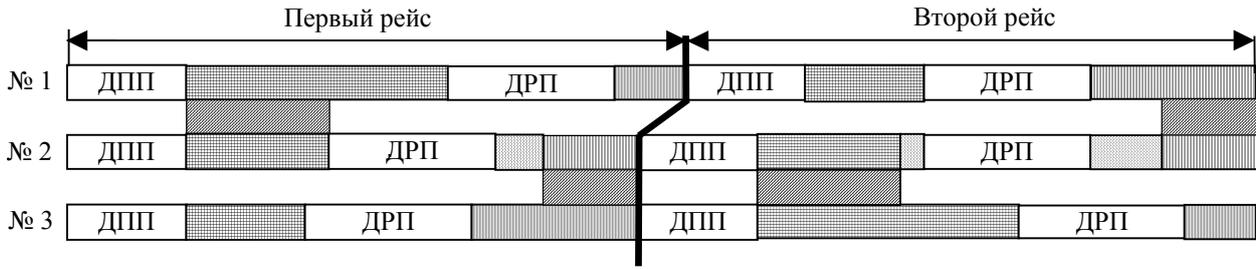


Рис. 2. Временная диаграмма работы звена автопоездов (второй способ)

**Первый способ. Автопоезд 1**

$$T_p = l_1 t_1 + l_2 t_2 + l_3 t_3 + (t_0 + t_{i2} Q_{ii2} + t_{i1} Q_{ii1}) + (t_0' + t_{p1} Q_{ii1}), \quad (1)$$

где  $l_1, l_2, l_3$  – расстояния вывозки лесоматериалов по дорогам различных категорий, км;

$t_1, t_2, t_3$  – время движения 1 км пути в обоих направлениях по дорогам различных категорий, мин;

$t_0$  – время на установку автопоезда под погрузку и ожидание погрузки, мин;

$t_{n1}$  – время погрузки 1 м<sup>3</sup> лесоматериалов на автопоезд с гидроманипулятором, мин;

$t_{n2}$  – то же на автопоезд без гидроманипулятора, мин;

$t_{p1}$  – время выгрузки 1 м<sup>3</sup> лесоматериалов с автопоезда с гидроманипулятором, мин;

$t_0'$  – время на установку автопоезда под разгрузку и ожидание разгрузки, мин;

$Q_{пол1}$  – полезная рейсовая нагрузка на автопоезд 1 (3), м<sup>3</sup>;

$Q_{пол2}$  – то же на автопоезд 2, м<sup>3</sup>.

**Автопоезд 2**

$$T_p = l_1 t_1 + l_2 t_2 + l_3 t_3 + (t_0 + t_{i2} Q_{ii2}) + t_{ie1} + (t_0' + t_{p2} Q_{ii2}) + t_{ie2}, \quad (2)$$

где  $t_{p2}$  – время выгрузки 1 м<sup>3</sup> лесоматериалов с автопоезда без гидроманипулятора, мин;

$t_{ож1}$  – простой автопоезда 2 в ожидании разгрузки, мин.;

$t_{ож2}$  – простой в ожидании автопоезда 1, мин.

Продолжительность простоев состав

ВИТ

$$t_{ie1} = t_{o1} Q_{ii1} - (t_{i2} Q_{ii2} - t_{i1} Q_{ii1}), \quad (3)$$

$$t_{ie2} = (t_{i2} - t_{o2}) Q_{ii2}. \quad (4)$$

**Автопоезд 3**

$$T_p = l_1 t_1 + l_2 t_2 + l_3 t_3 + (t_0 + t_{i1} Q_{ii1}) + (t_0' + t_{p1} Q_{ii1} + t_{p2} Q_{ii2}) + t_{ie2}. \quad (5)$$

При организации работы звена по первому способу автопоезда 2 и 3 после окончания работ на разгрузочном пункте вынуждены простаивать в ожидании автопоезда 1, чтобы одновременно начать следующий рейс, тем самым увеличивается продолжительность рейса и снижается эффективность использования рабочего времени смены.

Для уменьшения продолжительности пребывания автопоездов на погрузочном и разгрузочных пунктах, повышения эффективности использования автопоездов предлагается организовать технологический процесс вывозки лесоматериалов по второму способу. При этом необходимо рассмотреть работу звена автопоездов в течение двух рейсов (рис. 2).

Продолжительность рейса автопоездов при **втором способе** работы можно определить по приведенным ниже формулам.

**Автопоезд 1**

Первый рейс

$$T_p = l_1 t_1 + l_2 t_2 + l_3 t_3 + (t_0 + t_{i2} Q_{ii2} + t_{i1} Q_{ii1}) + (t_0' + t_{p1} Q_{ii1}). \quad (6)$$

Второй рейс

$$T_p = l_1 t_1 + l_2 t_2 + l_3 t_3 + (t_0 + t_{i1} Q_{ii1}) + (t_0' + t_{p1} Q_{ii1} + t_{p2} Q_{ii2}). \quad (7)$$

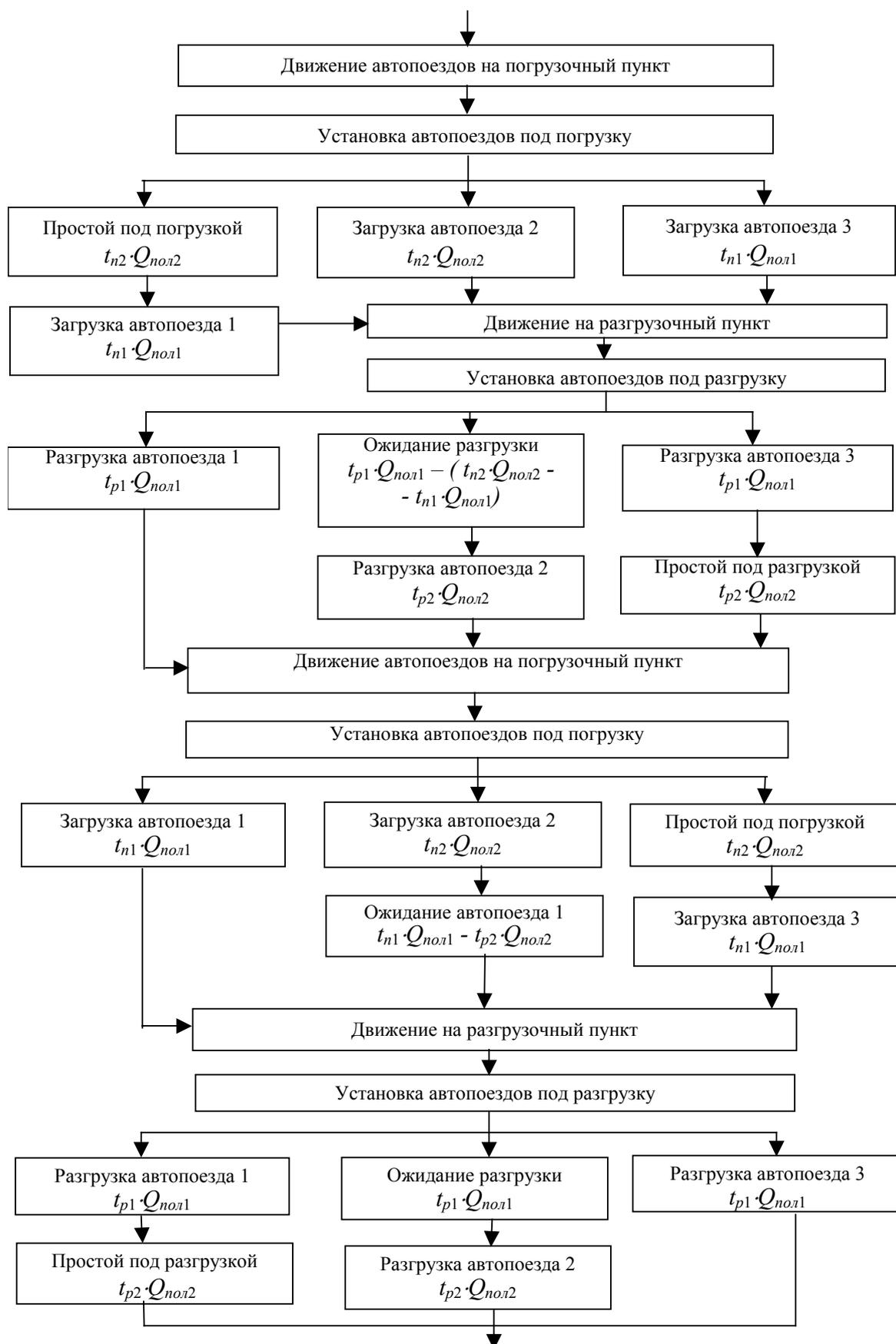


Рис. 3. Схема работы звена из трех автопоездов (второй способ)

**Автопоезд 2**

Первый рейс

$$T_p = l_1 t_1 + l_2 t_2 + l_3 t_3 + (t_0 + t_{i2} Q_{ii2}) + t_{ie1} + (t_0 + t_{p2} Q_{ii2}). \quad (8)$$

Второй рейс

$$T_p = l_1 t_1 + l_2 t_2 + l_3 t_3 + (t_0 + t_{i2} Q_{ii2}) + t_{ie3} + t_{ie4} + (t_0 + t_{p2} Q_{ii2}), \quad (9)$$

где  $t_{ожз}$  – простой в ожидании автопоезда 1, мин;

$t_{ож4}$  – простой в ожидании разгрузки, мин;

$$t_{ie3} = t_{i1} Q_{ii1} - t_{p2} Q_{ii2}; \quad (10)$$

$$t_{ie4} = t_{p1} Q_{ii1}. \quad (11)$$

**Автопоезд 3**

Первый рейс

$$T_p = l_1 t_1 + l_2 t_2 + l_3 t_3 + (t_0 + t_{i1} Q_{ii1}) + (t_0 + t_{p1} Q_{ii1} + t_{p2} Q_{ii2}). \quad (12)$$

Второй рейс

$$T_p = l_1 t_1 + l_2 t_2 + l_3 t_3 + (t_0 + t_{i2} Q_{ii2} + t_{i1} Q_{ii1}) + (t_0 + t_{p1} Q_{ii1}). \quad (13)$$

Как видно из временной диаграммы (рис. 2), при втором способе работы автопоезда 2 и 3 начинают второй рейс раньше автопоезда 1. Этим сокращаются простои и уменьшается общая продолжительность рейса.

Результаты расчета продолжительности пребывания автопоездов на погрузочном и разгрузочном пунктах при сравниваемых способах работы приведены в табл. 1.

Расчеты выполнены для следующих исходных данных: автопоезда состоят из автомобилей МАЗ-630300-2126 с прицепом МАЗ-83781-020; погрузка и выгрузка лесоматериалов осуществляется навесным гидроманипулятором СФ-65С, установленным в задней части шасси автомобиля; полезная рейсовая нагрузка автопоездов с гидроманипулятором составляет  $Q_{нол1} = 30,9 \text{ м}^3$ , автопоезда без гидроманипулятора –  $Q_{нол2} = 35,4 \text{ м}^3$ ; длина перевозимых сортиментов  $l_c = 6 \text{ м}$ ; диаметр сортиментов  $d_c = 24 \text{ см}$ . Время погрузки и выгрузки  $1 \text{ м}^3$  лесоматериалов  $t_{n1}, t_{n2}, t_{p1}, t_{p2}$  определено по методике, изложенной в [1, 2]. В течение смены автопоезда выезжают на один погрузочный пункт, а лесоматериалов в штабеле достаточно для загрузки звена.

При организации работы звена по первому способу простои автопоезда 2 за один рейс равняются 34,5 мин, что составляет 25,4 % от общей продолжительности пребывания автопоезда в пунктах погрузки и разгрузки, а для автопоезда 3 – 14,4 %.

При втором способе работы простои автопоезда 2 в первый рейс сокращаются на 88,1 % и составляют 4,1 мин в общей продолжительности пребывания автопоезда на погрузочном и разгрузочном пунктах; во втором рейсе время простоев остается такое же, как в первом способе работы, а в среднем оно сокращается на 44,1 %. Простои автопоезда 3 при втором способе работы исключаются. Средняя продолжительность рейса сокращается на 7,2 %.

Т а б л и ц а 1

**Продолжительность погрузки, разгрузки и простоев автопоездов**

Способ работы	№ автопоезда, № рейса		Продолжительность пребывания в пунктах, мин			Продолжительность простоев, мин / %
			погрузки	разгрузки	общая	
Первый	1		106,2	30,3	136,5	–
	2		63,3	73,2	136,5	$\frac{34,5}{25,4}$
	3		47,9	88,6	136,5	$\frac{19,6}{14,4}$
Второй	1	1 рейс	106,2	30,3	136,5	–
		2 рейс	47,9	69,0	116,9	–
	2	1 рейс	63,3	53,6	116,9	$\frac{4,1}{3,5}$
		2 рейс	67,5	69,0	136,5	$\frac{34,5}{25,4}$
	3	1 рейс	47,9	69,0	116,9	–
		2 рейс	106,2	30,3	136,5	–

Сменная производительность автопоездов, м<sup>3</sup>

Способ работы	№ автопоезда	Расстояние вывозки лесоматериалов, км						
		10	20	40	60	80	100	120
1	1	65,97	55,65	41,53	33,06	27,78	23,95	21,48
	2	75,58	63,75	47,58	37,88	31,83	27,44	24,61
	3	65,97	55,65	41,53	33,06	27,78	23,95	21,48
	звено	207,52	175,05	130,64	104,00	87,39	75,34	67,57
2	1	69,57	58,18	42,93	33,94	28,40	24,41	21,85
	2	79,70	66,65	49,18	38,89	32,53	27,96	25,03
	3	69,57	58,18	42,93	33,94	28,40	24,41	21,85
	звено	218,84	183,01	135,04	106,77	89,33	76,78	68,73

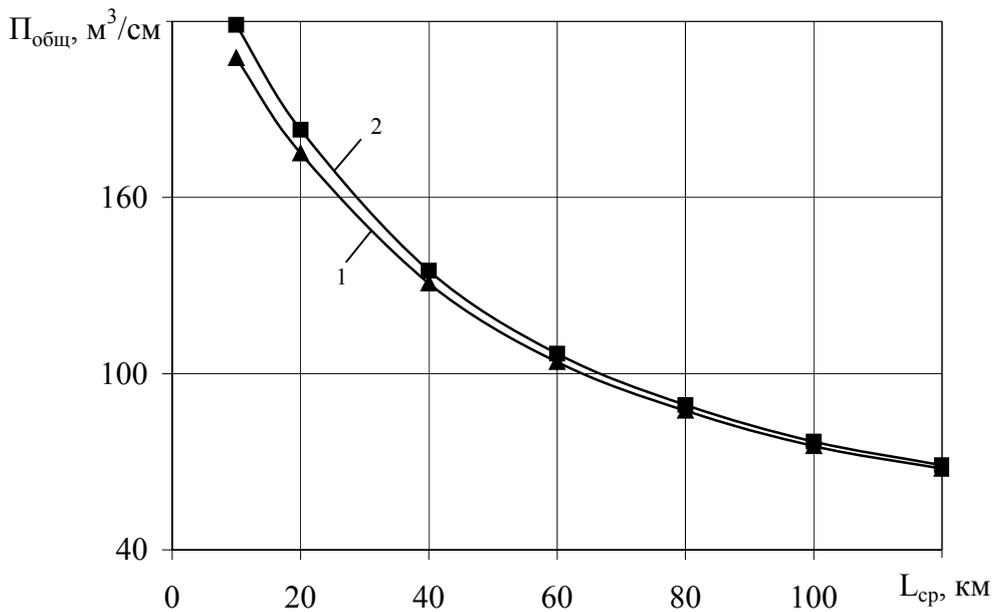


Рис. 4. Изменение сменной производительности звена автопоездов от расстояния вывозки лесоматериалов и способа работы

Определим производительность автопоездов при сравниваемых способах их работы.

Сменная производительность лесовозного автопоезда определяется по общеизвестной формуле

$$\dot{I}_{\text{нз}} = \frac{(T - t_{\text{нз}}) K_{\text{в}} Q_{\text{лв}}}{T_p}, \quad (14)$$

где  $T$  – продолжительность смены, мин;  
 $t_{\text{нз}}$  – подготовительно-заключительное время, мин;  
 $K_{\text{в}}$  – коэффициент использования времени смены.

При расчете производительности лесовозных автопоездов принято, что вывозка лесоматериалов осуществляется по магистрали общего пользования, лесной улучшенной дороге и грунтовой накатанной дороге. Распределение протяженности маршрутов вывозки по видам дорог принято с учетом рекомендаций, изложенных в [1, 2]. Время пробега 1 км пути в обоих направлениях по магистрали общего пользования принято равным  $t_1 = 3$  мин, по лесной улучшенной дороге –  $t_2 = 4,3$  мин, по грунтовой накатанной дороге –  $t_3 = 6$  мин. Производительность звена автопоездов найдена из выражения

$$\dot{I}_{\text{iii}} = \sum_{i=1}^n \dot{I}_{\text{iii}}, \quad (15)$$

где  $P_{\text{общ}}$  – сменная производительность звена автопоездов, м<sup>3</sup>/см;

$P_{\text{см}i}$  – производительность  $i$ -го автопоезда, м<sup>3</sup>/см;

$n$  – число автопоездов в звене.

Результаты расчетов сменной производительности автопоездов при сравниваемых способах организации их работы приведены в табл. 2 и на графике рис. 4.

При организации работы звена автопоездов по второму способу производитель-

ность автопоездов увеличивается на 1,7–5,5 % в зависимости от расстояния вывозки лесоматериалов.

Полученные данные свидетельствуют об эффективности применения второго способа работы звена лесовозных автопоездов.

#### Библиографический список

1. Андрианов, Ю.С. Вывозка лесоматериалов самозагружающимися автопоездами. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 231с.
2. Смирнов, М.Ю. Повышение эффективности вывозки лесоматериалов автопоездами. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 280 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

В.К. КУРЬЯНОВ, *зав. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, д-р техн. наук*,  
О.Н. БУРМИСТРОВА, *доц. каф. технологии и машин лесозаготовок УхмГТУ, канд. техн. наук*

Для решения практически важной задачи выбора типа модели, наиболее полно и точно соответствующей моделируемому объекту, необходимо определить свойства модели, являющиеся критерием качества решения данной модели. К основным свойствам модели относятся адекватность, полнота, точность, устойчивость, абстрактность.

Сложность модели характеризуется числом моделей низкого уровня, использованных при ее построении, а также числом связей между моделями низшего уровня. По мере изменения языка описания объекта от математического к языку физических моделей происходит возрастание устойчивости, сложности и полноты и убывание точности и абстрактности.

При общей характеристике подсистемы «автомобиль» всего комплекса ВАДС желательно связать функционально многочисленные параметры системы и входные переменные с помощью некоторых критериев. В качестве параметра, характеризующего эффективность торможения, взят путь торможения  $S_T$ .

Критерием устойчивости автомобиля при торможении выбрано наибольшее из отклонений габаритных точек автомобиля от продольной оси движения  $Z_{\text{габ}}$ .

В работе исследовалось влияние на показатели эффективности и устойчивости ряда конструктивных и эксплуатационных факторов начальной скорости торможения  $v_0$ , времени торможения  $T$ , коэффициента сцепления колес с дорогой  $\varphi$ , коэффициентов неравномерности действия тормозных механизмов, геометрических параметров дороги – продольного  $\alpha$  и поперечного  $\beta$  уклонов, кривизны траектории дороги.

Определение вида уравнений регрессии является наиболее трудоемкой и сложной задачей. Здесь необходимо использовать и априорную информацию о физическом процессе, и опыт предыдущих исследований и последовательно на базе этих сведений в какой-то мере интуитивно приближаться к оптимальному виду уравнений. Но как понимать оптимальный вид уравнений, ведь регрессивный анализ дает нам оптимальность в смысле наименьшего среднего квадратичного

отклонения, т.е. требуется минимизировать  $\sigma$ . Но, ставя так задачу, можно далеко уйти от физики процесса. Поэтому целью работы было, с учетом реального характера торможения транспортных средств, получение уравнения регрессии, наилучшим способом приближающейся к множеству точек, полученных при моделировании на ЭВМ движения автомобилей и автопоездов в различных дорожных условиях.

Основным методом определения уравнений регрессии в данной работе являлся метод наименьших квадратов (МНК).

При решении ряда задач применялся также градиентный метод подбора кривых. Так как аналитические выражения  $S_T$  и  $Z_{заб}$  были нелинейными относительно переменных, то требовалось выбирать такую систему планирования имитационного эксперимента, при которой варьируемые факторы принимали хотя бы три различных значения.

Согласно выбранному плану имитационного эксперимента были получены уравнения регрессии показателей эффектив-

ности и устойчивости от переменных параметров. Для оценки точности сглаживания применялось среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N - 1}}, \quad (1)$$

где  $Y$  – значение выходного параметра, полученного в результате машинного моделирования;

$\hat{Y}_i$  – значение выходного параметра, полученного по уравнению регрессии;

$N$  – число экспериментов.

Весь процесс статистической обработки результатов моделирования был механизирован, логическая блок-схема представлена на рис. 1.

В первом блоке осуществляется настройка программы согласно выбранному плану имитационного эксперимента и требуемой регрессионной модели. Вторым основным блоком является математическая модель процесса торможения транспортных средств в различных дорожных условиях.

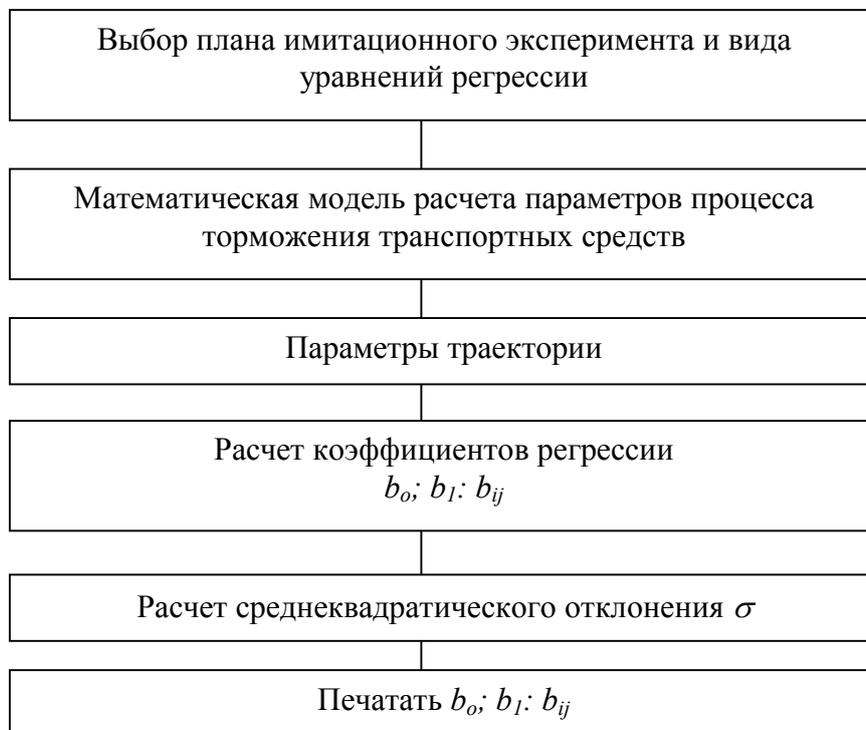


Рис. 1. Блок-схема статистической обработки результатов моделирования

На выход блока поступают показатели эффективности  $S_T$  и устойчивости  $Z_{zab}$ , которые подвергаются регрессионному анализу, используемому в основе своей метод наименьших квадратов. Далее согласно требуемой регрессионной модели определяются коэффициенты уравнений регрессии и рассчитывается среднее квадратичное отклонение результатов. Работа программы заканчивается выводом коэффициентов регрессии и среднего квадратического отклонения.

Примененный метод позволил получить аналитические зависимости показателей эффективности  $S_T$  и устойчивости  $Z_{zab}$  транспортных средств при торможении от ряда эксплуатационных и конструктивных факторов, начальной скорости торможения  $v_0$ , времени торможения, коэффициента сцепления колес с дорогой  $\varphi$ , коэффициентов неравномерности действия тормозных механизмов, геометрических параметров дороги – продольного  $\alpha$  и поперечного  $\beta$  уклонов дороги, кривизны траектории дороги  $K_R$ .

Безопасность движения автомобилей в транспортном потоке в большой степени определяется их тормозными качествами. По данным ВНИИ БД МВД России, около 50 % ДТП возникает из-за неисправного технического состояния автомобилей. Также большое влияние на процесс торможения оказывают условия движения – начальная скорость торможения  $v_0$ , коэффициент сцепления  $\varphi$ , геометрия дорог.

Комплексное исследование влияния вышеуказанных факторов на тормозную динамику транспортных средств имело в основе своей использование теории математического планирования имитационного эксперимента. Для случая торможения двух- и трехосных автомобилей со снижением эффективности действия тормозов на одном борту были получены следующие уравнения регрессии

$$Z_{aaa} = 0,5 \sin(Z_{aaa}) B_a + (C_1 n_1 + C_2 n_2 + C_3 n_3) v_0^{5/2};$$

$$S_T = \alpha_1 v_0 + v_0^2 \left( \frac{\alpha_2}{\varphi} + \alpha_3 \varphi n_1 + \alpha_4 \varphi n_2 + \alpha_5 \varphi n_3 + \alpha_6 n_1 + \alpha_7 n_2 + \alpha_8 n_3 \right), \quad (2)$$

где  $n_i$  – относительные коэффициенты неравномерности действия тормозных механизмов.

Коэффициенты  $n_i$  связаны с коэффициентами неравномерности действия тормозных механизмов  $K_i$  простой зависимостью

$$n_i = 1 - K_i. \quad (3)$$

Для абсолютно исправного тормозного механизма  $n_i = 0$ . В формулах (2) для двухосного автомобиля  $n_3 = 0$ .

При реальном характере протекания процесса торможения наблюдается общее снижение эффективности действия тормозных механизмов на всех колесах автомобиля без исключения. Аналитические зависимости показателей эффективности  $S_T$  и устойчивости  $Z_{zab}$  от общего снижения неравномерности действия тормозных механизмов находились по формулам

$$Z_{aaa} = 0,5 \sin(Z_{aaa}) B_a + (C_1 n_{11} + C_2 n_{21} + C_3 n_{12} + C_4 n_{22} + C_5 n_{13} + C_6 n_{23}) v_0^{5/2};$$

$$S_T = \alpha_1 v_0 + v_0^2 \left( \frac{\alpha_2}{\varphi} + \alpha_3 \varphi n_{11} + \alpha_4 \varphi n_{21} + \alpha_5 \varphi n_{12} + \alpha_6 \varphi n_{22} + \alpha_7 \varphi n_{31} + \alpha_8 \varphi n_{25} + \alpha_9 n_{11} + \alpha_{10} n_{21} + \alpha_{11} n_{12} + \alpha_{12} n_{22} + \alpha_{13} n_{13} + \alpha_{14} n_{13} \right), \quad (4)$$

где индекс (1) соответствовал (1–1) левому и (1–2) правому борту автомобиля, а индекс  $j$ -му порядковому номеру оси ( $J = 1, 2, 3$ ).

При нахождении уравнений регрессии варьировались следующие параметры: загрузка автомобиля, коэффициент сцепления  $\varphi$  (0,2–0,7), начальная скорость торможения  $v_0$  (20–100 км/ч), неравномерность действия тормозных механизмов (40–100 % эффективности действия тормозных механизмов).

Результаты расчетов для ряда базовых автомобилей представлены в приложении. Коэффициенты уравнений регрессии, показателей эффективности и устойчивости даны как для конечных параметров процесса торможения, так и для текущих с шагом  $\Delta T = 0,1$  с.

Анализ проведенных исследований позволил разработать следующую зависимость для показателя устойчивости торможения в функции времени

$$Z_{\text{aaa}} = 0,5 \sin(Z_{\text{aaa}}) B_a + t v_0^{5/2} 2 \sum_j C_j n_{ij}. \quad (5)$$

Результаты, полученные по этой формуле и расчетным путем для широкого изменения ряда эксплуатационных и конструктивных факторов ( $\nu_0$ ,  $\varphi$ ), говорят о хорошей сходимости (разница в значениях не превышает 8 %).

Проведенный анализ показал, что с достаточной степенью точности можно коэффициенты  $C_j$  соответственно для передних и задних колес определять комплексно по подкатегориям транспортных средств. Так, при торможении легковых порожних автомобилей с  $\varphi = 0,65$   $C_1 = 0,0004 + 0,00005$ , а  $C_2 = 0,00038 + 0,00002$ .

## УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

В.К. КУРЬЯНОВ, зав. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, д-р техн. наук, О.Н. БУРМИСТРОВА, доц. каф. технологии и машин лесозаготовок УхмГТУ, канд. техн. наук

Основным методом определения уравнений регрессии в данной работе являлся метод наименьших квадратов. Основными базовыми уравнениями регрессии, как и в случае торможения транспортных средств на ровной дороге, были

$$Z_{\text{aaa}} = 0,5 \sin(Z_{\text{aaa}}) B_a + v_0^{5/2} \sum_{i=1}^N C_i n_i,$$

$$S_T = \alpha_1 v_0 + v_0^2 \left[ \frac{\alpha_2}{\varphi} + (\varphi - \varphi_{\text{ТО}}) \sum_{i=1}^a \alpha_{i=2} n_i \right].$$

Составленные программы расчета позволяли получать аналитические зависимости  $S_T$  и  $Z_{\text{aab}}$  как для конечных параметров динамики торможения, так и для промежуточных с шагом по времени  $\Delta T = 0,1$  с.

Выбранная система планирования обеспечивала варьирование переменных факторов на 3-х уровнях: коэффициента сцепления  $\varphi$  (0,2; 0,45; 0,65), начальной скорости торможения  $\nu_0$  (20 км; 40 км; 60 км), коэффициентов неравномерности действия тормозных механизмов (1,0; 0,9; 0,8).

Влияние геометрии дорог на тормозную динамику транспортных средств учитывалось следующими факторами: продольным  $\alpha$  и поперечным  $\beta$  уклонами дороги и кривизной дороги  $K_R$ . Радиус кривизны дороги с кривизной связывает простая зависимость

$$R = \frac{1}{K_R}. \quad (1)$$

Изменение поперечного уклона дороги  $\beta$  не оказывает практически никакого воздействия на тормозной путь, но в большой степени определяет устойчивость транспортных средств при торможении. Также существенное влияние на устойчивость оказывает радиус кривизны дороги.

При радиусах  $R < 150$  м любое незначительное влияние случайного фактора может привести к большим габаритным отклонениям автомобиля от осевой линии.

Изменение продольного уклона дороги приводит к противоположным результатам – несущественно влияет на устойчивость торможения, но является основным фактором при определении величины тормозного пути.

При дальнейшем уточнении вида аналитических выражений  $S_T$  и  $Z_{\text{aab}}$ , а также введении в него новых факторов был применен градиентный метод, сущность которого заключается в следующем:

при заданном виде уравнений

$$\tilde{S}_T = \tilde{S}_T(v_0, \varphi, \alpha, T, P_i)$$

находится минимум формы

$$\hat{O} = \sum_{i=1}^N (S_{T_i} - \tilde{S}_{T_i})^2, \quad (2)$$

где  $S_{Ti}$  – значение тормозного пути, полученного в результате машинного моделирования;

$\tilde{S}_T$  – значение тормозного пути, определенного по аналитической зависимости;

$N$  – число наблюдений.

Первоначально определяется градиент

$$\text{grad } \hat{O} = \left\{ \frac{\partial \hat{O}}{\partial P_1}, \frac{\partial \hat{O}}{\partial P_2}, \dots, \frac{\partial \hat{O}}{\partial P_k} \right\},$$

затем определяются направляющие косинусы

$$\{\cos \alpha_1, \cos \alpha_2, \dots, \cos \alpha_c\}.$$

Величины  $P_1$  изменяются следующим образом

$$P_i = P_i - \cos \alpha_i \cdot S, \quad (3)$$

где  $S$  – шаг итерации.

Шаг приближения меняется от  $S = S_0$  до  $S = S_1$ . Величины  $S_0$ ,  $S_1$  и входные значения  $P_i$  задаются в исходных данных программы.

Изменение шага происходит в том случае, если после очередного приближения уменьшения  $\Phi$  по антиградиенту не происходит, при этом шаг инерции делится пополам. Уменьшение  $S$  происходит до тех пор, пока  $S > S_1$ . Здесь параметр  $S_1$  можно считать точностью нахождения совокупности параметров  $P_i$ .

Выше отмечалось, что при определении вида уравнений регрессии необходимо действовать строго последовательно, тщательно изучая опыт предыдущих исследований. Первоначально была поставлена задача: получить аналитическую зависимость  $S_m$  от начальной скорости торможения  $v_0$ , времени торможения  $T$  и коэффициента сцепления колес с дорогой  $\varphi$ . Данная задача была решена в следующем виде

$$S_T = P_1 \varphi v_0 + P_2 \varphi (T - P_3 \varphi)^2. \quad (4)$$

Изучение зависимости (4) для диапазона изменения  $\alpha$  ( $-0,1 - 0,1$ ) позволило определить аналитическое выражение тормозного пути в функции от продольного уклона дороги

$$S_T = P_1 \varphi v_0 + (P_2 \varphi + P_3 \alpha) (T - P_4 \varphi)^2. \quad (5)$$

Завершающим этапом определения вида зависимости  $S_m$  было включение в его уравнение относительных коэффициентов неравномерности действия тормозных механизмов

$$S_T = P_1 \varphi v_0 + [P_2 \varphi + P_3 \alpha + (\varphi - \varphi_{\text{ад}}) \sum_{i=1}^n P_{i+4} n_i] (T - P_4 \varphi)^2, \quad (6)$$

где  $\varphi_{\text{ад}} = 0,25 \div 0,35$ .

Аналогичные зависимости показателя эффективности торможения в функции от указанных выше параметров были получены для автопоездов

$$\begin{aligned} S_T &= P_1 \varphi v_0 + P_2 \varphi (T - P_3 \varphi)^2; \\ S_T &= P_1 \varphi v_0 + (T - P_3 \varphi) (P_2 \varphi + P_4 \alpha); \\ S_T &= P_1 \varphi v_0 + (T - P_3 \varphi) [P_2 \varphi + \\ &+ P_4 \alpha + (\varphi - \varphi_{\text{ад}}) \sum_{i=1}^n P_{i+4} n_i], \end{aligned} \quad (7)$$

где  $n_i$  – относительные коэффициенты осевой неравномерности действия тормозных механизмов.

Для лесовозного автопоезда КамАЗ-5320 и ГKB-8350 зависимости (7) имеют вид

$$\begin{aligned} S_T &= 0,5764 \varphi v_0 + 4,5120 (T - 0,54457 \varphi)^2 \varphi, \\ \alpha > 0 \quad S_T &= 0,3708 \varphi v_0 + (T - 0,421 \varphi)^2 [4,592 \varphi - \\ &- 4,909 \alpha - 0,689 n_1 - 0,1464 n_2 - \\ &- 0,146 n_3 - 0,954 n_4 + 0,0264 n_5]; \\ \sigma &= 0,5655, \\ \alpha < 0 \quad S_T &= 0,359 \varphi v_0 + (T - 0,421 \varphi)^2 [4,599 \varphi - \\ &- 5,077 \alpha - 0,619 n_1 - 0,1278 n_2 - \\ &- 0,1259 n_3 - 0,5822 n_4 + 0,0301 n_5]; \\ \sigma &= 1,0633. \end{aligned}$$

Вывод уравнений регрессии для показателей устойчивости  $Z_{\text{сдб}}$  автопоезда при торможении не был осуществлен ввиду того, что даже при самых незначительных значениях неравномерности действия тормозных механизмов происходит складывание автопоезда.

Уравнения регрессии  $S_T$  (4) и (7) были получены для полностью груженых транспортных средств. Величину тормозного пути для транспортного средства  $S_T \alpha \%$ , загруженного на  $\alpha \%$ , можно определить по следующей зависимости

$$S_{T\alpha\%} = (0,9 + 0,001\alpha) S_{T100\%}, \quad (8)$$

где  $\alpha$  % – степень загрузки автомобиля в %;  
 $S_{T100\%}$  – величина тормозного пути полностью груженого транспортного средства.

Все аналитические зависимости  $S_T$  (4) и (7) были получены для конечных параметров торможения. В то же время при моделировании транспортных потоков, дорожные ситуации в которых меняются в течение долей секунды, необходимо знать текущее положение транспортных средств на дороге, т.е. требуется определить закон изменения  $S_T$  в функции времени. Прежде чем приступить к решению этой задачи, исследуем полученные результаты.

В качестве примера возьмем зависимость (5)

$$S_T = P_1\varphi v_0 + (P_2\varphi + P_3\alpha) \cdot (T - P_4\varphi)^2$$

и сравним ее с выражением для тормозного пути автомобиля с постоянным замедлением

$$S_T = \frac{1}{2}v_0 t_p + \frac{a(t - t_p)^2}{2}. \quad (9)$$

Первые члены в формулах (5) и (9) практически идентичны и указывают путь, который пройдет автомобиль за время нарастания тормозных моментов на колесах. В выражении (5) этот путь учитывается более точно, т.к. величина касательных реакций и соответственно время увеличения  $X$  ограничивается известной зависимостью  $X < Z\varphi$  и дальнейшее движение автомобиля продолжается с установившимся замедлением  $\alpha$ . На это указывает второй член формулы, а величину  $2(P_2\varphi + P_3\alpha)$  можно взять за

усредненное значение установившегося замедления  $\alpha$ .

Следовательно, для определения текущего значения тормозного пути можно использовать следующее выражение

$$S = P_1\varphi v_0 - v_0(P_2\varphi - \frac{1}{2}t)U_t(P_1\varphi - \frac{1}{2}t) + [v_0(t - P_4\varphi) - (P_2\varphi - P_3\alpha) \cdot (t - P_4\varphi)^2]U_t(t - P_4\varphi), \quad (10)$$

где  $U_t(Y)$  – функция Нэвисайда;

$$U_t(Y) = \begin{cases} 0 & \text{if } y < 0 \\ 1 & \text{if } y \geq 0. \end{cases}$$

Аналогично следует определить текущую величину  $S$  для всех полученных зависимостей (5 и 9).

Время  $t$  в формуле (10) ограничено полным временем торможения  $T$ , величину которого находим согласно следующему выражению

$$T = P_4\varphi + \frac{v_0}{2(P_2\varphi + P_3\alpha)}. \quad (11)$$

Проведенные расчеты показали хорошую сходимость результатов машинного моделирования и возможность применения указанных зависимостей при моделировании транспортных потоков.

Таким образом, получены уравнения регрессии показателей эффективности и устойчивости транспортных средств при торможении в зависимости от начальной скорости торможения  $v_0$ , времени торможения  $T$ , коэффициента сцепления колес с дорогой  $\varphi$ , степени загрузки транспортного средства, геометрии дороги – продольного  $\alpha$  и поперечного  $\beta$  уклонов дороги, радиуса кривизны дороги  $K_R$ .

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

С.И. БУЛДАКОВ, зав. каф. транспорта и дорожного строительства УГЛТУ, канд. техн. наук

**А**втозаправочная станция (АЗС) является стационарным источником загрязнения атмосферы парами бензина, дизельного топлива и их составляющими: бензолом, ксилолом, этилбензолом, предельными углеводо-

дами, сероводородом, а также продуктами сгорания топлива автотранспорта: оксидом и двуокисью углерода, оксидами серы и азота, соединениями свинца, твердыми частицами (сажей, пылью).

Источниками выделения загрязняющих веществ являются резервуары с бензином, дизельным топливом, маслом, автозаправочные колонки и проливы при перекачке бензинов из автозаправочных цистерн, при заправке автотранспорта. Выброс паров топлива происходит из горловин баков, дыхательных клапанов, выхлопных труб автотранспорта.

АЗС, как правило, размещаются вблизи автомобильных дорог. Их влияние на окружающую среду не столь существенно по сравнению с выбросами на автомобильных дорогах, но концентрации загрязняющих веществ обладают эффектом суммации, поэтому совместный эффект воздействия от АЗС и автомобильной дороги на окружающую среду может быть значителен, однако комплексному исследованию моделирования процессов загрязнения окружающей среды от автомобильных дорог и АЗС в отечественной и зарубежной литературе посвящено незначительное количество работ.

На прилегающей территории вокруг АЗС как источника выбросов формируется, как правило, несколько зон техногенного воздействия на окружающую среду: загрязнение атмосферы, почв, подземных и поверхностных вод [1, 2]. Все эти факторы необходимо учитывать при проектировании новых АЗС и эксплуатации существующих. Так как АЗС располагается в придорожной полосе автомобильных дорог, необходимо комплексно оценивать экологическое воздействие – с учетом фонового загрязнения, создаваемого окружающими АЗС объектами и размещать их с учетом минимизации отрицательного воздействия на окружающую среду в зоне их распространения.

Для оптимизации поставленной задачи и составления целевой функции воспользуемся методом множителей Лагранжа. Данный метод является классической задачей математического программирования, когда допустимая область  $S^n$  определяется системой равенств [3, 4]

$$\sum_{i=1}^N h_i(\bar{Y}) = 0, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2, \dots, N, N < n$ .

При этом  $f(\bar{Y})$  и  $h_i(\bar{Y})$  – выпуклые функции, имеющие непрерывные частные производные первого порядка. Допустимой областью решения задачи является пересечение поверхностей  $h_i(\bar{Y}) = 0$ . Существует два варианта решения задачи в зависимости от условий. Если известна мощность источника выбросов, через которую можно выразить остальные мощности  $N$  объектов, то из каждого ограничивающего условия (1) можно исключить одну из независимых переменных, выразив ее через другие переменные. В этом случае учет каждого из условий (2) уменьшает число независимых переменных на единицу. Таким образом, уменьшается размерность задачи при переходе от  $n$  к  $(n - N)$  переменным.

Далее определяются частные производные по оставшимся независимым переменным  $(N + 1, \dots, n)$ , которые приравняются нулю

$$\frac{\partial \Psi}{\partial Y_{N+1}} = 0; \quad \frac{\partial \Psi}{\partial Y_{N+2}} = 0; \quad \dots, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial Y_n} = 0. \quad (2)$$

Решая совместно систему уравнений (2), найдем стационарные точки экстремума  $\bar{y}$ . Недостатком данного метода является громоздкость вычислений при нахождении частных производных и решении системы уравнений.

Решение данной задачи будем проводить методом составления функций Лагранжа. С этой целью для системы (1) введем  $N$  (по числу ограничений) дополнительных множителей:  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$  и построим новую функцию Лагранжа, зависящую от  $\bar{Y}, \bar{\lambda}$ ,

$$\delta(\bar{Y}, \bar{\lambda}) = f(\bar{Y}) + \sum_{i=1}^N \lambda_i h_i(\bar{Y}), \quad (3)$$

где  $\bar{\lambda}^0 = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$  – вектор новых переменных.

Необходимым условием экстремума функции Лагранжа является равенство нулю частных производных по всем переменным

$$Y_1, \dots, Y_N, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N.$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta}{\partial Y_1} &= \frac{\partial f(\bar{Y}, \bar{\lambda})}{\partial Y_1} + \lambda_1 \frac{\partial h_1(\bar{Y})}{\partial Y_1} + \dots + \lambda_N \frac{\partial h_N(\bar{Y})}{\partial Y_1} = 0, \\ &\dots \\ \frac{\partial \delta}{\partial Y_n} &= \frac{\partial f(\bar{Y}, \bar{\lambda})}{\partial Y_1} + \lambda_1 \frac{\partial h_1(\bar{Y})}{\partial Y_1} + \dots + \lambda_N \frac{\partial h_N(\bar{Y})}{\partial Y_1} = 0, \\ \frac{\partial \delta(\bar{Y}, \bar{\lambda})}{\partial \lambda_1} &= h_1(\bar{Y}) = 0, \\ &\dots \\ \frac{\partial \delta(\bar{Y}, \bar{\lambda})}{\partial \lambda_N} &= h_N(\bar{Y}_N) = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Число переменных увеличилось на столько, сколько введено ограничений в виде равенств. В результате дифференцирования имеем систему  $(n + N)$  уравнений с  $(n + N)$  неизвестными.

Предположим, что решением системы (4) является стационарная точка  $Y^*$  и  $\lambda^*$ . Если при подстановке  $Y^*$  и  $\lambda^*$  в (3) получим

$$\delta(\bar{Y}^*, \bar{\lambda}^*) = f(\bar{Y}^*), \text{ т.к. согласно (1)}$$

$$\sum_{i=1}^N h_i(\bar{Y}^*) = 0, \quad (5)$$

тогда

$$\min \delta(\bar{Y}^*, \bar{\lambda}^*) = \min f(\bar{Y}^*). \quad (6)$$

Таким образом, в задаче оптимизации с ограничениями находятся оптимальные точки функции Лагранжа, определяемые из (3).

Для определения множителей Лагранжа найдем производные функции  $\delta(\bar{Y}, \bar{\lambda})$  по  $\bar{Y}$  в экстремальной точке  $\bar{Y}^*$ . В результате получим

$$\frac{\partial \delta(\bar{Y}^*, \bar{\lambda}^*)}{\partial \bar{Y}} = \frac{\partial f(\bar{Y}^*)}{\partial \bar{Y}} + \sum_{i=1}^N \lambda_i \frac{\partial h_i(\bar{Y}^*)}{\partial \bar{Y}} = 0. \quad (7)$$

Зависимости (7) можно переписать в форме

$$\frac{\partial f(\bar{Y}^*)}{\partial \bar{Y}} = \nabla f(\bar{Y}^*) = - \sum_{i=1}^N \lambda_i \nabla h_i(\bar{Y}^*). \quad (8)$$

Геометрический смысл уравнений (8), записанных через оператор Гамильтона  $\nabla$ , следующий: вектор-градиент целевой функции в точке экстремума лежит в плоскости, натянутой на векторы-градиенты ограничений. Другими словами, множители Лагранжа являются коэффициентами чувствительной точки  $\bar{Y}^*$  оптимального решения относительно возмущения ограничения. При

применении метода Лагранжа ограничения учитываются в новой функции  $\delta(\bar{Y}, \bar{\lambda})$ , а решение задачи сводится к последовательности вспомогательных задач минимизации.

Применительно к экологической задаче оптимального размещения АЗС, решаемой с целью минимизации ее воздействия на размещенные поблизости объекты, определим функцию цели и составим систему ограничений для изменяемых параметров [3, 5].

Постановка задачи следующая: пусть имеется  $N$  объектов, имеющих различный фон концентраций, а также различный поток массы  $G_i$  идентичных загрязняющих веществ, определяемый как произведение концентрации загрязняющих веществ и массового расхода загрязненного воздуха.

Поток массы загрязняющего вещества для каждого объекта определим в виде

$$G_1 = V_{\text{взд}} \tilde{N}_1, \quad G_2 = V_{\text{взд}} \tilde{N}_2, \dots, V_{\text{взд}} \tilde{N}_n, \quad (9)$$

где  $V_{\text{взд}}$  – условный расход загрязненного воздуха окружающей среды. Для каждого объекта введем предельно допустимые выбросы, концентрация которых равна предельно допустимой  $C_{\text{пдк}}$

$$G_{\text{пдв}} = V_{\text{взд}} C_{\text{пдк}}. \quad (10)$$

С учетом (9) и (10) получим

$$\frac{G_1}{G_{\text{пдв}}} = \bar{G}_1 = \bar{C}_1, \dots, G_N = \bar{G}_N = \bar{C}_N \quad (11)$$

$$\bar{C} = (\bar{C}_1, \bar{C}_2, \dots, \bar{C}_N).$$

Суммируя удельные расходы загрязняющих веществ, получим целевую функцию

$$\delta(\tilde{N}_1) = \tilde{G} = \sum_{i=1}^N \bar{C}_i, \quad (12)$$

где  $\bar{C}_i = \frac{C_i}{C_{\text{пдк}}}$  – доля ПДК для  $i$ -го загряз-

няющего вещества, которая определяется по формулам стандартной методики [6].

Введем ограничения на изменения параметров целевой функции. Согласно [5, 6]

$$\tilde{N}_1 \leq \tilde{N}_{\text{пдк}}, \quad \tilde{N}_2 \leq \tilde{N}_{\text{пдк}}, \dots, \tilde{N}_N \leq \tilde{N}_{\text{пдк}} \leq 1. \quad (13)$$

Суммируя левые и правые части, получим

$$\sum_{i=1}^N \bar{C}_i \leq N \quad (14)$$

или

$$h(\bar{C}_i) = N - \sum_{i=1}^N \bar{C}_i = 0. \quad (15)$$

Сформулируем функцию Лагранжа, зависящую от  $\bar{C}, \bar{\lambda}$ ,

$$\delta(\bar{C}, \bar{\lambda}) = \sum_{i=1}^N \bar{C}_i + \sum_{i=1}^N \lambda_i \left[ N - \sum_{i=1}^N \bar{C}_i \right] = 0. \quad (16)$$

Используя систему (4), дифференцируем (16) по  $\bar{C}_i$ , находим

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta(\bar{C}, \bar{\lambda})}{\partial \bar{C}_1} &= 1 - \bar{\lambda}_1 = 0, \\ \frac{\partial \delta(\bar{C}, \bar{\lambda})}{\partial \bar{C}_2} &= 1 - \bar{\lambda}_2 = 0, \\ &\dots \\ \frac{\partial \delta(\bar{C}, \bar{\lambda})}{\partial \bar{C}_N} &= 1 - \bar{\lambda}_N = 0, \\ \frac{\partial \delta(\bar{C}, \bar{\lambda})}{\partial \bar{\lambda}_1} &= N - \sum_{i=1}^N \bar{C}_i = 0, \\ &\dots \\ \frac{\partial \delta(\bar{C}, \bar{\lambda})}{\partial \bar{\lambda}_N} &= N - \sum_{i=1}^N \bar{C}_i = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Методом Лагранжа получена целевая функция экологической оптимизации размещения АЗС с учетом минимизации ее воздействия на окружающую среду. Полученная

аналитическая зависимость позволяет проводить прогнозные оценки фоновых полей концентраций загрязняющих веществ от АЗС, автомобильной дороги и других промышленных объектов.

### Библиографический список

1. Евгенийев И.Е. Современные методы обеспечения экологической безопасности при проектировании автомобильных дорог. – М.: Информавтодор, 1996. – Вып. 3. – 76 с.
2. Пособие по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при разработке технико-экономических обоснований (расчетов) инвестиций и проектов строительства народнохозяйственных объектов и комплексов / Под общ. ред. Ю.Л. Максименко, И.Д. Горкиной. – М.: Глав. гос. экологич. экспертиза, 1992. – 80 с.
3. Булдаков С.И., Зайцев В.В. Экологическое воздействие автозаправочных станций на окружающую среду в процессе эксплуатации: Материалы конф. «Экологическая безопасность Урала». – Екатеринбург, 2002.
4. Булдаков С.И., Зайцев В.В. Влияние автозаправочных станций // Науч. тр. Урал.гос.лесотех.унта. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. – Вып. 2.
5. Зайцев В.В. Автозаправочная станция как система массового обслуживания с ограничением времени пребывания в ней // Информ. сб. – М.: Информавтодор, 2002. – № 4. – С. 36–40.
6. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. – М.: Транспорт, 1995. – 124 с.

## О РАЦИОНАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ (АЗС)

С.И. БУЛДАКОВ, *зав. каф. транспорта и дорожного строительства УГЛТУ, канд. техн. наук*

Оптимизация размещения АЗС на автомобильных дорогах является многокритериальной задачей исследования сложных систем в условиях неопределенности. При этом за критерий оптимальности необходимо принять получение максимального дохода от продажи горюче-смазочных материалов с учетом экологической ситуации, близости уже существующих АЗС и ограничения по взрыво- и пожаробезопасности.

При оптимизации размещения АЗС необходимо рассмотреть несколько задач.

Сначала с учетом распространения выбросов находим с позиций экологии и взрыво- и пожаробезопасной ситуации допустимое количество автомобилей  $N$ , которое одновременно может находиться на территории автозаправочной станции. Далее определяем оптимальное количество бензоколонок  $n$  на каждой АЗС. При рассмотрении данной задачи совсем необязательно выполнение условия  $n = N$ , ибо из-за случайности процесса поступления автотранспортных средств на АЗС для заправки часть бензоколонок может дол-

гое время простаивать. Рассмотренные задачи решаются с привлечением теории массового обслуживания [1, 2, 3]. На основе данной теории решается и задача оценки оптимального запаса горюче-смазочных материалов, исходя из случайности ежедневной потребности их с учетом сбоев в поставках с нефтебаз. И, наконец, решается транспортная задача поставок горючего с баз на АЗС с таким расчетом, чтобы суммарные затраты на стоимость и перевозку горючего были бы минимальными. При этом также должна быть учтена надежность поставок: отсутствие сбоев и дублирование перевозок с разных баз.

Проектирование АЗС должно базироваться на знании интенсивности транспортного потока, проходящего через них, при этом необходимо выделить временные интервалы, когда интенсивность транспортного потока максимальна. В то же время изменение интенсивности может носить случайный характер. Поэтому при проектировании АЗС можно применять теорию массового обслуживания.

Пусть на АЗС имеется  $n$  однотипных бензоколонок, а поток идущих на заправку автомобилей имеет интенсивность  $\lambda$ . Примем, что время обслуживания  $\tau$  каждого автомобиля на АЗС подчиняется экспоненциальному закону

$$P(\tau < t) = 1 - \exp(-\mu t). \quad (1)$$

Обозначим максимальное число мест в очереди  $m$ . Очевидно, что суммарное число автомобилей на площадке АЗС не должно превышать экологической и взрывобезопасной величины  $N$

$$n + m \leq N. \quad (2)$$

Если на АЗС поступило  $k$  ( $k \leq n$ ) автомобилей, то все они обслуживаются, причем каждый – отдельной бензоколонкой.

Если на АЗС находится  $(n + r)$  автомобилей, причем  $n < r$ , то из них  $n$  обслуживаются, а  $r$  стоят в очереди и ждут начала обслуживания. Примем также, что время ожидания  $t_{ож}$  подчиняется экспоненциальному закону распределения

$$P(t_{ож} < t) = 1 - \exp(-\nu t), \quad (3)$$

где  $\nu$  – интенсивность обслуживания  $\text{мин}^{-1}$ .

Заявка на обслуживание не принимается, если в очереди все  $m$  мест заняты. Кроме того, примем, что автомобиль может уехать из очереди незаправленным, если в ожидании он потерял время  $t \geq t_{ож}$ .

Обозначим через  $S_0, S_1, S_2, \dots, S_k, \dots, S_{n+r}$  состояние системы массового обслуживания:

–  $S_0$  – в системе нет ни одного автомобиля на заправке, все бензоколонки свободны;

–  $S_k$  – на АЗС находится  $k$  автомобилей и все они заправляются,  $k = 1, 2, \dots, n$ ;

–  $S_{n+r}$  – на АЗС находится  $n + r$  автомобилей, из них  $n$  автомобилей заправляется, а  $r$  ждет в очереди,  $r = 1, 2, \dots, m$ .

Обозначим также через  $P_k(t)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n, n + 1, n + 2, \dots, n + m$  вероятность того, что система массового обслуживания АЗС в момент времени  $t$  находится в состоянии  $S_k$ . Переходы в системе массового обслуживания можно описать теорией графов [4]. Опуская их вывод [1], выпишем дифференциальные уравнения Колмогорова для определения вероятностей указанных состояний на АЗС

$$\begin{aligned} P'_0(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_k(t) &= \lambda P_{k-1}(t) - (\lambda + k\mu)P_k(t) + (k + 1)\mu P_{k+1}(t); \\ & \quad 1 \leq k \leq n - 1 \\ P'_k(t) &= \lambda P_{k-1}(t) - [\lambda + n\mu + (k - n)\nu]P_k(t) + \\ & \quad + (k + 1)\mu P_{k+1}(t) + [n\mu + (k - n + 1)\nu]P_{k+1}(t); \\ & \quad n \leq k \leq n + m - 1; \\ P'_{n+m}(t) &= \lambda P_{n+m-1}(t) - (n\mu + m\nu)P_{n+m}(t). \end{aligned} \quad (4)$$

Система линейных дифференциальных уравнений (4) должна решаться при начальных условиях

$$P_0(0) = 1, P_k(0) = 0 \text{ при } k = 1, 2, \dots, n + m. \quad (5)$$

Эта система уравнений описывает переходный процесс, который, как показывает практика расчетов, кратковременный, и система приходит в стационарное состояние, вероятность которого можно получить при  $t \rightarrow \infty$  и предположив  $P'_k(t) = 0$  при  $k = 0, 1, \dots, n + m$ .

Опуская промежуточные выкладки преобразований системы (4) с учетом (5), получим окончательные вероятности, характеризующие стационарные состояния системы массового обслуживания АЗС

$$P_k = \frac{\alpha^k}{k!} P_0, \quad 1 \leq k \leq n;$$

$$P_k = \frac{\alpha^k}{n! \prod_{j=1}^{k-n} (n+j\beta)} P_0; \quad n \leq k \leq n+m, \quad (6)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \sum_{k=n+1}^{n+m} \frac{\alpha^k}{n! \prod_{j=1}^{k-n} (n+j\beta)}},$$

где  $\alpha = \lambda/\mu$ ,  $\beta = \nu/\mu$ .

Вероятности  $P_k$ , характерные для стационарного состояния обслуживания на АЗС, можно истолковать как среднее относительное время пребывания системы в этом состоянии.

Значение вероятности  $P_k$  позволяет вычислить:

– длину очереди

$$m^* = \sum_{k=n+1}^{n+m} (k-n)P_k; \quad (7)$$

– среднее общее число автомобилей в системе

$$N^* = \sum_{k=1}^{n+m} kP_k; \quad (8)$$

– среднее число свободных от обслуживания колонок

$$n^* = \sum_{k=0}^{n-1} (n-k)P_k; \quad (9)$$

– среднее число колонок, занятых обслуживанием,

$$n - n^*; \quad (10)$$

– вероятность отказа

$$P_{\text{отк}} = 1 - (n - n^*)/\alpha; \quad (11)$$

– среднее время пребывания заявки в очереди

$$m_0 = m^*/\lambda. \quad (12)$$

Рассмотренные математические модели необходимо учитывать при проектировании АЗС, задаваясь предполагаемым транспортным потоком, проходящим через автозаправочную станцию, а также в процессе эксплуатации действующих АЗС для прогнозных оценок. Применение предлагаемого математического анализа несомненно благоприятно скажется на экологической ситуации вокруг действующих автозаправочных станций.

#### Библиографический список

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология – М.: Наука, 1980. – 208 с.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1991. – 384 с.
3. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Наука, 1966. – 497 с.
4. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

## ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ УЧАСТКОВ ПЛАНА И ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПЕРЕХОДНЫМИ РЕЖИМАМИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ

А.В. СКРЫПНИКОВ, доц., докторант каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, канд. техн. наук

Сочетание геометрических элементов трассы и различных способов организации движения на двухполосных дорогах формируют три режима движения автомобилей в потоке: стационарный, переходный без обгонов, переходный с обгонами. При переходных режимах понижаются транспортно-эксплуатационные характеристики таких участков.

Особенно сильное ухудшение условий движения отмечается на сложных участках плана и продольного профиля. Практические задания связаны с оценкой показателей транспортно-эксплуатационных характеристик и оценкой эффективности мер по улучшению технико-экономических показателей движения автомобилей на таких участках.

Использование комплекса программ моделирования движения автомобилей в потоке для оценки показателей транспортно-эксплуатационных характеристик на сложных участках дороги с чередующимися режимами движения заключается в следующем.

1. Устанавливаются протяженность и месторасположение участков с переходными режимами движения.

2. Рассчитываются показатели движения автомобилей в потоке по существующей (проектируемой) трассе с учетом формирующихся режимов движения потоков. В эти показатели, в частности, входят затраты на перевозки.

3. Рассчитываются показатели движения автомобилей в потоке при улучшении геометрических параметров трассы [1–3]. В большинстве случаев эти улучшения частично, не полностью уменьшают длину участков с переходными режимами. Это могут быть варианты увеличения радиусов выпуклых кривых продольного профиля, увеличения радиусов кривых плана, увеличения расстояний до боковых препятствий, строительство дополнительных полос, уменьшение зоны действия знаков, зоны действия разметки непрерывной линии, совмещения на одном участке элементов дороги, вызывающих переходные режимы и т.п.

4. Рассчитываются показатели движения при полном устранении переходных режимов.

Такие варианты улучшения условий движения являются идеальными, может быть, практически недостижимыми, но они позволяют оценить, насколько улучшаются условия движения при таком идеальном решении.

Примеры такой оценки условий движения при вариантном проектировании трассы дороги приведены на рис. 1–6.

Технико-экономическое обоснование улучшения условий движения на участках дорог с переходными режимами потока выполняют по известной методике. Улучшение условий движения эффективно, если соблюдается неравенство

$$\Delta \dot{Y} > E_i \dot{E} \quad (1)$$

где  $K$  – стоимость мероприятий по устранению переходных режимов (строительство дополнительной полосы, устранение бокового препятствия, уменьшение длины участка с переходными режимами и т.п.);

$\Delta \dot{Y}$  – дополнительные затраты на перевозки на участках переходных режимов, вычисленные по запланированному на расчетный год  $T$  объему перевозок;

$T$  – устанавливают по ВСН 21-85;

$A_i$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений.

Технико – экономическое обоснование улучшения условий движения на участках дорог с переходными режимами движения и постоянным продольным уклоном может быть выполнено по следующей методике.

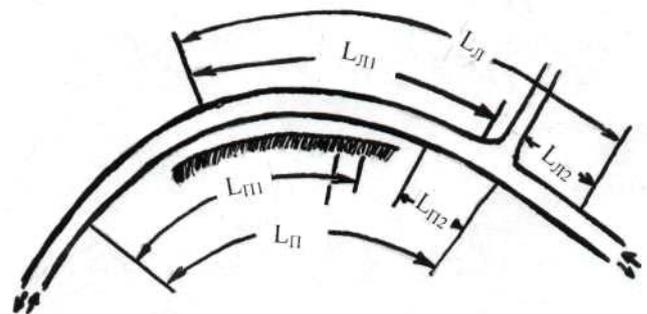


Рис. 1. Последовательное расположение элементов дороги и придорожного пространства, увеличивающее длину переходных участков с переходными режимами (схема I)

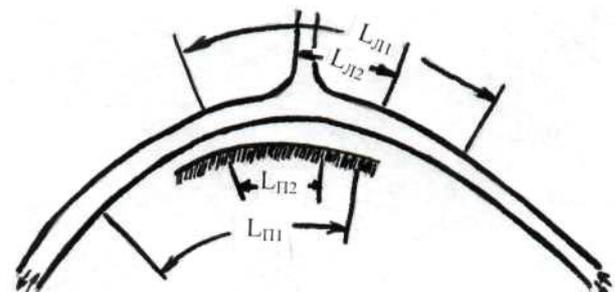


Рис. 2. Уменьшение длины участков с переходными режимами смещения съезда на кривую (схема II)

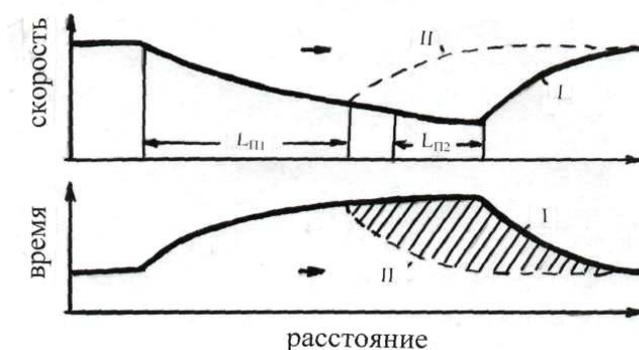


Рис. 3. Характеристики движения потока, соответствующие схемам I и II. Заштрихованная площадь – экономия времени

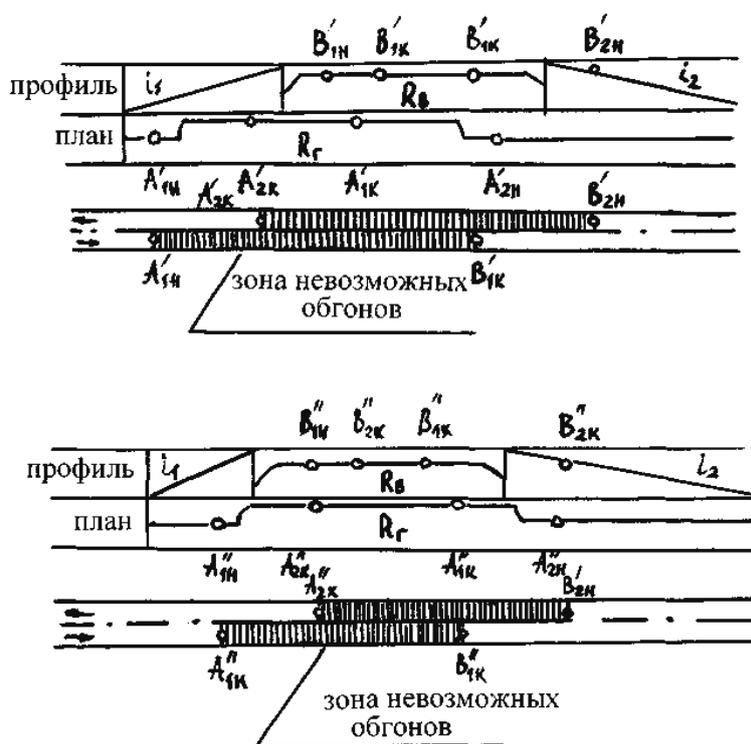


Рис. 4. Смещение кривых плана и профиля увеличивает длину участков с переходными режимами без обгонов (а, схема I), совмещение кривых плана и профиля уменьшает длину участков с переходными режимами движения потока (б, схема II)

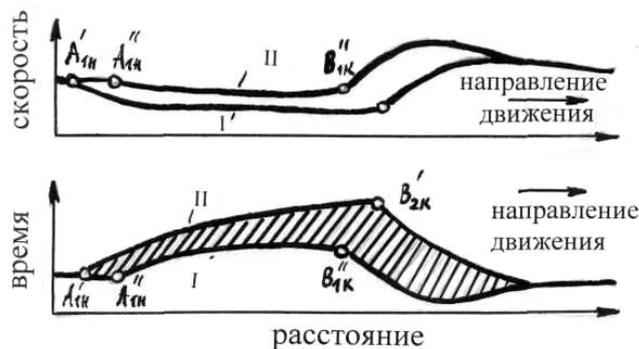


Рис. 5. Характеристики движения потока, соответствующие схемам I и II. Заштрихованная площадь – экономия времени

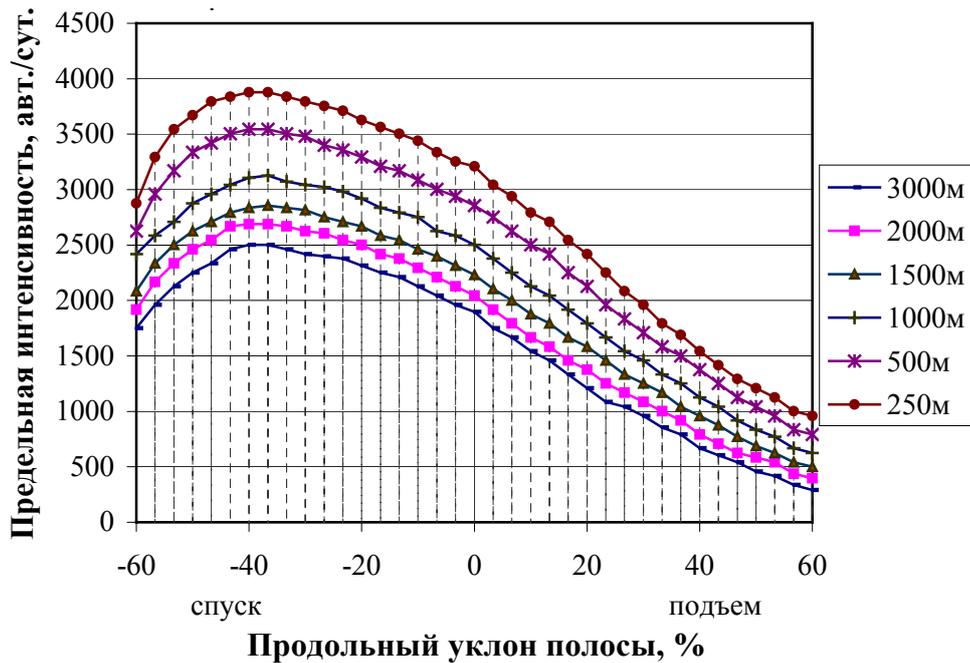


Рис. 6. Номограмма для определения интенсивности (предельной) при длине участка от 250 м до 3000 м с невозможными обгонами

Предельную интенсивность находят по номограмме на рис. 6 в зависимости от длины участка  $l$  и величины продольного уклона. Номограмма построена для условий стоимости работ по улучшению условий движения.

$$\hat{E}_i = 25000(1 + 0,1i), \text{ р./км}, \quad (2)$$

где  $i$  — абсолютная величина продольного уклона, в %.

Если фактические затраты  $K$  не совпадают с  $K_i$ , то предельную интенсивность вычисляют по формуле

$$N_i = N_i \frac{\hat{E}}{\hat{E}_i}, \quad (3)$$

где  $N_i$  — интенсивность, найденная по номограмме.

### Библиографический список

1. Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В. Комплексное моделирование процесса функционирования автомобильных лесовозных дорог в САПР. Деп. в ВИНТИ, № 1088. — 24.06.2004. — 196 с.
2. Скрыпников А.В. Особенности расчетов показателей движения при проектировании дорог с использованием единых относительных характеристик автомобильных двигателей. Технология, машины и производство лесного комплекса будущего: Материалы международной научно-практической конференции / ВГЛТА. Часть II. — Воронеж: ВГЛТА, 2004. — 381 с.
3. Курьянов В.К., Скрыпников А.В. Современные этапы развития автомобильного проектирования дорог (САПР-АД). Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем лесного комплекса: Межвуз. сб. науч. тр./ Под ред. проф. В.С. Петровского. — Воронеж: ВГЛТА, 2000. — 259 с.

## КОМПЛЕКС ЭПЮР ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ – ОСНОВА ОЦЕНКИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

А.В. СКРЫПНИКОВ, доц., докторант каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, канд. техн. наук

Теория и практика проектирования автомобильных дорог показывают, что оптимизация проектного решения – многокритериальная задача.

Характеристики взаимодействия автомобилей и дороги настолько различны, что вряд ли их можно обобщить каким-либо единым показателем. В настоящее время обоснована необходимость анализа и оптимизации проекта дороги с использованием эюр:

- скорости движения (по Н.Ф. Хорошилову, Е.А. Бельскому, К.А. Хавкину, В.В. Сильянову);
- коэффициентов аварийности и коэффициентов безопасности движения (по В.Ф. Бабкову);
- пропускной способности и уровня загрузки (по В.В. Сильянову).

Более полное представление о транспортно-эксплуатационном качестве дороги дает комплекс показателей (скорость, время движения, расход топлива, показатели безопасности движения, токсичности, себестоимости перевозок), рассчитанных для типовых автомобилей расчетного потока автомобилей, сформированных в районе тяготения производительных сил к проектируемой дороге [1–4].

В настоящее время при проектировании дорог выполняют расчет лишь некоторых показателей для 2–3-х наиболее распространенных (и быстро устаревающих) моделей автомобилей. При этом оценка проектных решений недостоверна и точность технико-экономических обоснований капитальных вложений в строительстве дороги недостаточна.

Результаты исследований позволяют расширить комплекс показателей, значительно увеличить количество типовых авто-

мобилей, выполнять расчеты показателей движения перспективных моделей, повысить достоверность технико-экономических обоснований при проектировании дорог.

Для того чтобы комплекс эюр, характеризующих транспортно-эксплуатационные характеристики дороги [5–7], был более полным, к перечисленным ранее добавлены следующие эюры:

- скорости свободного движения и в потоке типовых автомобилей;
- максимальная скорость движения одиночного легкового автомобиля при полном использовании мощности двигателя;
- расход топлива;
- эмиссии токсичных веществ;
- себестоимость перевозок в целом и по видам затрат.

Наибольшую информацию несут эюры показателей движения типовых автомобилей.

При проектировании дорог необходимо учитывать режимы движения и дорожные условия. Поскольку основными показателями режимов движения являются скорости, то влияние на режимы движения дорожных условий прежде всего анализируют по эюрам скорости.

Ввод в процесс проектирования модулей ПРОФИЛЬ, СОСТАВ, ТРАССА позволяет вывести эюры скорости свободного движения. Анализ эюры по значениям скорости, характеру изменения эюры, проявляющимся резким провалам и выбросам скорости на эюре, по частоте переключения и номерам используемых передач позволяет оперативно оценить:

- обоснованность параметров элементов плана, продольного и поперечного профиля;

– степень согласованности между собой проектных решений плана и продольного профиля;

– обоснованность проектных решений по дорожной обстановке;

– обоснованность проектных решений по ремонтам и эксплуатации (результаты моделирования чувствительны к изменениям и шероховатости покрытий).

Достоверность рассчитываемых значений скорости существенно повышена за

счет того, что влияние всех элементов дорожных условий на режимы движения моделируется совместно.

Соответствие проектных решений нормативной расчетной скорости проверяют путем моделирования и автоматизированного построения эпюр максимальных скоростей, выполняя те же самые программы ПРОФИЛЬ, СОСТАВ, ТРАССА и задавая режим максимального использования мощности двигателя – рис. 2.

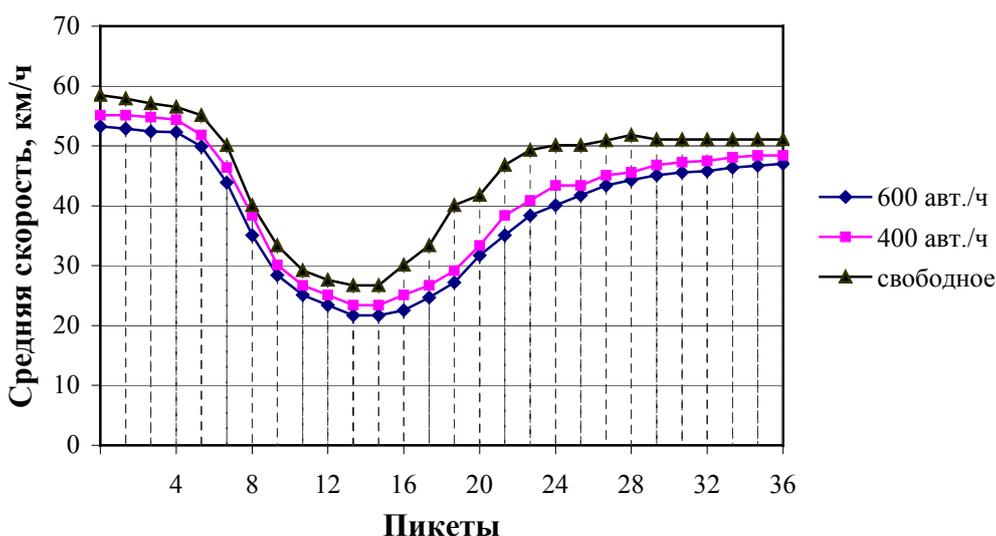


Рис. 1. Эпюры средних скоростей автомобиля КАМАЗ+ГКБ при различной интенсивности: 400, 600 авт./ч и свободном движении

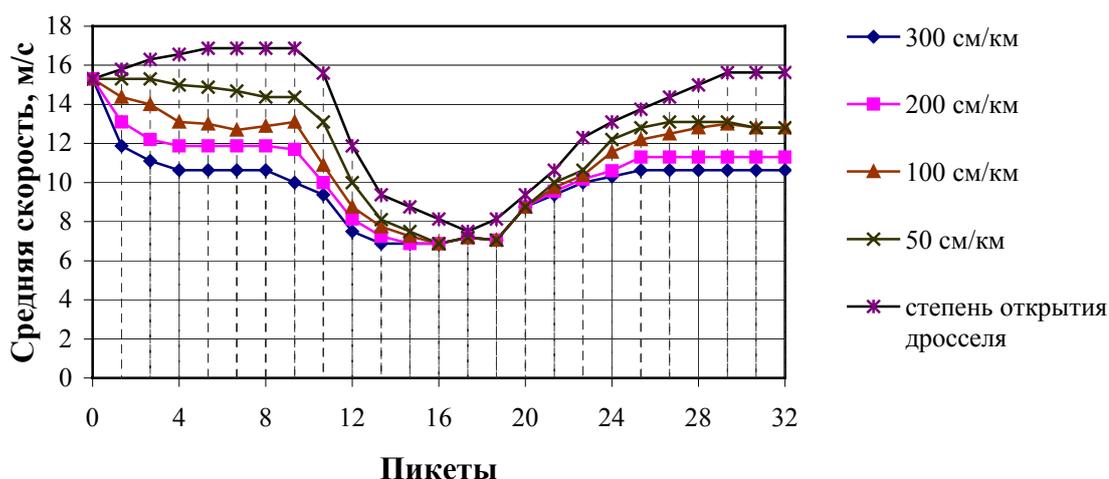


Рис. 2. Моделирование влияния ровности покрытия на скорость автомобиля КАМАЗ+ГКБ. Значения ровности от 50 до 300 см/км. Степень открытия дросселя  $p = 1$  при отличной ровности покрытия

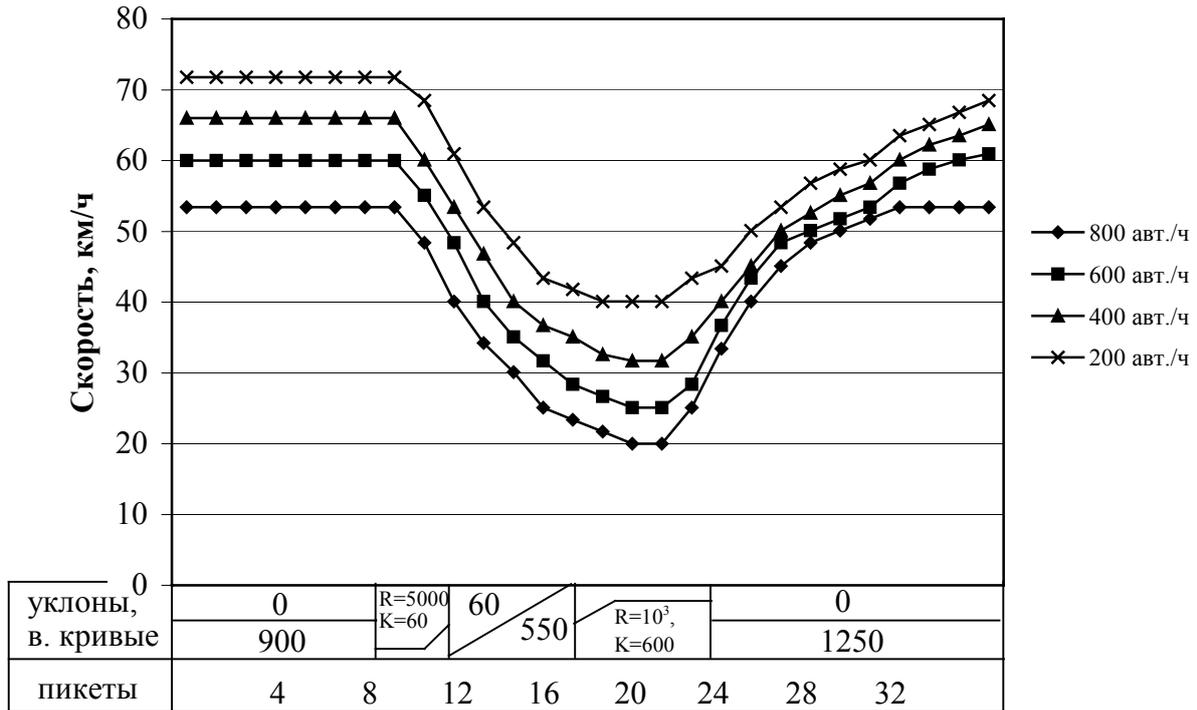


Рис. 3. Эпюры средней скорости потока при интенсивности от 200 до 800 авт./ч. Обгоны ограничены на участке от ПК 14 до ПК 22

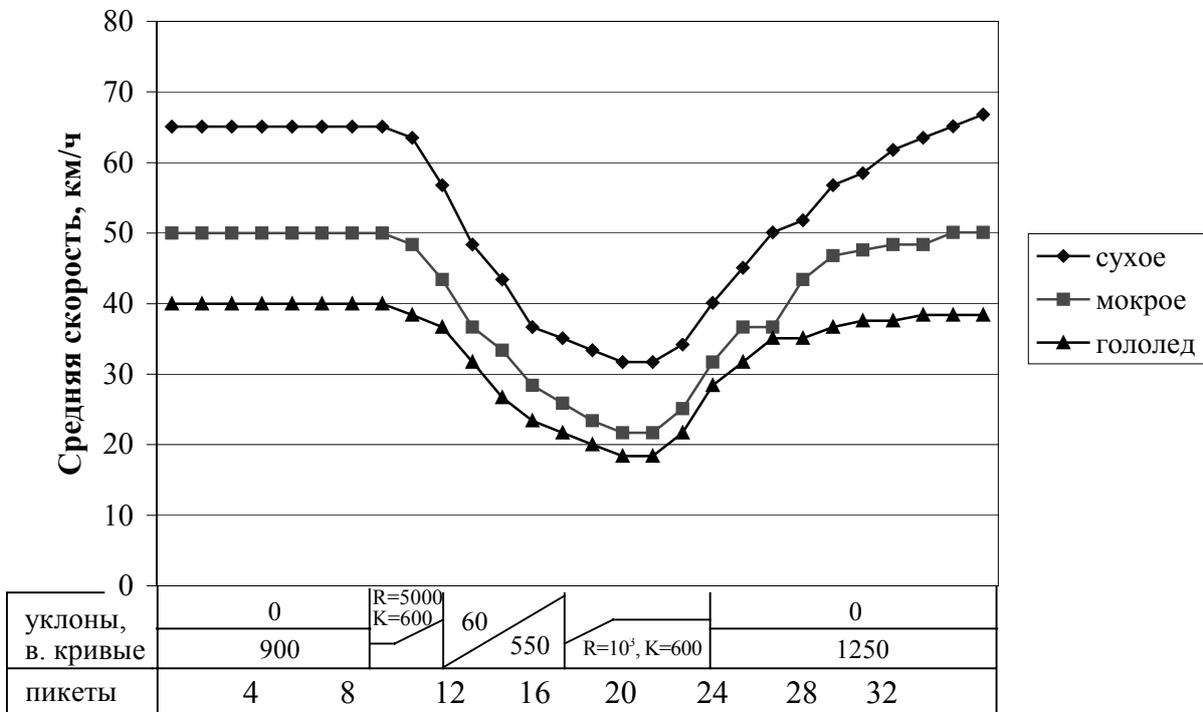


Рис. 4. Эпюры средней скорости потока при интенсивности 400 авт./ч. Состояние покрытия: 1 – сухое; 2 – мокрое; 3 – гололед

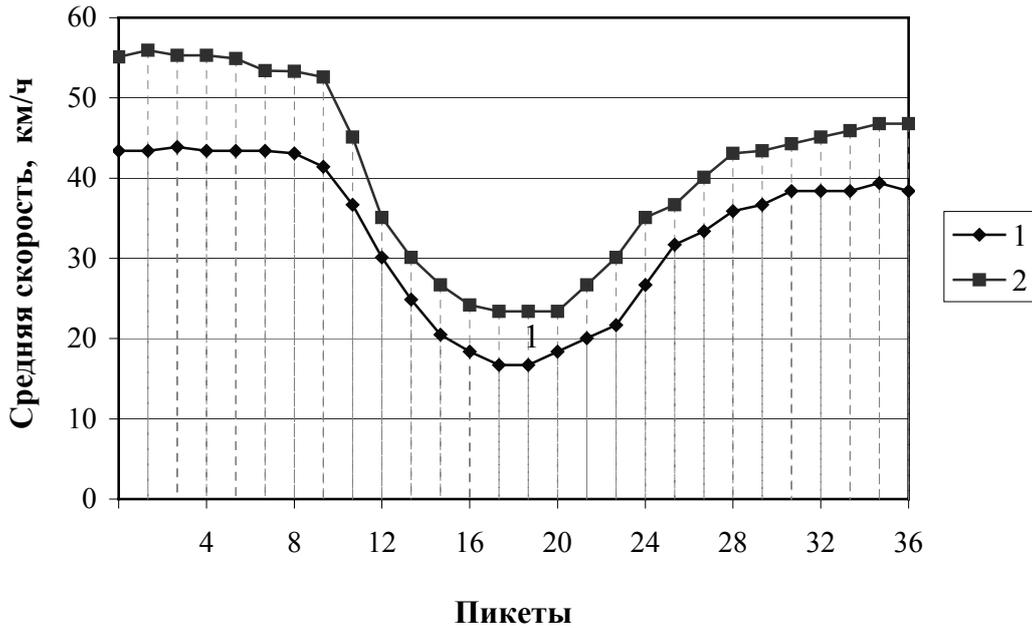


Рис. 5. Зависимость средней скорости автомобиля КАМАЗ при интенсивности 400 авт./ч от шероховатости покрытия: 1 – асфальтобетонное, без обработки, сухое; 2 – асфальтобетонное, загрязненное

Анализ соответствия проектных решений расчетной нормативной скорости основывается на результатах моделирования движения реальных автомобилей. В этой связи существенный интерес представляют эпюры скорости перспективных типов автомобилей, которые станут основной массой потока автомобилей к концу расчетного периода (20-летняя перспектива), на который проектируется дорога. Эпюры движения перспективных типов автомобилей строят по тем же программам: СОСТАВ, ТРАССА – , но предварительно нормативно-справочную базу технико-экономических параметров дополняют показателями перспективного автомобиля. Для этого вызывают программу ПАРКПЛЮС.

Обоснование капитальных вложений в строительство и реконструкцию дорог, сравнение вариантов схем организации движения требуют анализа эпюр средней скорости (рис. 3, 4) и скорости движения типовых автомобилей в потоке. Автоматизированное построение этих эпюр осуществляется после последовательного выполнения программ

ПРОФИЛЬ, СОСТАВ, ТРАССА, КОЛОННА. Такое моделирование полнее раскрывает возможности проектных решений дорог II, III, IV категорий с встречным движением именно вследствие детального моделирования движения встречных потоков программой КОЛОННА, в которой реализованы теоретические результаты.

При сравнении вариантов проектных решений наряду со стоимостными показателями необходимо пользоваться и натуральными. В частности, экономия топлива может оказаться решающим фактором при выборе оптимального варианта дороги.

Существенное влияние на расход топлива оказывает величина продольного уклона, состояние покрытия и режим движения, выбираемый водителем в зависимости от дорожных условий. Поэтому эпюру расхода топлива целесообразно строить на сложных участках продольного профиля. Анализ показывает, что на трудных участках дороги характер эпюр расхода топлива настолько сложен, что аппроксимация его простыми зависимостями (например, от величин

ны уклона) может привести к существующей потере точности. Эпюры следует использовать как индикатор расхода топлива в энергосберегающих проектных решениях.

Значения расхода топлива используются в расчетах затрат на перевозки при сравнении вариантов проектных решений, при расчетах загрязнения придорожного пространства токсичными веществами отработавших газов.

Эпюры токсичности строят по результатам моделирования движения автомобилей программами: ПРОФИЛЬ, СОСТАВ, ТРАССА, КОЛОННА. Поэтому все особенности проектируемых дорог дорожных условий отражены в эпюрах эмиссии токсичных веществ.

Выявление участков дорог, элементов плана и продольного профиля, элементов дорожной обстановки, вызывающих существенные затраты на перевозки, способствуют эпюры себестоимости.

В настоящее время проектировщики не выполняют громоздких попикетных расчетов себестоимости, зачастую подменяют технико-экономические обоснования местных вариантов плана и профиля формальным анализом соответствия их требованиям СнИП.

Анализ оперативно получаемых с ЭВМ данных о попикетных затратах пере-

возки ускоряет оптимизацию проектного решения при сравнении вариантов и способствует формированию у проектировщика ясных представлений о связи между проектными решениями и затратами на перевозки.

### Библиографический список

1. Курьянов В.К., Рябова О.В., Скрыпников А.В. Стадийное повышение транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования. – Воронеж: ВГЛТА, 2004.
2. Скрыпников А.В. Совершенствование методов, алгоритмов и программ комплексного моделирования процесса функционирования дороги для оценки проектных решений в системе автоматизированного проектирования лесовозных автомобильных дорог. – Воронеж: ВГЛТА, 2004 – 276 с.
3. Скрыпников А.В. Особенности расчетов показателей движения при проектировании дорог с использованием единых относительных характеристик автомобильных двигателей. Технология, машины и производство лесного комплекса будущего: Материалы международной научно – практической конференции / ВГЛТА. Часть II. – Воронеж: ВГЛТА, 2004. – 381 с.
4. Курьянов В.К., Скрыпников А.В. Современные этапы развития автомобильного проектирования дорог (САПР-АД). Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем лесного комплекса: Межвуз. сб. науч. тр./ Под ред. проф. В.С. Петровского. – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – 259 с.

## КОНЦЕПЦИЯ СОВРЕМЕННОГО АУДИТА В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ

М.А. МЕНЬШИКОВА, *проф. каф. бух. учета, экономического анализа и аудита МГУЛ*

Усложняющиеся экономические отношения в лесопромышленном комплексе потребовали от аудиторов решения комплекса новых задач. В последнее время обозначился четкий сдвиг в сторону «стратегической ориентации» аудита. В современных условиях предполагается проведение анализа деловых рисков по направлению с ориентацией «сверху-вниз», а не «снизу-вверх», как это предполагалось ранее.

Современный аудит предусматривает постоянное совершенствование процедур проверки деятельности лесопромышленных предприятий. Аудитор получает возможность четко идентифицировать деловые риски предприятия, а следовательно, и риски аудита; он должен сосредоточить внимание на проверке рисков значительных искажений данных в финансовой отчетности и представления неточной или неполной учетной информации.

Для успешного проведения аудиторских проверок с учетом рисков требуется иметь всестороннее знание о бизнесе, причем особое внимание необходимо обращать на ключевую роль стратегии лесопромышленного предприятия, его существенные деловые риски.

Аудитор должен понять отраслевую среду, в которой действует предприятие, т.е. те условия, в которых оно осуществляет свою деятельность, а не только выполнить проверку наличия конкретных активов и пассивов, прав собственности на них, оценку их стоимости и представления данных о них и о движении денежных средств.

В задачу аудитора входит понять, насколько прочны отношения между лесопромышленным предприятием и внешними экономическими субъектами, как изменя-

лась эта прочность в течение отчетного периода, за который проводится проверка, каков риск потенциально возможных в будущем изменений в результате действия внешних и внутренних экономических сил.

Аудиторы изучают и анализируют корпоративное управление, а также устойчивость лесопромышленных компаний. Подход к аудиторской проверке с учетом рисков требует, чтобы аудитор обращал внимание на системные отношения и способность предприятия изменять стратегию деятельности с целью сохранения прочности имеющихся связей. Подход к проведению аудита с учетом рисков определяется как системный подход, при котором характер, время и масштаб проверки определяются оценкой риска того, что заявления, сделанные в финансовой отчетности, верны или существенно искажают действительное положение дел.

Термин «системный» подразумевает подход с учетом рисков.

Для эффективной оценки риска наличия в финансовой отчетности в существенной степени неточных или неправильных утверждений необходимо применять так называемую модель ожидания.

Аудитор разрабатывает комплексную модель деятельности предприятия (бизнес-модель), чтобы оценить риск существенного искажения. Такая модель ожидания будет отражать понимание ключевых деловых рисков, которые могли бы препятствовать предприятию в достижении им его стратегических целей.

У лесопромышленных предприятий существует общая концепция, на основе которой определяются цели его деятельности. Для достижения этих целей вырабатывается

стратегия, разрабатываются и осуществляются процессы, приобретаются и используются лесосырьевые ресурсы. Когда существующая стратегия перестает отвечать поставленным целям, требуется быстрая стратегическая переориентация; в противном случае под угрозу ставится само существование организации. Чтобы вынести правильное профессиональное суждение о достоверности финансовых отчетов, аудитору необходимо понять стратегию лесопромышленного предприятия и процесс, посредством которого эта стратегия адаптируется применительно к изменяющимся условиям окружающей среды и возникающим в ходе деятельности предприятий деловым рискам.

Для эффективного управления деловыми рисками предприятия должны учитывать состояние всей отраслевой экономики как сферы своей деятельности. Производственные связи между стратегическими партнерами, включая поставщиков и потребителей, ведут к возникновению организаций, представляющих собой сложную сеть отношений между фирмами и компаниями.

Динамичность рынков, изменения в корпоративных структурах управления и необходимость расширения сферы компетенции на местном уровне ведут к тому, что старая модель контроля устаревает. В этих условиях менеджеры пересматривают организационные структуры своих предприятий, разрабатываются новые методы и формы контроля деловых рисков.

Профессиональный риск аудитора существенно уменьшается, если существует понимание того, как деловой риск отражается на финансовой отчетности. Аудитор должен быть знаком с используемыми механизмами контроля и с учетом этого дать глубокую оценку деятельности предприятия.

Современный аудит предполагает анализ состояния отрасли, в которой работает предприятие; стратегии предприятия, направленной на достижение конкурентного преимущества, деловых рисков, ставящих под угрозу успех этой стратегии.

В ходе аудита внимание концентрируется на бизнес-процессе. Предполагается,

что цели стратегии ведения бизнеса достигаются посредством ключевых бизнес-процессов.

Модель бизнеса включает системное представление всей организации целиком, деятельности и рисков, относящихся к ее взаимоотношениям с другими организациями, а также группировку и эффективность ее основных процессов.

Для успешной аудиторской работы необходимы: стратегический взгляд на деятельность предприятия, толкование деловых рисков с точки зрения последствий аудиторских рисков, концентрация внимания на бизнес-процессах, сообщение предприятию информации, представляющей для него ценность, аналитическая перспектива функционирования предприятия. При этом совершенно очевидно, что аудиторская проверка должна проводиться специалистами, владеющими основными знаниями об особенностях лесопромышленного производства и имеющими опыт работы с отраслевыми предприятиями.

Стратегический анализ позволяет познакомиться с целями и стратегией лесопромышленных предприятий, понять их в условиях отрасли и экономической среды. Анализ дает информацию аудитору о бизнес-процессах, которые являются решающими для успешного функционирования предприятия.

Стратегический анализ включает в себя:

1. Анализ общей исходной информации:

- а) анализ модели сегмента компании;
- б) анализ информации по отрасли;
- в) анализ информации, характеризующей предприятие;
- г) эффективность работы предприятия в предыдущие периоды.

2. Понимание деловых целей и стратегии предприятия:

- а) установление деловых целей предприятия;
- б) понимание стратегии предприятия;
- в) понимание стратегий корпоративного уровня управления;

г) понимание стратегий подразделений компании;

д) понимание стратегий по функциям и процессам;

е) понимание процесса стратегического управления предприятием.

3. Идентификация значительных стратегических рисков и оценка системы контроля:

а) идентификация стратегических рисков;

б) оценка системы контроля;

в) оценка стратегического анализа с точки зрения значения его выводов для аудита.

4. Обсуждение полученных данных и заключений с руководством компании (документальное оформление полученных данных и заключений).

Аудитор должен собрать и изучить информацию, относящуюся непосредственно к лесопромышленному предприятию. Наиболее ценными источниками информации являются: протоколы собраний совета директоров, схемы организационной структуры, состав руководителей и круг их обязанностей, основные показатели деятельности, контролируемые руководством, стратегические планы, оперативные планы и сметы, информация об основных технологических процессах, клиентах и поставщиках.

Аудитору рекомендуется проанализировать эффективность функционирования предприятия за последние 3–5 лет, а также установить стратегические инвестиции.

Изучение эффективности функционирования лесопромышленного предприятия может быть выполнено через вновь создаваемую контрольную систему экономического субъекта, которую рекомендуем назвать системой **постоянного внутреннего мониторинга**. Для ее осуществления необходим постоянно действующий функционирующий орган. Он должен являться подразделением предприятия или группы компаний и подчиняться непосредственно совету директоров; должна быть обеспечена материальная независимость данного подразделения от компании, предусматривающая на-

личие самостоятельного бюджета, сметы, расчетного (текущего) счета и возможности им распоряжаться.

Такой функционирующий орган может представлять собой самостоятельное юридическое лицо в составе группы компаний либо вне группы компаний, в этом случае функции внутреннего контроля может взять на себя независимая консалтинговая (аудиторская) фирма.

Система постоянного внутреннего мониторинга должна содержать **сбалансированную оценку работы предприятия** по следующим направлениям:

– финансовые показатели, которые указывают, вносит ли свой вклад в итоговый результат стратегия предприятия и ее реализация;

– рыночные показатели, которые указывают, как потребитель оценивает предприятие, его продукцию или услуги;

– показатели эффективности процессов, которые относятся к качественным характеристикам процессов деятельности предприятия;

– показатели эффективности использования ресурсов, которые указывают на эффективность работы сотрудников, а также использование активов предприятия.

В качестве финансового показателя может быть использован коэффициент отдачи собственного капитала.

Рыночными показателями являются: доля рынка, приверженность потребителей и их сохранение, своевременность поставки.

К показателям эффективности процессов относятся производственные затраты, продолжительность процесса, снижение процента брака, допустимый процент брака, количество рекламаций на качество продукции.

Показатели эффективности использования ресурсов включают производственную мощность предприятия, технологические возможности, квалификацию сотрудников, увеличение объема производства на одного сотрудника.

Для успешного аудита необходимо понимание задач и стратегии деятельности

предприятия. Аудитор должен отличать три основные группы задач, относящиеся к операционной деятельности, к финансовой деятельности, к соблюдению действующих законов, норм, контрактов и соглашений.

Стратегия – это поиск возможных вариантов действий, при помощи которых можно добиться осуществления поставленных целей.

Руководство, разработав стратегию для компании в целом, определяет и реализует стратегии по каждой составляющей производственного процесса.

Стратегия по продукции включает исследование и принятие действий в области качества продукции, возможности разработки новых видов продукции, выполняется анализ производственной себестоимости.

Стратегия в области рынка предполагает ознакомление с процессом ценообразования на лесопroduкцию, с каналами сбыта, с посредниками по реализации продукции, с рекламой и стимулированием продаж.

Стратегия в технологии предполагает оценку технологического лидерства, использования инноваций.

Финансовая стратегия включает финансовую независимость, управление финансовыми рисками, налоговую стратегию, инвестиционные решения.

Операционная стратегия предусматривает размещение производственных мощностей, структуру затрат, управление качеством.

Занятие бизнесом практически всегда сопряжено с риском. Руководство предприятия должно принять решение, насколько приемлем риск, и создать систему контроля, чтобы удержать риск в разумных пределах (таблица).

К факторам, повышающим вероятность появления значительных деловых рисков на лесопромышленных предприятиях, относятся следующие:

- изменение условий, в которых предприятие осуществляет деятельность;
- изменение информационных систем;
- новые технологии;
- изменение ассортимента;
- экспортно-импортные операции и т.д.

Современное положение лесного сектора экономики России свидетельствует о серьезных деловых рисках для лесопромышленных предприятий.

Переход России к рыночной экономике сопровождался спадом лесопромышленного производства. Объемы вывозки древесины, производства пиломатериалов, древесной плиты, целлюлозы и бумаги за период 1989–2000 гг. уменьшились в три раза. Положительной динамики развития за последние годы в основном добились лишь вертикально интегрированные комплексы, которые объединили в холдинг предприятия лесозаготовки и глубокой переработки древесины.

Значительное снижение покупательной способности населения за последнее десятилетие уменьшило потенциал развития внутреннего рынка потребления и ориентировало лесную промышленность на экспорт. Диспропорции в территориальном размещении лесных ресурсов и рынков потребления древесины при огромных расстояниях перевозок в России ориентировали экспорт на поставки необработанного круглого леса и явились одним из главных препятствий по преодолению кризиса в лесном секторе.

Т а б л и ц а

**Виды контроля и источники деловых рисков для лесопромышленных предприятий**

№ п/п	Виды контроля	Возможные источники деловых рисков
1.	Стратегический контроль	Внешние условия, макроэкономические условия в отрасли, рынки, продукция, потребители
2.	Управленческий контроль	Внутренняя обстановка, организационная структура
3.	Попроцессный контроль	Действия на уровне бизнес-процессов

В структуре производства промышленной продукции в стране на долю лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности в 2003 г. приходилось 3,4 %, а на долю экспорта продукции лесопромышленного комплекса в структуре экспорта страны – 3,7 %. Отрасль располагает 3 % основных фондов промышленности. Инвестиции в основной капитал за счет всех источников финансирования составляют 3,3 % от инвестиций, направленных в промышленность.

В 2003 г. объем производства лесопромышленного комплекса России вырос на 1,5 % по сравнению с 2002 г. Это один из самых низких темпов роста среди всех отраслей промышленности страны. В лесопромышленном комплексе отмечается замедление темпов роста лесобумажной продукции. Так, в 1999 г. индекс физического объема производства составил 118 %, в 2002 г. – 102,4 %, в 2003 г. – всего лишь 101,5 %. На замедление темпов роста производства продукции сказалось снижение по сравнению с 2002 г. объемов производства деловой древесины, пиломатериалов, отдельных видов продукции деревообработки, мебели.

Объем производства деревообрабатывающей промышленности в 2003 г. увеличился по сравнению с прошлым годом на 22,1 %. В объеме товарной продукции ЛПК удельный вес деревообработки в 2003 г. составил 39,7 % по сравнению с 38,1 % в 2002 г., т.е. увеличился на 1,6 %. Индекс физического объема составил 98,5 % по сравнению с 97,9 % в 2002 г.

При проведении аудиторской проверки предприятий ЛПК следует не только учитывать экономическую ситуацию в этом секторе экономики, но и отраслевые особенности, взаимосвязи и динамику развития каждого отдельного производства: пиломатериалов, мебели, фанеры, производства плит.

В лесопильной подотрасли ведется работа по формированию интегрированных структур корпоративного управления на базе лесопильно-деревообрабатывающих предприятий путем объединения с ними техноло-

гически связанного лесозаготовительного производства. Восстанавливаются технологические связи между леспромпхозами и лесопильными предприятиями, которые вкладывают собственные средства в техническое обновление лесозаготовительных производств.

Мебельная промышленность в целом работает устойчиво и, в основном, на удовлетворение спроса внутреннего рынка. Общее количество предприятий, занятых производством мебели за период 1999–2002 гг., увеличилось в 2 раза. При этом доля крупных и средних мебельных компаний в общем количестве предприятий за этот период сократилась с 19 % до 9 %. Однако свыше 61 % всех работающих заняты на крупных и средних предприятиях. В отрасли высок уровень концентрации производства, практически 79,0 % общего производства продолжает производиться крупными и средними предприятиями. Структура производства мебели по видам продукции меняется незначительно. За период с 1999 г. доля выпуска бытовой мебели увеличена с 74,6 % в 1999 г. до 77,7 % в 2003 г. При этом доля кухонной мебели снизилась на 0,4 %, доля мягкой мебели уменьшилась практически на 1,5 %.

Рост производства фанерной продукции стимулируется постоянно растущим спросом на внешнем рынке, а также активной инвестиционной политикой предприятий-производителей. Рост объем производства фанеры в 2003 г. по сравнению с 1990 годом составил 122,7 %. В настоящее время фанера выпускается более чем на 45 предприятиях. Наиболее крупными торгово-промышленными группами являются: «Юнайтед Панел Групп» и холдинг «Свеза». Предприятия, входящие в их состав, производят около 28,0 % общероссийского выпуска фанеры.

Информация об экономическом состоянии подотраслей ЛПК помогает аудитору более достоверно выполнить оценку бизнеса на конкретном аудируемом предприятии, а также разработать и использовать адекватные аудиторские процедуры.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ МЕБЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.В. САНАЕВ, директор по экономике и финансам ЗАО «ПО «Одинцово»», канд. экон. наук

Целью управления материальными запасами в логистической системе является координация усилий, направленных на поддержание запасов на таком уровне, который обеспечивал бы повышение эффективности функционирования всей логистической системы в целом.

Оценка экономической эффективности управления материальными запасами в логистической системе является ключевым моментом в осуществлении управления материальным потоком. Определение этого показателя имеет большое значение как на стадии развития стратегии управления запасами, так и при оценке конечных результатов деятельности по управлению запасами.

Основная цель – оценка экономической эффективности управления материальными запасами в логистической системе – может быть конкретизирована в следующих задачах:

- разработка методики количественной оценки показателя экономического эффекта, получаемого в результате реализации логистической концепции управления материальными запасами;

- количественная оценка показателя экономической эффективности управления материальными запасами;

- исследование процесса образования синергетического эффекта при логистическом подходе к управлению запасами и разработка механизма его распределения между участниками логистического соглашения.

Методика количественной оценки экономической эффективности управления материальными запасами в логистической системе мебельного предприятия базируется на концептуальном подходе к определению экономической эффективности логистической системы в целом. Учитывая, что в осно-

ве этой концепции лежит сопоставление результатов, полученных от применения логистического подхода к управлению потоковыми процессами, и ресурсов, авансируемых на его осуществление, интегральный показатель экономической эффективности управления материальными запасами можно представить в следующем виде

$$E^{inv} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^{inv}}{\sum_{i=1}^n K_i^{inv}}, \quad (1)$$

где  $E^{inv}$  – экономическая эффективность управления материальными запасами в логистической системе предприятия;

$R_i^{inv}$  – финансовый результат, полученный от внедрения логистических методов управления материальными запасами в  $i$ -ой логистической подсистеме, р.;

$K_i^{inv}$  – средняя за период величина капитала, авансируемого на формирование и хранение материальных запасов в  $i$ -ой логистической подсистеме, р.

Реализация первой задачи при определении экономической эффективности управления материальными запасами в логистической системе состоит в количественной оценке экономического эффекта, получаемого в результате применения логистики.

Экономический эффект от логистического подхода к управлению запасами в логистической системе предприятия складывается, во-первых, за счет уменьшения величины капитала, инвестированного в материальные запасы в границах логистической системы, и абсолютного высвобож-

дения части денежных средств, альтернативное использование которых позволяет получить дополнительную прибыль от операций на финансовых рынках; во-вторых, за счет ускорения оборачиваемости средств, инвестированных в материальные запасы, что приводит к росту выручки от реализации и в случае рентабельной работы предприятия – к росту прибыли от реализации; в-третьих, за счет сокращения переменной части издержек на формирование и хранение запасов, зависящей от величины хранимых запасов

$$R_i^{inv} = P_i + \Delta P_i^{inv} + \Delta TCI_i, \quad (2)$$

где  $\Delta P_i^{inv}$  – прирост прибыли, полученный от внедрения логистических методов управления материальными запасами в  $i$ -ой логистической подсистеме, р.;

$\Delta TCI_i$  – сокращение издержек на формирование и хранение материальных запасов в  $i$ -ой логистической подсистеме, р.

Поскольку обобщающим показателем эффективности работы мебельного предприятия является величина прибыли, следует определить влияние использования материальных запасов на этот показатель.

Определение величины  $\Delta P_i$  характеризуется вариантностью подходов. Сокращение величины материальных запасов в логистической системе означает либо одновременное высвобождение из оборота некоторой суммы в виде свободных денежных средств, либо уменьшение связанных в запасах капитальных средств и увеличение их оборачиваемости. В случае высвобождения из оборота некоторой суммы денежных средств они могут быть вовлечены в операции на финансовых рынках и приносить доход в виде дивидендов, процентов и т.д.

Первый вариант представляет собой определение величины прибыли от финансово-хозяйственной деятельности за счет получения сумм, причитающихся в соответствии с договорами к получению в виде дивидендов, процентов к получению и пр. при альтернативном использовании единовре-

менно высвобожденных финансовых ресурсов, образующихся в результате уменьшения величины материальных запасов в ходе реализации логистической концепции.

$$\Delta P_i^{inv} = \Delta I_i \cdot K_p, \quad (3)$$

где  $\Delta P_i^{inv}$  – прирост прибыли от финансово-хозяйственной деятельности  $i$ -ой логистической подсистемы, р.;

$\Delta I_i$  – единовременно высвобожденные финансовые средства, образующиеся в результате уменьшения величины материальных запасов  $i$ -ой логистической подсистемы, р.;

$K_p$  – коэффициент, учитывающий прирост денежных средств при альтернативных направлениях их использования.

При втором варианте определения прироста прибыли рассматривается относительное высвобождение средств вследствие уменьшения величины материальных запасов. В этом случае сокращение материальных запасов приводит к росту оборачиваемости, что, в свою очередь, определяет рост выручки от реализации продукции и при условии рентабельной деятельности предприятия – рост прибыли от реализации.

Анализ влияния указанных факторов на показатель выручки от реализации продукции может быть проведен с использованием жестко детерминированной факторной модели.

Детерминированный факторный анализ предполагает достаточно жесткую последовательность выполняемых процедур:

- 1) построение экономически обоснованной (с позиции факторного анализа) детерминированной факторной системы;
- 2) выбор приема факторного анализа, подготовка условий для его выполнения;
- 3) реализация счетных процедур анализа модели, включая проверку;
- 4) формирование выводов и рекомендаций по результатам анализа.

Для анализа влияния двух факторных признаков величины – материальных запасов и скорости их оборота – на величину выручки от реализации продукции предлагает-

ся жестко детерминированная факторная модель.  $K_p$  – может быть рассчитан на основе средней процентной ставки по банковским депозитам.

$$\frac{TR_1}{TR_0} = \frac{I_1 \cdot K_{sp1}}{I_0 \cdot K_{sp0}} = \frac{I_1 K_{sp1}}{I_0 K_{sp1}} \cdot \frac{I_0 K_{sp1}}{I_0 K_{sp0}}, \quad (4)$$

где  $TR_{0,1}$  – выручка от реализации в базисном и отчетном периодах, р.;

$I_{0,1}$  – среднехронологическая стоимость материальных запасов в базисном и отчетном периодах, р.;

$K_{sp0,1}$  – коэффициент оборачиваемости материальных запасов в базисном и отчетном периодах, обороты.

Для осуществления факторного анализа используется прием подстановок. Вначале анализируется влияние изменения величины материальных запасов на показатель выручки от реализации продукции, а затем – влияние ускорения оборачиваемости материальных запасов. Разность между числителем и знаменателем результативного и факторных признаков определяется следующей зависимостью

$$TR_1 - TR_0 = \Delta TR = (I_1 \cdot K_{sp1} - I_0 \cdot K_{sp1}) + (I_0 \cdot K_{sp1} - I_0 \cdot K_{sp0}). \quad (5)$$

Формула (5) может быть использована для прогнозных расчетов изменения показателя выручки от реализации продукции при различных вариантах изменения показателей стоимости материальных запасов и скорости оборота.

Внедрение логистических мероприятий по управлению материальными запасами сопровождается прогнозной оценкой двух показателей: необходимой величины материальных запасов и продолжительности периода оборота совокупных материальных запасов. На основании этих прогнозных оценок возможно рассчитать, используя формулу (5), прирост выручки от реализации.

Прирост прибыли от реализации, полученный в результате уменьшения материальных запасов и ускорения их оборачиваемости, определяется на основе показателя рентабельности продаж

$$\Delta P_i^{inv} = \frac{H \cdot \Delta TR}{100}, \quad (6)$$

где  $\Delta P_i^{inv}$  – прирост прибыли от реализации, полученный в результате уменьшения материальных запасов и ускорения их оборачиваемости в  $i$ -ой логистической подсистеме, р.;

$TR$  – прирост выручки от реализации продукции, р.;

$H$  – норма рентабельности продаж, %.

Таким образом, прирост прибыли, полученной от внедрения логистических методов управления материальными запасами, может быть определен следующим образом

$$\Delta P_i^{inv} = \begin{cases} 1) \Delta I_i \cdot K_p \\ 2) \frac{(H \cdot \Delta TR)}{100} \end{cases}. \quad (7)$$

Изложенные выше методические подходы позволяют оценить экономический эффект, получаемый в результате реализации логистической концепции при управлении материальными запасами в границах логистической системы мебельного предприятия, т.е. получаемый результат.

Для изучения экономической эффективности управления материальными затратами необходимо полученный результат сопоставить с ресурсами, авансированными на его достижение. Таким образом, будет решена вторая поставленная задача.

В качестве знаменателя в формуле (1) предлагается использовать сумму двух составляемых: средней стоимости материальных запасов и средней за период стоимости основных средств, используемых для формирования и хранения материальных запасов

$$K_i^{inv} = I_i + FLI_i \quad (8)$$

где  $\Delta K_i^{inv}$  – ресурсы, авансированные на формирование и хранение материальных запасов, р.;

$I_i$  – среднехронологическая стоимость материальных запасов в  $i$ -ой логистической подсистеме, р.;

$FLI_i$  – среднехронологическая стоимость основных средств, используемых для формирования и хранения материальных запасов.

Среднехронологическая стоимость материальных запасов определяется по результатам проводимых инвентаризаций либо на основе текущих данных бухгалтерского учета.

В составе основных средств, используемых для формирования и хранения материальных запасов, учитывают складские помещения, подъемно-транспортное оборудование, вычислительную технику и контрольно-измерительное оборудование, аппаратуру, используемые в процессе управления материальными запасами.

С учетом выражений (7) и (8) формула (1) преобразуется следующим образом

$$E^{INV} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i^0 + \Delta P_i^{INV} + \Delta TCI_i)}{\sum_{i=1}^n (I_i + FL_i)} . \quad (9)$$

Показатель экономической эффективности управления материальными ресур-

сами является универсальным и может быть использован:

- на стадии разработки стратегии управления материальными запасами для прогнозирования возможных результатов;

- на стадии принятия решения для выбора наиболее эффективного варианта управления материальными запасами;

- на стадии анализа для оценки результатов деятельности по управлению материальными запасами по окончании определенного временного периода.

В первых двух случаях расчет производится по планируемым показателям, а в последнем случае – по фактическим.

С использованием данного показателя рассчитана эффективность управления материальными запасами для различных вариантов, полученных в ходе имитационных экспериментов с экономико-математической моделью. Результаты расчета представлены в таблице.

Т а б л и ц а

**Эффективность управления материальными запасами в ходе имитационного эксперимента**

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Варианты расчетов				
			1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
1	Потребность в материалах за период	м <sup>2</sup>	14800	14800	14800	14800	14800
2	Размер заказа	м <sup>2</sup>	620	823	1240	2480	3700
3	Цена материала	р.	250	250	230	200	180
4	Текущий запас	м <sup>2</sup>	310	411,5	620	1240	18500
5	Страховой запас	м <sup>2</sup>	93	123,5	186	372	555
6	Средний запас	м <sup>2</sup>	403	534,95	806	1612	2405
7	Капитал, инвестированный в запас	р.	100750	133737,5	185380	322400	432900
8	Издержки на хранение 1м <sup>2</sup>	р.	25	25	23	20	18
9	Издержки на хранение за весь период	р.	10075	13373,8	18538	32240	43200
10	Количество заказов за период	шт.	24	18	12	6	4
11	Издержки на организацию одной поставки	р.	1040	1040	1040	1040	1040
12	Издержки на организацию всех поставок	р.	24960	18720	12480	6240	4160
13	Издержки системы управления запасами	тыс. р.	35035	32093,8	31018	38480	47450
14	Эффективность управления материальными запасами		0,2783	0,2742	0,2659	0,2402	0,2213

Применение логистического подхода к управлению материальными запасами позволяет реализовать так называемый синергетический эффект. Синергетика представляет собой новую концепцию самоорганизации и кооперации в системах управления, позволяющую выявить пути самоорганизации в социально-экономических системах. Принципы синергетики, используемые в управлении социально-экономическими системами, могут дать значительный эффект, когда участники системы функционируют и взаимодействуют на добровольной основе с учетом их экономических интересов.

Характерным примером реализации существенного потенциала синергетического подхода является снижение запасов на складах отправителей и получателей, своевременная доставка сырья, материалов и комплектующих изделий и ускорение движения материальных потоков, что приводит к повышению конкурентоспособности логистических субъектов, повышению доходности осуществляемой ими деятельности и, соответственно, получению экономического эффекта. Вместе с тем функционирование хозяйствующих субъектов в рамках логистической системы осуществляется на основе теории компромиссов, предполагающей гармонизацию их противоречивых экономических интересов. Эти компромиссы рассматриваются как метод балансирования издержек, доходов и прибыли участников логистического соглашения и оцениваются в двух аспектах: во-первых, с точки зрения воздействия на полные издержки в логистической системе; во-вторых, с точки зрения их влияния на доходы от сбыта. Достижение взаимовыгодного компромисса предполагает также разработку механизма распределения получаемого синергетического эффекта и в логистической системе между участниками логистического взаимодействия.

Рассмотрим процесс возникновения синергетического эффекта вследствие применения логистических методов управления материальными запасами для двух участников логистического соглашения. Для упрощения задачи определим их как «Поставщик»

и «Потребитель». Оба субъекта разрабатывают собственную стратегию управления материальными запасами, учитывая при этом, что существует некая зависимость между получаемым экономическим эффектом и величиной хранимых запасов. Графическое выражение этой зависимости представлено на рисунке, количественная оценка может быть реализована с использованием формулы (7). В зависимости от выбранных параметров стратегии управления запасами процесс образования синергетического эффекта может существенно варьироваться. Возможные варианты формирования синергетического эффекта представлены на рисунке.

Случай *а* иллюстрирует ситуацию, при которой рост объема запасов приводит к увеличению дохода и росту экономического эффекта у поставщика и потребителя одновременно; синергетический эффект определяется как сумма составляющих его экономических эффектов поставщика и потребителя.

Случай *б* соответствует ситуации, когда рост запасов на величину  $Q_{\max} - Q_{\min}$  приводит к увеличению экономического эффекта только у потребителя, хранение же этого объема запаса у поставщика снижает величину получаемой им экономического эффекта. Синергетический эффект определяется как алгебраическая сумма экономических эффектов поставщика и потребителя. Механизм его распределения реализуется в форме скидки с договорной цены.

Синергетический эффект – это совместный или кооперативный эффект взаимодействия подсистем в открытых системах.

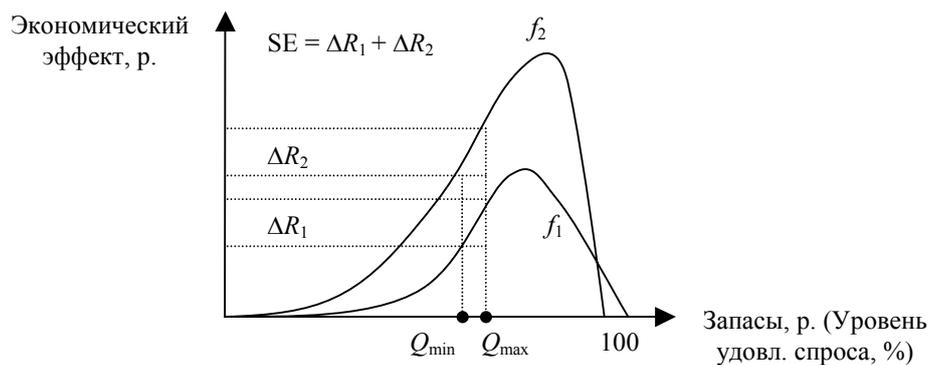
Для партии поставки объемом  $\Delta Q$  договорная цена данного материального ресурса определяется

$$\ddot{O}^* = \ddot{O}_{ie} - \frac{\Delta R_1}{\Delta Q}, \quad (10)$$

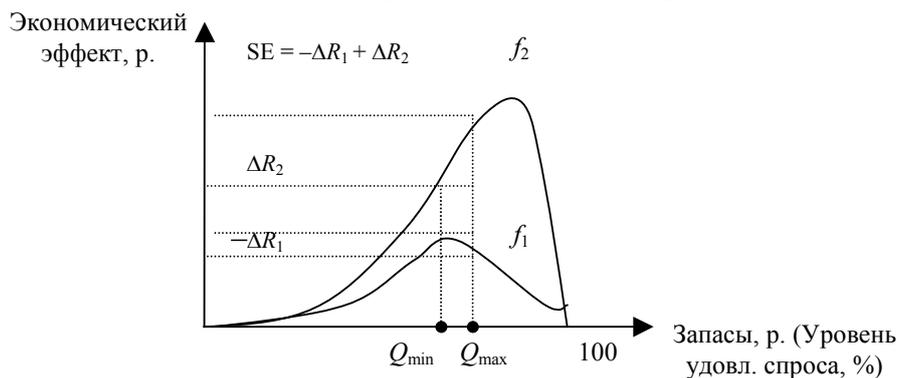
где:  $C^*$  – договорная цена данного вида материальных ресурсов, р.;

$\Delta R_1$  – экономические потери поставщика, р.;

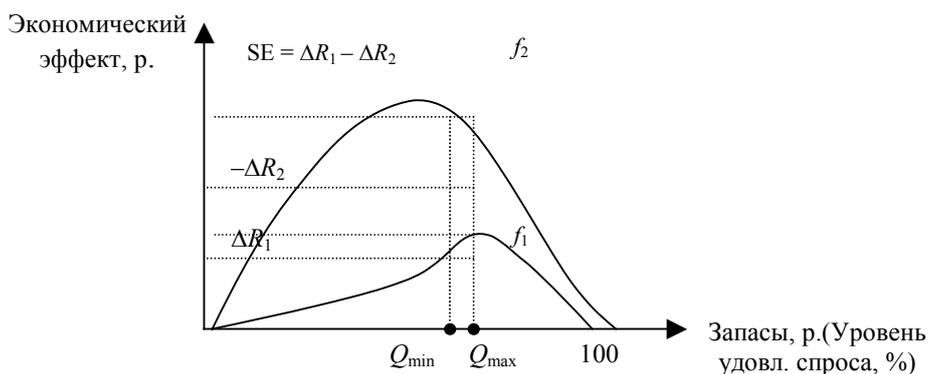
$\Delta Q$  – изменения партии поставки материальных ресурсов, нат. ед.



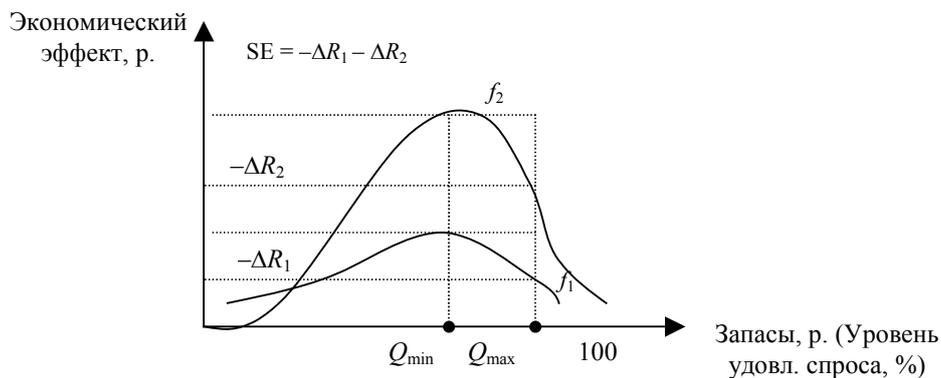
а) положительный эффект поставщика и потребителя



б) отрицательный эффект поставщика, положительный эффект потребителя



в) положительный эффект поставщика, отрицательный эффект потребителя



г) отрицательный эффект поставщика, отрицательный эффект потребителя

Рисунок. Зависимость величины экономического эффекта от изменения величины запасов:  $f_1$  – функция экономического эффекта поставщика;  $f_2$  – функция экономического эффекта потребителя; SE – величина синергетического эффекта

В случае *в* наблюдается обратная ситуация, когда рост запасов в логистической системе ведет к уменьшению экономического эффекта у потребителя, но не оказывает отрицательного воздействия на экономический эффект, получаемый поставщиком. Синергетический эффект также определяется как алгебраическая сумма экономических эффектов поставщика и потребителя, а механизм его распределения реализуется в форме надбавки к договорной цене для партии поставки объемом  $\Delta Q$ . Договорная цена данного материального ресурса определяется

$$\ddot{O}^* = \ddot{O}_{ie} + \frac{\Delta R_2}{\Delta Q}, \quad (11)$$

где  $\Delta R_2$  – потери потребителя в результате увеличения партии поставки.

Случай *г* описывает ситуацию, при которой увеличение запасов в логистической системе на величину  $\Delta Q$  приводит к уменьшению получаемого экономического эффекта и у поставщика, и у потребителя.

Вопрос распределения запасов между поставщиком и потребителем в случаях *а* и *г* требует применения оптимизационных расчетов, позволяющих найти наилучший вариант решения проблемы.

Использование рассмотренных методических подходов к определению экономической эффективности управления материальными запасами позволит повысить качество управленческих решений, будет способствовать росту отдачи от инвестиций в материальные запасы и улучшению финансовых результатов деятельности хозяйствующих субъектов.

### Библиографический список

1. Логистика: Учеб. пособие / Под ред. Б.А.Аникина; 3-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2002.
2. Николайчук В.Е. Заготовительная и производственная логистика. – СПб.: Питер, 2001.
3. Шумаев В.А. Логистика товародвижения – М.: Издательский дом «НОВЫЙ ВЕК», 2001.
4. Справочник директора предприятия / Под ред. М.Г. Лапусты; 4-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2000.

## УЧЕТ НАЛОГОВ ПРИ РАСЧЕТЕ НАРАЩЕННЫХ СУММ

П.А. КУРЗИН, ассистент каф. высшей математики МГУЛ

Вопросу учета налогов при расчете наращенных сумм, например, банковских депозитов, в литературе по финансовой математике не уделяется значительного внимания [1, 2, 4–6]. Тем не менее, при выводе общих формул для учета налогов при расчете наращенных сумм с начислением сложных процентов некоторые авторы приходят к спорным выводам. Так, Е.М. Четыркин в работе «Финансовая математика» делает вывод о том, что применяемый метод взыскания налога не влияет на общую его сумму [6, с. 83]. При этом он рассматривает два метода взыскания налога: в конце срока начисления процентов и ежегодно. В действительности сумма налога зависит от метода его начисления. Рассмотрим оба метода начисления налога.

Введем следующие обозначения:  $S$  – наращенная сумма без учета уплаты налога,  $S''$  – наращенная сумма с учетом уплаты налога,  $g$  – ставка налога,  $G$  – общая сумма налога,  $i$  – процентная ставка,  $P$  – первоначальная сумма на депозите,  $n$  – число периодов начисления процентов.

В случае уплаты налога в конце срока начисления процентов

$$G = (S - P)g = [P(1+i)^n - P]g = P[(1+i)^n - 1]g, \quad (1)$$

$$S'' = S - G = P(1+i)^n - P[(1+i)^n - 1]g = P[(1-g)(1+i)^n + g]. \quad (2)$$

В случае уплаты налога ежегодно наращенные суммы за первый, второй и т.д. годы равны соответственно

$$S_1'' = P(1+i) - Pig = P(1+i-ig), \quad (3)$$

$$S_2'' = P(1+i-ig)(1+i) - P(1+i-ig)ig = P(1+i-ig)^2, \quad (4)$$

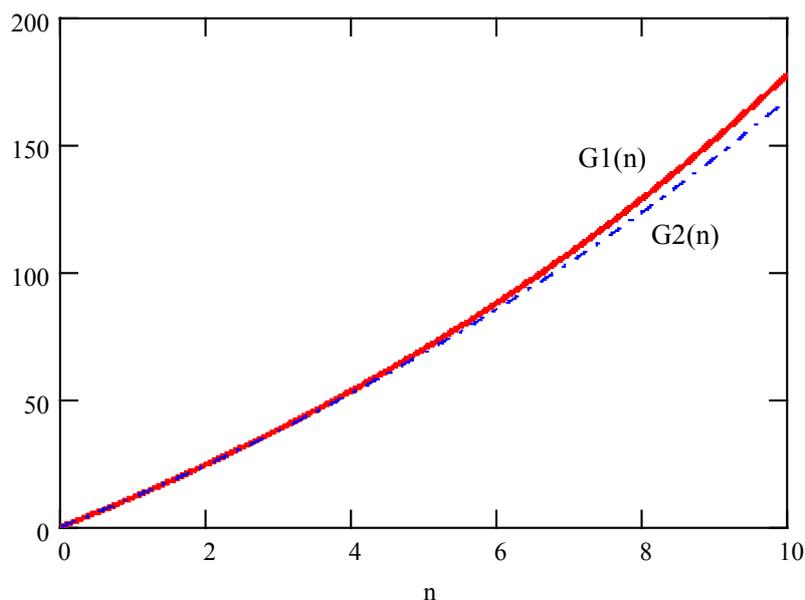


Рис. 1

$$S_n'' = S'' = P(1 + i - ig)^n. \quad (5)$$

Общая сумма налога в этом случае равна

$$G = Pig + Pig(1 + i - ig) + Pig(1 + i - ig)^2 + \dots + Pig(1 + i - ig)^{n-1} = \frac{Pig}{1 - g} [(1 + i - ig)^n - 1]. \quad (6)$$

Очевидно, что вычисления суммы налога по формулам (1) и (6) дадут различающиеся результаты.

Рассмотрим это на следующем примере.

Пусть  $i = 9\%$ ,  $g = 13\%$ ,  $P = 1000$  единиц. Построим график зависимостей общих сумм налога (рис. 1), рассчитанных по формулам (1) и (6), от числа периодов начисления процентов.  $G1(n)$  рассчитывается по формуле (1), а  $G2(n)$  – по формуле (6)

$$G1(n) = 1000[(1 + 0,09)^n - 1] \cdot 0,13$$

$$G2(n) = \frac{1000 \cdot 0,13[(1 + 0,09 - 0,09 \cdot 0,13)^n - 1]}{1 - 0,13}.$$

Сумма налога, рассчитанная по формуле (1), при  $n > 1$  больше суммы налога, рассчитанной по формуле (6). При  $n = 10$  разница между суммами достигает 9,62669 единицы.

Таким образом, вывод о том, что метод взыскания налога не влияет на общую его сумму, в общем случае неверен.

Кроме того, при современном уровне развития применения информационных технологий в финансовых расчетах необходимо отметить неправильность сложившейся практики начисления сложных процентов несколько раз в году [1–6]. При начислении процентов несколько раз в году наращенную сумму в настоящее время принято вычислять по формуле

$$S = P \left( 1 + \frac{j}{m} \right)^N, \quad (7)$$

где  $j$  – так называемая годовая ставка;  
 $m$  – число периодов начисления в году;  
 $N$  – общее количество периодов начисления.

В то же время общеизвестна формула вычисления наращенной суммы

$$S = P(1 + i)^n, \quad (8)$$

которую распространяют и на сроки меньше года (для полугодия  $n = 0,5$ ).

При начислении процентов  $m$  раз в году наращенная сумма должна рассчитываться по следующей формуле

$$S = P(1 + i)^{\frac{N}{m}}. \quad (9)$$

Кроме того, очевидно, что чем больше периодов начисления, тем большие расхождения наблюдаются между формулами (7) и (9) при  $j = i$ .

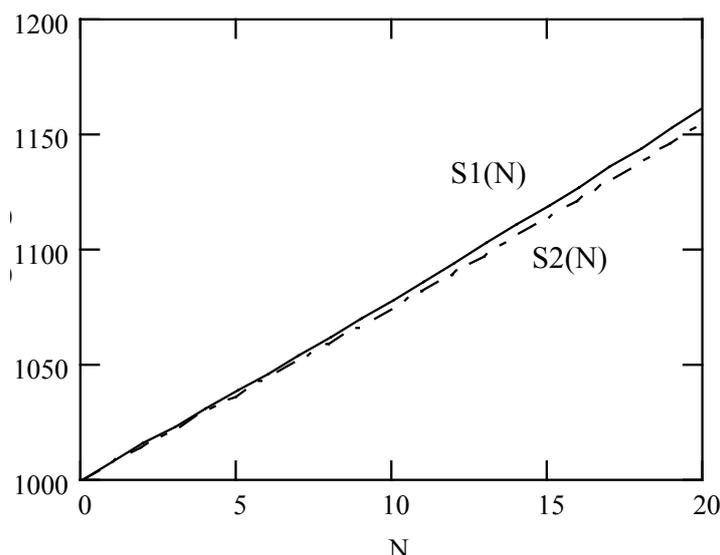


Рис. 2

Проиллюстрируем это на следующем примере. Пусть  $i = 9\%$ ,  $j = 9\%$ ,  $P = 1000$  единиц,  $m = 12$ . Построим график зависимостей наращенных сумм от количества периодов начисления (рис. 2).  $S1(N)$  рассчитана по формуле (7),  $S2(N)$  – по формуле (9)

$$S1(N) = 1000 \left( 1 + \frac{0,09}{12} \right)^N,$$

$$S2(N) = 1000(1 + 0,09)^{\frac{N}{12}}.$$

Наращенная сумма, рассчитанная по формуле (7), больше наращенной суммы, рассчитанной по формуле (9). При  $N = 10$  разность составляет 3,126 единицы, а при  $N = 20$  разность составляет 6,728 единицы. При росте  $i$  и  $j$  разность будет возрастать.

Указанным расхождением вызвано и введение таких понятий, как «эффективная ставка» и «непрерывные проценты», которые не имеют смысла при использовании базовой формулы (8). Использование формулы (7) было оправдано в то время, когда для вычисления дробной степени не было таблиц ни в печатном виде, ни в электронном. Но при современном уровне распространения вычислительной техники использование этой приближенной оценки выглядит неуместным.

### Выводы

1. В результате проведенных сопоставлений разных методов начисления налога выявлено различие общих сумм налога.

2. Предлагается изменить сложившийся способ вычислений при начислении процентов несколько раз в году. При использовании базовой формулы расчета сложных процентов будет достигнута цель унификации расчетов, проводимых различными кредитными учреждениями. Исчезнет необходимость расчета эффективной ставки. Это позволит сократить временные затраты при проведении финансовых расчетов.

### Библиографический список

1. Башарин Г.П. Начала финансовой математики. – М.: ИНФРА-М, 1997.
2. Бочаров П.П., Касимов Ю.Ф. Финансовая математика. – М.: Гардарики, 2002.
3. Ван Хорн, Джеймс К., Вахович (мл.), Джон. М. Основы финансового менеджмента, 11-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
4. Мелкумов Я.С. Финансовые вычисления. Теория и практика. – М.: ИНФРА-М, 2002.
5. Мицкевич А.А. Финансовая математика. – М.: ОЛМА-ПРЕСС Инвест: Институт экономических стратегий, 2003.
6. Четыркин Е.М. Финансовая математика. – М.: Дело, 2004.

## БЕСКОНТАКТНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КОЛЕБАНИЙ ЯЗЫЧКОВ ГОЛОСОВЫХ ПЛАНКОВ ПРИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

М.И. ВАСИЛЬЕВ, доц. каф. сопротивления материалов МГУЛ, канд. техн. наук

Переход в экспериментальных исследованиях от гармонического синусоидального электромагнитного возбуждения (I) к аэродинамическому требует разработки новых методов оптического контроля за перемещением язычка. Использование в этом случае метода голографической интерферометрии в ее классическом варианте невозможно по двум причинам:

- большие амплитуды колебаний, превышающие разрешающую способность метода;

- трудоемкость обеспечения стабильной оптической схемы в воздушном потоке.

Анализ потенциальных возможностей разнообразных методов измерения, развитых на основе использования лазерной техники, позволил сделать вывод о целесообразности использования методов спекл-интерференции. Их преимуществами являются существенное упрощение оптической схемы, снижение требований к когерентности освещающего излучения и возможность внестендовых измерений.

Явление возникновения спеклов неразрывно связано с использованием высококогерентного света. Когда наблюдатель рассматривает или фотографирует в лазерном свете диффузно отражающий объект, изображение кажется ему зернистым. Создается впечатление, что поверхность объекта покрыта множеством мелких, хаотически расположенных светлых и темных пятнышек – так называемых спеклов.

Физическая природа спеклов заключается в следующем. Каждая точка объекта рассеивает некоторое количество света в направлении наблюдателя. Вследствие высокой когерентности лазерный свет, рассеянный одной из

точек голосового язычка, интерферирует со светом, рассеянным любой другой точкой. Фотопластинка или другой детектор, помещенный в световое поле, регистрирует картину хаотической структуры. Хаотичность обусловлена шероховатостью поверхности, т.к. фаза рассеянного света изменяется случайно от точки к точке, следуя за вариациями высоты рельефа.

Шероховатой считается поверхность, имеющая случайные микроскопические вариации рельефа, масштаб которых превышает длину волны падающего света ( $\lambda = 0,6328$  мкм). В таком понимании практически все поверхности являются шероховатыми, в том числе и исследуемые голосовые язычки.

В большинстве случаев спеклы рассматривают как оптический шум, который приводит к ухудшению качества изображения и снижению четкости интерференционной картины.

Однако можно добиться периодических изменений интенсивности отдельных спеклов в плоскости изображения, соответствующих перемещению предмета в заданном направлении. Усреднение этого эффекта по большому числу спеклов приводит к формированию интерференционных полос.

Чувствительность этих полос к величине и направлению смещений меняется в более широких пределах, чем в методе голографической интерферометрии, что делает метод спекл-фотографии более гибким инструментом измерения смещений.

Более того, чувствительная к смещению картина интерференционных полос может быть получена с помощью фотографии спеклов без опорного пучка, что существенно упрощает методику экспериментов.

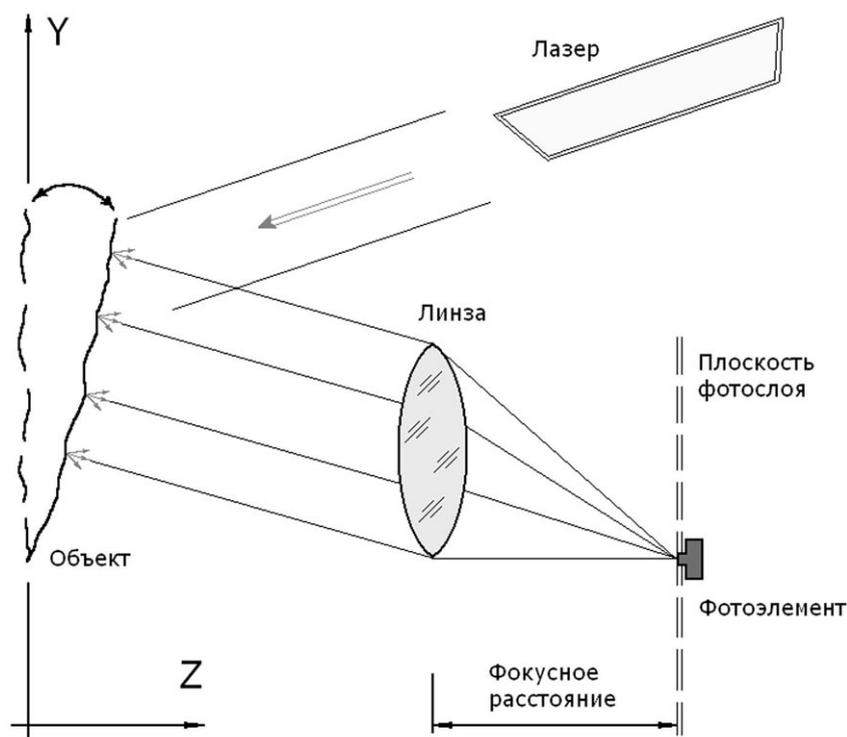


Рис. 1. Оптическая схема контроля автоколебаний язычка

На рис. 1 показана оптическая схема для фотографического метода контроля голосовых язычков. В методе спекл-фотографии предмет (1) освещается единственным световым пучком от лазера (2). Часть рассеянного поверхностью язычка света собирается с помощью линзы (3) на светодетектор. В случае использования фотопластинки запись на нее осуществляется дважды: при освещении светом, рассеянным поверхностью объекта до и после его смещения. Следует иметь в виду, что если величина смещения объекта существенно меняется в пределах освещенной области, ее измерение может оказаться за пределом чувствительности метода.

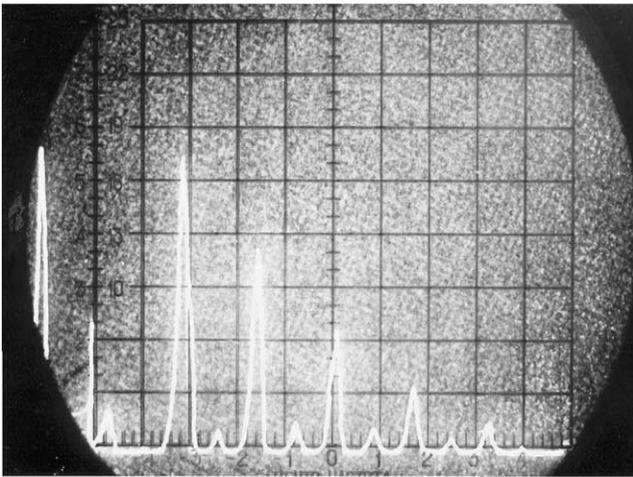
Учитывая значительные амплитуды, возникающие при колебаниях голосовых язычков, в целях уменьшения площади освещаемой поверхности в эксперименте использовался нерасширенный лазерный пучок.

Метод спекл-фотографии применим и для исследований объектов, совершающих периодические колебания. Интенсивность волны в каждой точке плоскости изображения можно представить в виде функции, выражающей вероятность нахождения точки

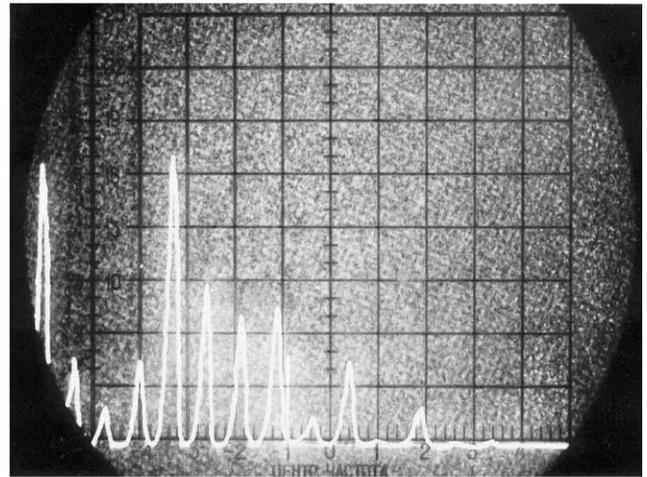
поверхности предмета в амплитудном положении. Необходимо, чтобы время фоторегистрации было больше периода колебаний предмета.

Описанная классическая система спекл-интерферометрии обладает существенным недостатком – необходимостью выполнения большого количества трудоемких операций (в том числе «мокрого» фотопроцесса) для получения несущей информации о перемещениях структуры.

Работоспособность предлагаемой схемы проверялась как в случае электромагнитного, так и в случае аэродинамического нагружения. В случае гармонического электромагнитного возбуждения описанная бесконтактная система позволяет надежно определять резонансные состояния. При совпадении частоты задающего сигнала с одной из собственных частот резко возрастает амплитуда колебаний язычка. Максимальным амплитудам колебаний язычка соответствуют наибольшие изменения в интенсивности спекл-структур, регистрируемых фотоэлементом, что приводит к резкому увеличению амплитуды синусоидального сигнала, подаваемого с фотоэлемента на осциллограф.

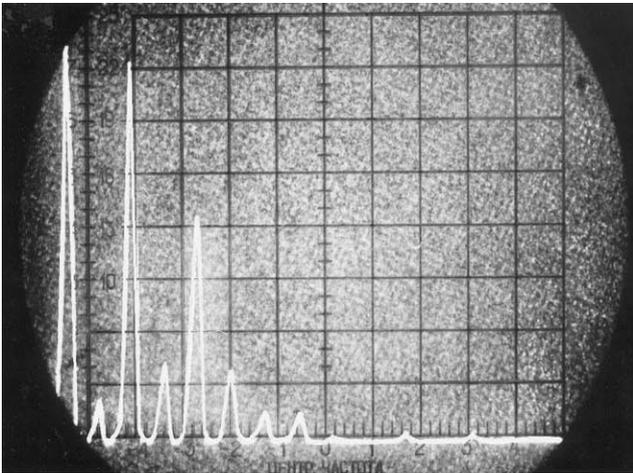


уровень давления 25 мм вд.ст.

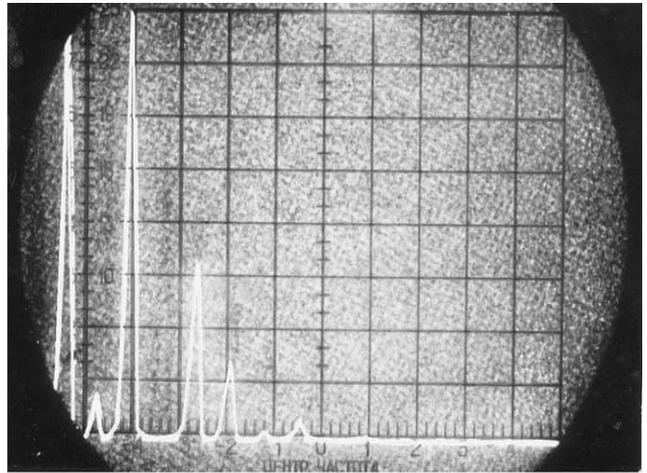


уровень давления 110 мм вд.ст.

Рис. 2. Спектры колебания язычка «ля» малой октавы (Италия)

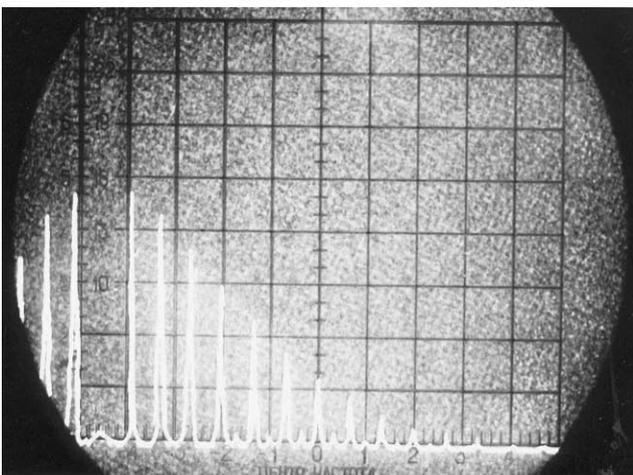


уровень давления 140 мм вд.ст.

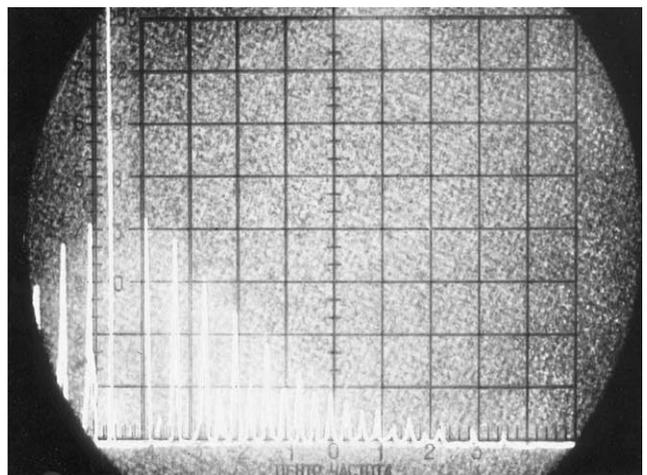


уровень давления 170 мм вд.ст.

Рис. 3. Спектры колебания язычка «ля» малой октавы (Италия)



уровень давления 60 мм вд.ст.



уровень давления 200 мм вд.ст.

Рис. 4. Спектры колебания язычка «ля» малой октавы (Италия)

Необходимо отметить, что в случае аэродинамического нагружения форма сигнала с фотоэлемента, регистрирующего движение язычка, существенно отличается от синусоиды. Однако поскольку распределение интенсивности в дифракционной картине определяется преобразованием Фурье функции распределения спекл-структур, по дифракционному распределению можно определить и характер движения предмета. Такой анализ проводился путем разложения спектра – сигнала с фотоэлемента с помощью анализатора спектра СК–54.

Эксперименты проводились с использованными ранее голосовыми планками, исследованными с помощью классического метода голографической интерферометрии при гармоническом возбуждении [1], а также с голосовыми планками, установленными непосредственно на резонаторах итальянской фирмы.

Для проведения эксперимента отдельная голосовая планка или резонатор с голосовой планкой закреплялись на установке для моделирования аэродинамического нагружения (установка лаборатории акустики НИКТИМП), после чего исследуемый язычок ориентировался в соответствующую точку описанной выше оптической схемы и освещался нерасширенным пучком лазера. После стабилизации давления в камере (контроль за давлением осуществляется по водяному манометру) сигнал, получаемый на

экране спектроанализатора, переводился в режим длительной памяти и затем фотографировался. Спектрограммы колебаний язычков, полученные по описанной выше методике, приведены на фотографиях (рис. 2–4). На рис. 2 и 3 спектры сигналов колебаний язычка «ля» контроктавы итальянской фирмы для уровня давлений 25, 110, 140, 170 мм водяного столба. На рис. 4 «ля» малой октавы также итальянского производства при уровне давлений до 200 мм водяного столба.

По представленным фотографиям видно, что характер зарегистрированных спектров существенно зависит от тональности язычка, игрового давления и способа изготовления (фирмы) голосовой планки.

Таким образом, работоспособность и эффективность методики бесконтактного оптического контроля автоколебаний голосового язычка доказана.

Необходимо отметить, что в отличие от традиционного анализа спектра звука с помощью чувствительного микрофона предложенный метод позволяет оценивать спектр колебаний голосового язычка, связанный с его геометрическими и физическими характеристиками.

#### Библиографический список

1. Архипов А.А., Васильев М.И., Мещеряков М.А. и др. Экспериментальное исследование работы язычков голосовых планок методом голографической интерферометрии // Сб. научн. тр. – М.: НИКТИМП, 1990. – С. 185–201.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

М.И. ВАСИЛЬЕВ, доц. каф. сопротивления материалов МГУЛ, канд. техн. наук

**Х**арактеристики работы голосового язычка как источника звука существенным образом зависят от расхода воздуха через зазор голосовой планки при колеблющемся язычке. Определение скорости воздушного потока необходимо для правильного выбора математической модели колебательного процесса: данные о скорости позволяют

оценивать возможности возникновения резонансных колебаний на обертонах.

Данные об объемных скоростях воздушного потока через зазор между планкой и язычком в функции от смещения конца язычка приведены в работе Б.П. Константинова [1], однако полученные им экспериментальные данные относятся к стационар-

ному истечению воздушного потока при заданном смещении язычка. Естественно, что в колебательном режиме соотношение между разностью давлений и объемной скоростью будет другим. В известных работах приводятся основанные на различных теоретических предпосылках примеры применения соотношений, выведенных для стационарного потока, к колебательным процессам.

Разработанная методика позволяет определять величину объемной скорости воздушного потока непосредственно в режиме автоколебаний язычка.

Общий вид установки для проведения эксперимента представлен на рис.1. Планка с язычком устанавливается на буферном ящике, в котором создается избыточное давление. На верхней плоскости буферного ящика над планкой герметически с помощью мастики закреплялась большая воронка с таким расчетом, чтобы весь поток воздуха, проходящий через зазор, собирался в узкую

часть воронки. Для измерения расхода воздуха в узкую часть воронки вставлялся высокочувствительный спирометр английской фирмы FDE.

Допускаемая точность контроля объема истекающего воздуха составляла 0,01 литра. Аналогичные эксперименты проводились и с планками, установленными на резонаторе. При этом для сбора воздушного потока резонатор помещался в мягкий резервуар со специальным патрубком для закрепления спирометра FDE.

Для измерения объемной скорости воздушного потока после возбуждения автоколебаний в язычке и стабилизации избыточного давления на заданном уровне с помощью секундомера определялось время, необходимое для истечения фиксированного объема из-под колеблющегося язычка. Обычно такой фиксированный объем составлял 10 литров при средних уровнях давления и 20 или 30 литров при высоких уровнях давлений.

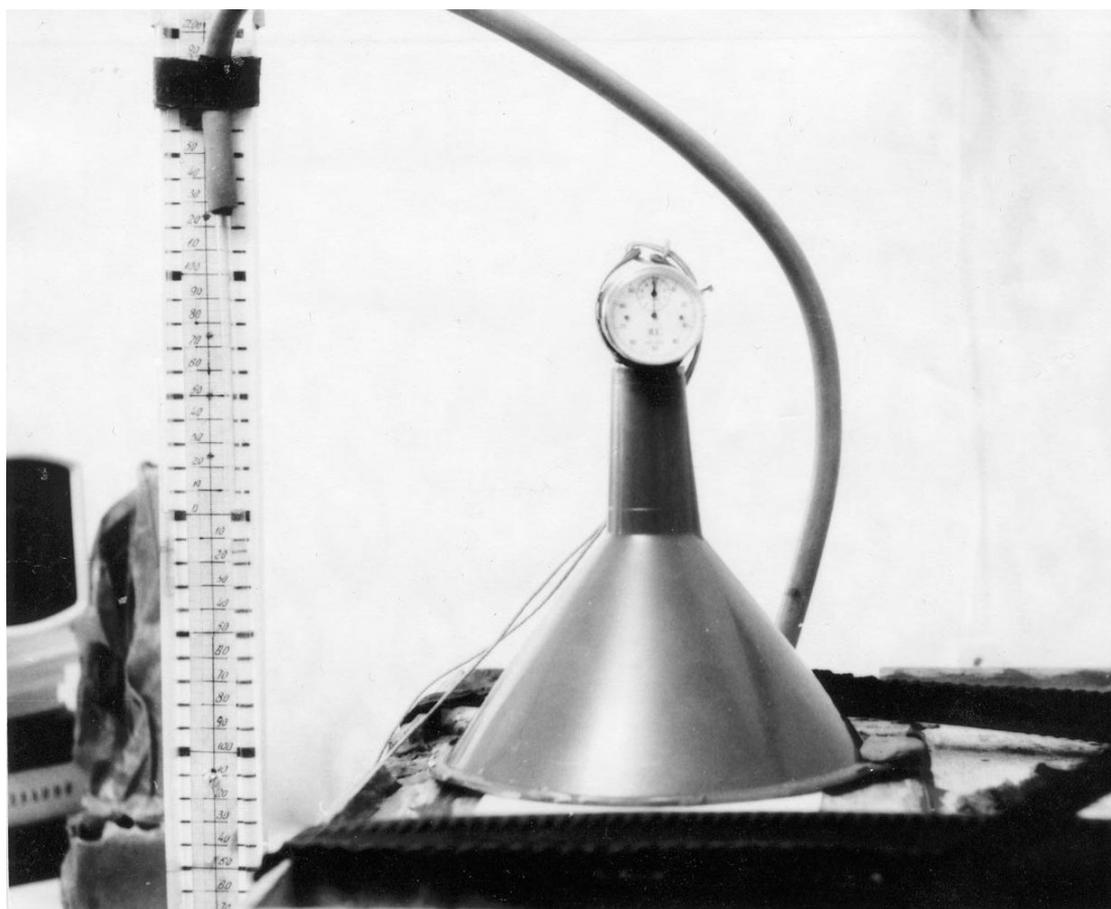


Рис. 1. Общий вид установки для измерения скорости воздушного потока

При каждом уровне давления проводилось не менее 3-х измерений времени истечения. Результаты измерений приведены в табл. 1–3. В табл. 1 – для язычка «ля» контроктавы в голосовой планке тульского производства; в табл. 2 – «ля» контроктавы итальянского производства, установленного на резонаторе; в табл. 3 – «ля» малой октавы в голосовой планке тульского производства. Величина объемной скорости вычислялась как отношение фиксированного объема к времени истечения. Данные по средним объемным скоростям (л/мин) также приведены в табл. 1–3. По результатам испытаний построены графики зависимости объемной скорости как функции от давления в режиме автоколебаний язычка (рис. 2, 3).

Полученные значения могут быть использованы в качестве параметров теоретических расчетов; кроме того, анализ характера полученных графиков для того или иного язычка может служить для косвенной оценки качества изготовления голосовых планок. Так, например, у язычка «ля» контроктавы в планке тульского производства в ходе испытаний наблюдались срывы в звучании при давлении больше 110 – 120 мм вод. ст. Построенная для этого язычка зависимость имеет зону неустойчивости, где график характеризуется отрицательными значениями производной. В то же время для других голосовых планок, обеспечивающих звучание во всем диапазоне игрового давления (20–250 мм вод. ст.), графики имеют пологий характер, близкий к логарифмической зависимости.

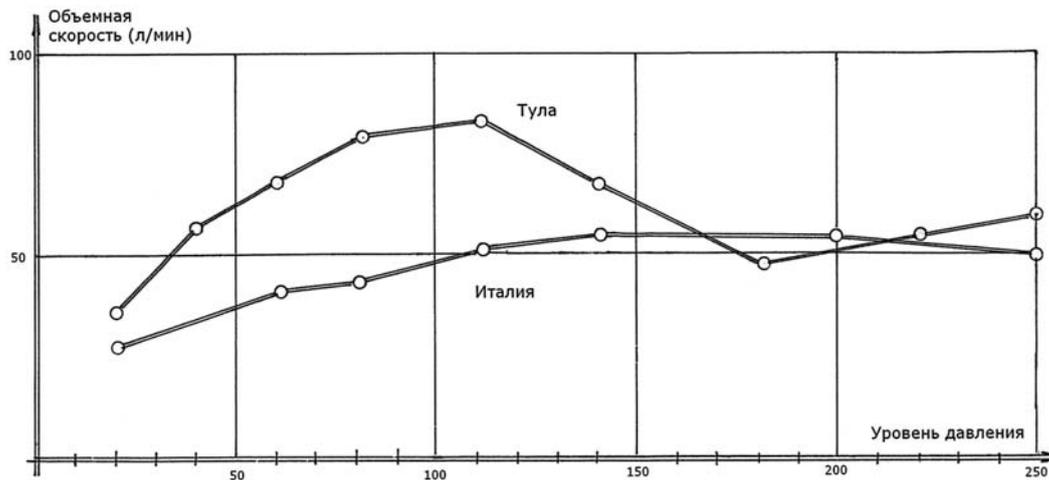


Рис. 2. Объемная скорость воздушного потока для язычков «ля» контроктавы

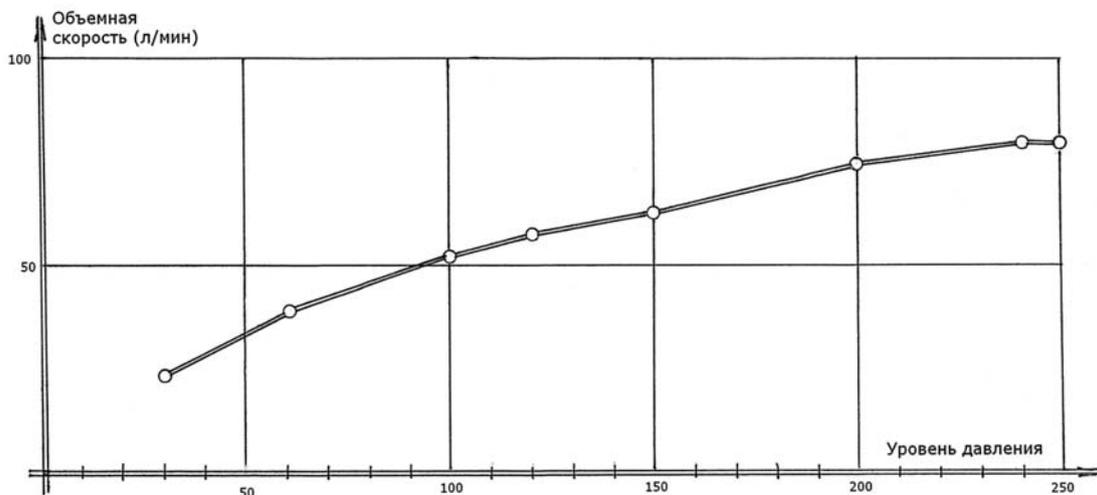


Рис. 3. Объемная скорость воздушного потока для язычков «ля» малой октавы (Тула)

**Определение объемной скорости для язычка «ля» контроктавы (Тула)**

Уровень давления мм вод. ст.	Время истечения л/с	Скорость объемная л/с	Средняя объемная ско- рость л/мин
20	33,0 с (20 л)	0,606	36,34
	16,4 (10)	0,609	
	16,6	0,602	
40	31,5 (30)	0,952	57,12
	21,0 (20)	0,952	
	16,5	0,952	
60	17,5	1,142	68,66
	17,4	1,149	
	17,5	1,142	
80	15,0 (20)	1,333	80,00
	15,0	1,333	
	15,0	1,333	
110	21,5 (30)	1,395	83,42
	21,6	1,388	
140	25,5 (30)	1,176	67,52
	27	1,110	
	27	1,090	
180	13,0	0,769	48,52
	12,0	0,833	
	12,0	0,833	
220	10,5	0,952	55,40
	11,5	0,909	
	11,0	0,909	
250	20,0	1,0	60,0
	20,0	1,0	
	20,0	1,0	

**Определение объемной скорости язычка «ля» контроктавы в резонаторе (Италия)**

Уровень давления мм вод. ст.	Время истечения л/с	Скорость объемная л/с	Средняя объемная ско- рость л/мин
30	21,9	0,457	27,28
	22,0	0,455	
	22,1	0,452	
60	14,2	0,704	41,56
	14,5	0,689	
	14,6	0,685	
80	13,8	0,725	43,48
	13,8	0,725	
	13,8	0,725	
110	10,8 (9)	0,833	50,98
	11,7	0,854	
	11,6	0,862	
140	11,0	0,909	54,55
	11,0	0,909	
	11,0	0,909	
200	11,2	0,893	53,57
	11,2	0,893	
	11,2	0,893	
250	11,5	0,869	50,07
	12,5	0,800	
	12,0	0,835	

**Определение объемной скорости язычка «ля» малой октавы (Тула)**

Уровень давления мм вод. ст.	Время истечения л/с	Скорость объемная л/с	Средняя объемная скорость л/мин
30	25,5	0,392	23,44
	25,8	0,388	
	25,5	0,392	
60	15,5	0,645	38,86
	15,4	0,649	
	15,4	0,649	
100	11,5	0,869	52,14
	11,5	0,869	
	11,5	0,869	
120	10,8	0,925	57,30
	10,5	0,952	
	10,4	0,961	
150	9,8	1,020	62,70
	9,5	1,052	
	9,4	1,063	
200	8,0	1,250	75,00
	8,0	1,250	
	8,0	1,250	
240	7,5	1,333	80,00
	7,5	1,333	
	7,5	1,333	
280	7,5	1,333	80,00
	7,5	1,333	
	7,5	1,333	

Важнейшим является также вопрос о возникновении резонансных колебаний на обертонах при аэродинамическом способе возбуждения. В случае гармонического электромагнитного способа плавное увеличение частоты задающего сигнала позволяет возбудить (при наличии достаточно мощного источника) десятки форм колебаний. Данные по четырем формам колебаний и частотам приведены в [2]. При аэродинамическом способе возбуждения переход от основной частоты колебаний к высшим у консольной пластинки с заделкой (с негармоническим распределением обертонов) требует значительного приращения скорости воздушного потока. Так, по полученным данным отношение первого обертона к основной частоте равно 6–10, второго 15–23 и т.д. В то же число раз должна возрасти и ско-

рость воздушного потока, чтобы возникли колебания на следующей частоте. Однако данные эксперимента показывают, что максимальное увеличение объемной скорости потока в рассмотренном диапазоне давлений не превышает 2,5–3. Таким образом, колебания голосовых язычков в воздушном потоке происходят по основной форме колебаний при аэродинамическом нагружении.

**Библиографический список**

1. Константинов Б. П. Гидравлическое звукообразование и распространение звука в ограниченной среде. – Л.: Наука, 1974.
2. Архипов А.А., Васильев М.И., Мещеряков М.А. и др. Экспериментальное исследование работы язычков голосовых планов методом голографической интерферометрии // Сб. научн. тр. – М.: НИКТИМП, 1990 – С. 185–201.

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ

В.Н. ЗВЕРЕВ, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р физ.-мат. наук*

Современные плазменные устройства с электрическим разрядом в газообразной среде применяют с большой эффективностью во многих областях, в том числе в энергетике, космической технике, экспериментальной физике, в технологиях обработки материалов, плазмохимии и разделения изотопов. Эффективность и работоспособность этих устройств существенно зависят от тепловых, электрических, эрозионных и других характеристик электродов. Поэтому исследования с измерением теплового состояния электродов указанных устройств являются весьма актуальными.

Среди многих типов электродных узлов выделяется своей эффективностью и технологичностью многополостной электрод в виде пакета проволок из вольфрама в обойме [2]. В таком электроде разрядный ток занимает, в основном, пространство во многих узких каналах между проволоками на глубину от торцов проволок в несколько калибров от поперечного размера канала. Типичный многополостной электрод – катод – выполнен в виде втулки-обоймы с диаметром отверстия 17 мм, в которое плотно вставлены 200 шт. вольфрамовых проволок диаметром 1 мм каждая с зазорами-каналами в количестве 400 шт. между проволоками при эффективном поперечном размере каждого канала 0,2 мм. По расчетам [2], для такого катода в плазме лития при разрядном токе 1300 А температура торцов проволок равна 3500 °К, а глубина проникновения разряда в каналы составляет 0,7 мм.

При указанной температуре электрода – катода – тепловые измерения возможны практически только оптическими методами. Но плазма рабочего вещества, в данном случае плазма лития, с температурой около 6000 °К закрывает электрод для измерения его температуры пирометром. Также с большими трудностями связано неразрушающее измерение глубины разряда в каналах как из-за высоких температур плазмы и

электрода, так и из-за того, что каналы очень узкие.

Практический интерес представляют излагаемые далее сведения о методе измерения температуры многополостного электрода, глубины проникновения разряда в многочисленные каналы электрода и градиента температуры вдоль его проволок. Предлагаемый метод состоит в том, что указанные теплофизические величины для условий разряда определяют расчетом по измеренной зависимости температуры электрода от времени сразу после отключения электрического разряда. При этом происходит очень быстрый распад плазмы, и среда между электродом и пирометром становится прозрачной для измерения уменьшающейся температуры электрода. Таким образом, данный метод представляет собой способ косвенного измерения теплового состояния электрода.

Сначала найдем продольный профиль температуры проволок электрода  $T(x)$  во время электрического разряда в плазменном устройстве при следующих предположениях:

- из плазмы на боковую и торцовую поверхности каждой проволоки поступает тепловой поток с одинаковой плотностью  $q_j$ , постоянной вдоль разрядного участка  $0 < x < l$ ;
- отвод тепла происходит тепловым излучением с торца проволоки (с плотностью потока  $Q_0$ ) и теплопроводностью вдоль проволоки;
- рассматривается одномерное приближение.

В этом случае задача теплопроводности имеет вид

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = -a_2, \quad 0 < x < l, \quad T(0) = T_0, \\ \lambda \frac{dT}{dx}(0) = q_0 - q_j, \quad (1)$$

где  $a_2 = 4q_j/\lambda d$ ,  $q_0 = \sigma \varepsilon T_0^4$ ;

$d$  – диаметр проволоки;

$\lambda$  – теплопроводность;

$\varepsilon$  – степень черноты;

$\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана.

Решение задачи (1), т.е. искомый профиль температуры проволоки по координате  $x$  вдоль проволоки (начиная с ее торца при  $x = 0$ ), имеет вид

$$T(x) = T_0 + a_1 x - a_2 x^2 / 2, \quad x < l, \quad (2)$$

где  $a_1 = (q_0 - q_l) / \lambda$ .

Для типичного многополостного катода, указанного выше, из решения (2) следует, что во время разряда температура его проволок  $T(x)$  на глубине разряда практически не отличается от температуры  $T(0) = T_0$  торцов проволок (отличие не более, чем 0,5 %).

Перейдем к задаче определения температуры проволок  $T(x, t)$ , остывающих с течением времени  $t$  с момента отключения разряда ( $t = 0$ ). Новые предположения:

– каждая проволока является полуограниченной с теплоизолированной боковой поверхностью;

– тепловой поток, излучаемый с торца проволоки, учитывается в следующем линейном приближении

$$\begin{aligned} \frac{q(t)}{\lambda} &= \frac{\sigma \varepsilon (T) T^4}{\lambda(T)} = h T^n \approx h (T_0^n - n T_0^{n-1} (T_0 - T)) = \\ &= \left( T - \frac{n-1}{n} T_0 \right) \frac{n K i}{l}, \end{aligned}$$

где  $Ki$  – число Кирпичева:  $Ki = q_0 l / \lambda T_0$ , для вольфрама  $n = 4,4$  [2];

– рассматривается одномерное приближение с начальным профилем температуры  $T(x, 0)$  по зависимости (2) при  $x < l$  и с линейной ее зависимостью при  $x > l$ .

Тогда краевая задача теплопроводности имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad 0 < x, t < \infty; \\ T(x, 0) &= T_0 + a_1 x - a_2 \frac{x^2}{2}, \quad x < l, \\ T(x, 0) &= T(l, 0) + (x - l) \nabla T, \quad x > l; \\ \frac{\partial T}{\partial x}(0, t) &= \left( T(0, t) - \frac{n-1}{n} T_0 \right) \frac{n K i}{l}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $a$  – температуропроводность проволоки:  $a = \lambda / c \rho$ ;

$c$  – удельная теплоемкость;

$\rho$  – плотность;

$\nabla T$  – градиент температуры в проволоке при  $x > l$  (за участком разряда).

Решение этой задачи (3)  $T(x, t)$  имеет громоздкий вид. Из этого решения при  $x = 0$  получим следующую зависимость температуры торцов остывающих проволок от времени, которую необходимо сравнить с измеренной зависимостью

$$T(0, t) = T_0 - \frac{1}{n} \left( T_0 - \frac{\nabla T}{K i} \right) (1 + f(Ki, Fo, d/l)), \quad (4)$$

где  $Fo$  – число Фурье:  $Fo = at / l^2$ .

Теоретическая зависимость температуры торцов  $T(\sqrt{t})$ , построенная по (4), имеет следующие три характерных участка, размеры которых определяются значением  $1/\sqrt{Fo} = l/\sqrt{at}$ :

– при  $1/\sqrt{Fo} > 1 + d/4l$  зависимость  $T(\sqrt{t})$  является убывающей и выпуклой вверх (т.е.  $d^2 T / d\sqrt{t}^2 < 0$ );

– при  $nKi < 1/\sqrt{Fo} < 1 + d/4l$  зависимость  $T(\sqrt{t})$  является прямолинейной в виде

$$T(\sqrt{t}) = T_0 - 2l \left( \frac{q_0}{\lambda} - \nabla T \right) \left( \sqrt{\frac{Fo}{\pi}} - \frac{l}{4l+d} \right); \quad (5)$$

– при  $1/\sqrt{Fo} < nKi$  зависимость  $T(\sqrt{t})$  является убывающей и выпуклой вниз (т.е.  $d^2 T / d\sqrt{t}^2 > 0$ ).

Теперь перейдем к обработке экспериментальной зависимости  $T(\sqrt{t})$ , полученной в результате измерений пирометром, учитывая теоретическую зависимость (5):

– из экспериментальной зависимости  $T(\sqrt{t})$  найдем значение температуры торцов проволок в разряде  $T_0 = T(0)$  и вычислим плотность потока теплового излучения с торцов:  $q_0 = \sigma \varepsilon T_0^4$ ;

– по угловому коэффициенту прямолинейного участка экспериментальной зависимости  $T(\sqrt{t})$  с учетом (5) вычислим величину

$$\frac{q_0}{\lambda} - \nabla T = -\sqrt{\frac{\pi}{4a}} \cdot \frac{dT}{d\sqrt{t}},$$

а по ней найдем градиент температуры  $\nabla T$ ;

– продолжая прямую (5) до пересечения с осью  $T$  при  $\sqrt{t} = 0$ , получим из экспериментальной зависимости значение

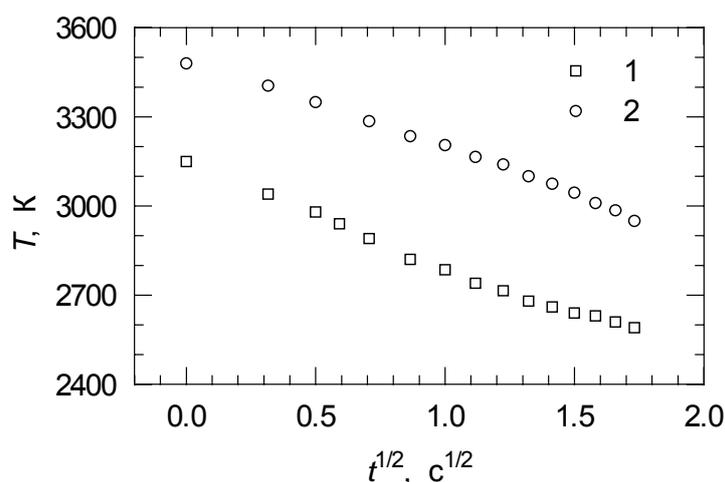


Рисунок. Экспериментальные значения температуры  $T$  торцов проволок многополостного электрода плазменного устройства от  $\sqrt{t}$ , где  $t$  – время с момента отключения электрического разряда в плазме лития в этом устройстве: 1 – сила тока 500 А; 2 – 1300 А

$$T^* = T_0 + \frac{2l^2}{4l + d} \left( \frac{q_0}{\lambda} - \nabla T \right); \quad (6)$$

– из зависимости (6) найдем значение глубины  $l$  проникновения разряда в каналы при прочих известных величинах в этой зависимости.

Были выполнены экспериментальные исследования плазменного устройства с многополостным катодом, количество и размеры вольфрамовых проволок в котором указаны выше. Зависимость температуры торцов проволок  $T$  от времени  $t$  с момента выключения разряда в плазме лития измеряли с помощью электрооптического пирометра цветовым методом (по отношению интенсивностей двух спектральных линий) с участка диаметром 5–8 мм в центре катода. Быстрое уменьшение этой температуры (со скоростью около 1000 °К/с сразу после отключения разряда) регистрировали на осциллографе. Погрешность измерения температуры и времени равна 2–3 %. Типичные экспериментальные зависимости  $T(\sqrt{t})$  для двух режимов разряда даны на рисунке.

При силе тока электрического разряда 500 и 1300 А в результате измерения данным методом были получены значения температуры поверхности катода в разряде, равные 3150 °К и 3500 °К. Глубина проникновения разряда в каналы катода составила

0,8 и 0,7 мм соответственно. Эти экспериментальные результаты находятся в хорошем согласии с данными расчета по математической модели теплофизических и электрических характеристик многополостного катода [2].

Таким образом, разработан и применен метод косвенного измерения температуры многополостного электрода в плазменном устройстве при электрическом разряде, глубины разряда в каналах электрода и градиента температуры вдоль проволок из экспериментальной зависимости торцов проволок от времени с момента выключения разряда. С помощью этого метода измерены теплофизические характеристики электрода в разряде, которые согласуются с результатами расчета. Данный метод измерения предназначен для применения при разработке, испытаниях и оптимизации высокоэффективных плазменных газоразрядных устройств, используемых в технологии, энергетике и других областях.

#### Библиографический список

1. Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. Кикоина И.К. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
2. Zverev V.N. A mathematical model of multihollow cathode // Physica Scripta. – 1993. – V.47, No.5. – P.687–696.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

О.М. ПОЛЕЩУК, *проф. каф. высшей математики МГУЛ, канд. физ.-мат. наук, д-р техн. наук*

В статье рассматриваются результаты эксперимента, согласно которому шесть независимых экспертов оценивали характеристику качества «соответствие учебным планам» у двадцати образцов учебных пособий. Оценивание проводилось в рамках вербальной шкалы с шестью уровнями: «отсутствие соответствия плану», «соответствие плану по вспомогательным разделам», «соответствие по части основных разделов», «соответствие по большинству основных разделов», «соответствие по всем основным разделам», «полное соответствие плану». Оценки экспертов в виде номеров уровней вербальной шкалы занесены в табл. 1.

Относительные результаты оценивания экспертов в рамках каждого уровня занесены в табл. 2. Номер строки соответствует номеру уровня.

Построены шесть ПОСП  $X_i, i = \overline{1,6}$ , формализующие критерии экспертов оценивания соответствия учебной литературы учебным планам [1]. При построении использовались данные табл. 2. Параметры функций принадлежности  $\mu_{il}(x), i = \overline{1,6}, l = \overline{1,6}$  терм-множеств ПОСП занесены в табл. 3, а параметры функций принадлежности формализованных экспертных результатов занесены в табл. 4.

Т а б л и ц а 1

Результаты экспертного оценивания

	1 экс.	2 экс.	3 экс.	4 экс.	5 экс.	6 экс.
1	6	5	6	5	5	6
2	4	4	3	3	4	4
3	1	1	2	1	1	1
4	6	5	5	5	5	6
5	2	2	3	2	3	2
6	5	4	5	4	4	5
7	1	1	1	2	2	1
8	6	6	6	6	6	6
9	5	4	5	5	5	5
10	3	3	3	3	3	3
11	3	2	3	2	2	3
12	5	5	5	5	5	5
13	6	6	6	6	6	6
14	6	5	6	4	5	6
15	3	3	3	1	3	3
16	4	4	4	4	4	4
17	4	3	4	3	2	4
18	6	6	6	6	5	6
19	6	6	6	6	5	6
20	4	3	3	3	2	4

Т а б л и ц а 2

Относительные результаты экспертного оценивания

	1 экс.	2 экс.	3 экс.	4 экс.	5 экс.	6 экс.
1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1
2	0,05	0,1	0,05	0,15	0,2	0,05
3	0,15	0,2	0,3	0,2	0,15	0,15
4	0,2	0,2	0,1	0,15	0,15	0,2
5	0,15	0,25	0,2	0,2	0,35	0,15
6	0,35	0,15	0,3	0,2	0,1	0,35

**Параметры функций принадлежности терм-множеств  
формализованных экспертных подходов**

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
$\mu_{i1}(x)$	(0; 0,075; 0; 0,05)	(0; 0,05; 0; 0,1)	(0; 0,025; 0; 0,05)	(0; 0,05; 0; 0,1)	(0; 0,025; 0; 0,05)	(0; 0,075; 0; 0,05)
$\mu_{i2}(x)$	(0,125; 0,05; 0,05)	(0,15; 0,1; 0,1)	(0,075; 0,05; 0,05)	(0,15; 0,175; 0,1; 0,15)	(0,075; 0,175; 0,05; 0,15)	(0,125; 0,05; 0,05)
$\mu_{i3}(x)$	(0,175; 0,225; 0,05; 0,15)	(0,25; 0,3; 0,1; 0,2)	(0,125; 0,35; 0,05; 0,1)	(0,325; 0,375; 0,15; 0,15)	(0,325; 0,15; 0,15)	(0,175; 0,225; 0,05; 0,15)
$\mu_{i4}(x)$	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)	(0,5; 0,2; 0,2)	(0,45; 0,1; 0,1)	(0,525; 0,15; 0,15)	(0,475; 0,15; 0,15)	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)
$\mu_{i5}(x)$	(0,575; 0,15; 0,15)	(0,7; 0,775; 0,2; 0,15)	(0,55; 0,6; 0,1; 0,2)	(0,675; 0,7; 0,15; 0,2)	(0,625; 0,85; 0,15; 0,1)	(0,575; 0,15; 0,15)
$\mu_{i6}(x)$	(0,725; 1; 0,15; 0)	(0,925; 1; 0,15; 0)	(0,8; 1; 0,2; 0)	(0,9; 1; 0,2; 0)	(0,95; 1; 0,1; 0)	(0,725; 1; 0,15; 0)

Т а б л и ц а 4

**Параметры функций принадлежности формализованных результатов экспертов**

	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
$\mu_i^1$	(0,725; 1; 0,15; 0)	(0,7; 0,775; 0,2; 0,15)	(0,8; 1; 0,2; 0)	(0,675; 0,7; 0,15; 0,2)	(0,625; 0,85; 0,15; 0,1)	(0,725; 1; 0,15; 0)
$\mu_i^2$	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)	(0,5; 0,2; 0,2)	(0,125; 0,35; 0,05; 0,1)	(0,35; 0,375; 0,2; 0,15)	(0,475; 0,15; 0,15)	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)
$\mu_i^3$	(0; 0,075; 0; 0,05)	(0; 0,05; 0; 0,1)	(0,075; 0,05; 0,05)	(0; 0,05; 0; 0,1)	(0; 0,025; 0; 0,15)	(0; 0,075; 0; 0,05)
$\mu_i^4$	(0,725; 1; 0,15; 0)	(0,7; 0,775; 0,2; 0,15)	(0,55; 0,6; 0,1; 0,2)	(0,675; 0,7; 0,15; 0,2)	(0,625; 0,85; 0,15; 0,1)	(0,725; 1; 0,15; 0)
$\mu_i^5$	(0,125; 0,05; 0,05)	(0,15; 0,1; 0,1)	(0,125; 0,35; 0,05; 0,1)	(0,15; 0,1; 0,2)	(0,325; 0,15; 0,15)	(0,125; 0,05; 0,05)
$\mu_i^6$	(0,575; 0,15; 0,15)	(0,5; 0,2; 0,2)	(0,55; 0,6; 0,1; 0,2)	(0,525; 0,15; 0,15)	(0,475; 0,15; 0,15)	(0,575; 0,15; 0,15)
$\mu_i^7$	(0; 0,075; 0; 0,05)	(0; 0,05; 0; 0,1)	(0; 0,025; 0; 0,05)	(0,15; 0,1; 0,2)	(0,075; 0,175; 0,05; 0,15)	(0; 0,075; 0; 0,05)
$\mu_i^8$	(0,725; 1; 0,15; 0)	(0,925; 1; 0,15; 0)	(0,8; 1; 0,2; 0)	(0,9; 1; 0,2; 0)	(0,95; 1; 0,1; 0)	(0,725; 1; 0,15; 0)
$\mu_i^9$	(0,575; 0,15; 0,15)	(0,5; 0,2; 0,2)	(0,55; 0,6; 0,1; 0,2)	(0,675; 0,7; 0,15; 0,2)	(0,625; 0,85; 0,15; 0,1)	(0,575; 0,15; 0,15)
$\mu_0^1$	(0,175; 0,225; 0,05; 0,15)	(0,25; 0,3; 0,1; 0,2)	(0,125; 0,35; 0,05; 0,1)	(0,35; 0,375; 0,2; 0,15)	(0,325; 0,15; 0,15)	(0,175; 0,225; 0,05; 0,15)
$\mu_1^1$	(0,175; 0,225; 0,05; 0,15)	(0,15; 0,1; 0,1)	(0,125; 0,35; 0,05; 0,1)	(0,15; 0,1; 0,2)	(0,075; 0,175; 0,05; 0,15)	(0,175; 0,225; 0,05; 0,15)
$\mu_2^1$	(0,575; 0,15; 0,15)	(0,7; 0,775; 0,2; 0,15)	(0,55; 0,6; 0,1; 0,2)	(0,675; 0,7; 0,15; 0,2)	(0,625; 0,85; 0,15; 0,1)	(0,575; 0,15; 0,15)
$\mu_3^1$	(0,725; 1; 0,15; 0)	(0,925; 1; 0,15; 0)	(0,8; 1; 0,2; 0)	(0,9; 1; 0,2; 0)	(0,95; 1; 0,1; 0)	(0,725; 1; 0,15; 0)
$\mu_4^1$	(0,725; 1; 0,15; 0)	(0,7; 0,775; 0,2; 0,15)	(0,8; 1; 0,2; 0)	(0,525; 0,15; 0,15)	(0,625; 0,85; 0,15; 0,1)	(0,725; 1; 0,15; 0)
$\mu_5^1$	(0,175; 0,225; 0,05; 0,15)	(0,25; 0,3; 0,1; 0,2)	(0,125; 0,35; 0,05; 0,1)	(0; 0,05; 0; 0,1)	(0,325; 0,15; 0,15)	(0,175; 0,225; 0,05; 0,15)
$\mu_6^1$	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)	(0,5; 0,2; 0,2)	(0,45; 0,1; 0,1)	(0,525; 0,15; 0,15)	(0,475; 0,15; 0,15)	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)
$\mu_7^1$	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)	(0,25; 0,3; 0,1; 0,2)	(0,45; 0,1; 0,1)	(0,35; 0,375; 0,2; 0,15)	(0,075; 0,175; 0,05; 0,15)	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)
$\mu_8^1$	(0,725; 1; 0,15; 0)	(0,925; 1; 0,15; 0)	(0,8; 1; 0,2; 0)	(0,9; 1; 0,2; 0)	(0,625; 0,85; 0,15; 0,1)	(0,725; 1; 0,15; 0)
$\mu_9^1$	(0,725; 1; 0,15; 0)	(0,7; 0,775; 0,2; 0,15)	(0,8; 1; 0,2; 0)	(0,9; 1; 0,2; 0)	(0,625; 0,85; 0,15; 0,1)	(0,725; 1; 0,15; 0)
$\mu_0^2$	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)	(0,25; 0,3; 0,1; 0,2)	(0,125; 0,35; 0,05; 0,1)	(0,35; 0,375; 0,2; 0,15)	(0,075; 0,175; 0,05; 0,15)	(0,375; 0,425; 0,15; 0,15)

Т а б л и ц а 5

**Элементы матрицы парного сходства формализованных результатов экспертов**

1	0,57	0,75	0,54	0,48	1
0,57	1	0,61	0,84	0,79	0,57
0,75	0,61	1	0,59	0,59	0,75
0,54	0,84	0,59	1	0,75	0,54
0,48	0,79	0,59	0,75	1	0,48
1	0,57	0,75	0,54	0,48	1

Т а б л и ц а 6

**Нечеткая кластеризация результатов экспертов по отношению подобия  $\hat{R}_1$**

Уровень доверия	Кластеры
0,61	{1,2,3,4,5,6}
0,75	{1,3,6}, {2,4,5}
0,79	{1,6}, {2,4,5}, {3}
0,84	{1,6}, {2,4}, {3}, {5}
1	{1,6}, {2}, {3}, {4}, {5}

Т а б л и ц а 7

**Формализованный обобщенный результат оценивания**

	$M$	Дефаззификация $M$	Уровень шкалы
$\mu^1$	(0,6790; 0,7630; 0,1750; 0,1580)	0,7158	5
$\mu^2$	(0,4380; 0,4545; 0,1750; 0,1750)	0,4462	4
$\mu^3$	(0; 0,0457; 0; 0,0916)	0,0469	1
$\mu^4$	(0,6790; 0,7630; 0,1750; 0,1580)	0,7158	5
$\mu^5$	(0,1798; 0,1880; 0,01085; 0,1250)	0,1893	2
$\mu^6$	(0,5040; 0,1580; 0,1750)	0,5040	4
$\mu^7$	(0,0623; 0,1125; 0,0415; 0,1250)	0,1127	2
$\mu^8$	(0,9210; 1; 0,1580; 0)	0,9171	6
$\mu^9$	(0,57590; 0,6225; 0,1750; 1830)	0,6047	5
$\mu^{10}$	(0,2875; 0,3290; 0,1250; 0,1750)	0,3240	3
$\mu^{11}$	(0,1373; 0,1625; 0,0916; 0,1250)	0,1605	2
$\mu^{12}$	(0,6790; 0,7630; 0,1750; 0,1580)	0,7158	5
$\mu^{13}$	(0,9210; 1; 0,1580; 0)	0,9171	6
$\mu^{14}$	(0,6295; 0,7053; 0,1750; 0,1415)	0,6571	5
$\mu^{15}$	(0,1803; 0,2218; 0,0755; 0,1584)	0,2267	2
$\mu^{16}$	(0,5040; 0,1580; 0,1750)	0,5040	4
$\mu^{17}$	(0,2450; 0,3035; 0,1080; 0,1750)	0,2949	3
$\mu^{18}$	(0,8658; 0,9745; 0,1665; 0,1700)	0,8769	6
$\mu^{19}$	(0,8658; 0,9745; 0,1665; 0,1700)	0,8769	6
$\mu^{20}$	(0,2450; 0,3035; 0,1080; 0,1750)	0,2949	3

Аддитивный показатель общей согласованности результатов равен 0,218, мультипликативный показатель общей согласованности равен 0, что свидетельствует о наличии сильно различающихся результатов [2]. Для сравнения коэффициент конкордации, вычисленный в рамках ранжирований экспертов, равен 0,07.

Элементы матрицы парного сходства формализованных экспертных результатов [3] представлены в табл. 5.

Поскольку найденная матрица не является транзитивной, то найдено ее транзитивное замыкание и тем самым определено отношение подобия  $\hat{R}_1$ . Пользуясь теоремой о декомпозиции,  $\hat{R}_1$  декомпозированы на от-

ношения эквивалентности и получены результаты, представленные в табл. 6.

Как видно из результатов этой таблицы, полностью совпадают результаты первого и шестого экспертов. Похожи между собой результаты второго, четвертого и пятого экспертов, но они отличаются от результатов первого и шестого экспертов. Результаты третьего эксперта отличаются от результатов всех экспертов, но ближе они к результатам первого и шестого экспертов.

Исходя из проведенного исследования, сделан вывод, что существенно отличается от всех результатов результат третьего эксперта. Этот вывод подтвержден тем, что система результатов без результатов третьего эксперта имеет аддитивный показатель общей согласованности 0,266, мультипликативный показатель общей согласованности 0,252. Учитывая то, что результаты экспертов распадаются на две группы похожих между собой результатов, найдены показатели согласованности двух подсистем {2, 4, 5}, {1, 3, 6}. Первая подсистема имеет аддитивный и мультипликативный показатели соответственно 0,522 и 0,5204, а вторая подсистема соответственно 0,503 и 0.

В соответствии с проведенным исследованием рассмотрена система результатов второго, четвертого и пятого экспертов и в рамках их результатов найден обобщенный результат оценивания. Весовые коэффициенты экспертов определены равными

$$\omega_2 = \frac{1}{2}, \quad \omega_4 = \frac{1}{3}, \quad \omega_5 = \frac{1}{6}.$$

## МНОГОМЕРНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРИ НЕЧЕТКИХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

И.А. ПОЛЕЩУК, *асп. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ*

Последние два десятилетия явились годами бурного развития методов нечеткого регрессионного анализа, которые значительно расширили границы применения методов классического регрессионного анализа, а именно – позволили корректно строить рег-

Обобщенный результат оценивания определен в виде линейной комбинации результатов второго, четвертого и пятого экспертов. Этот результат занесен в табл. 7 в виде параметров функций принадлежности нечетких оценок каждого объекта, четких оценок, полученных в результате дефаззификации нечетких оценок по методу центра тяжести и уровней вербальной шкалы, присвоенных каждому из объектов.

Таким образом, применение разработанных ранее автором показателей согласованности экспертной информации и известного коэффициента конкордации дает одинаковые результаты, однако представленная в работе математическая модель обработки экспертных оценок позволяет осуществить расширенный анализ полученной информации по сравнению с методами теории экспертного оценивания.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 04-07-90131.

### Библиографический список

1. Полещук О.М. Методы предварительной обработки нечеткой экспертной информации на этапе ее формализации // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2003. – № 5(30). – С. 160–167.
2. Полещук О.М. О развитии систем обработки нечеткой информации на базе полных ортогональных семантических пространств // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2003. – № 1(26). – С. 112–117.
3. Полещук О.М., Полещук И.А. Нечеткая кластеризация элементов множества полных ортогональных семантических пространств // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2003. – № 1(26). – С. 117–127.

рессионные зависимости на основе нечисловой (нечеткой) исходной информации [6].

Методы нечеткого линейного регрессионного анализа используются при изучении поведения сложных технических, экологических и других систем, выходные показате-

тели которых зависят от большого количества параметров [6]. Эти методы применяются при построении регрессионных моделей не только в рамках нечеткой исходной информации, но также в рамках четкой исходной информации. Прогнозные выходные значения в этом случае представляются в виде нечетких чисел. Подобное представление объясняется тем, что реальная система всегда сложнее, чем любая ее модель, в которой невозможно совместить все входные показатели, от которых зависит выходной показатель.

Первая нечеткая линейная регрессионная модель [7] вызвала интерес у исследователей, следствием чего стало появление новых нечетких регрессионных моделей, которые опираются на результаты, полученные в [8–10], и различные оптимизационные критерии. На настоящий момент разработан ряд линейных нечетких регрессионных моделей [1, 2, 11–25] и намечены подходы к построению нелинейных нечетких регрессионных моделей [3, 4]. В [2, 11, 12, 14, 15, 19, 25]; оптимизационные критерии строятся с целью минимизации нечеткости выходных модельных нечетких значений с последующим применением методов линейного программирования. В [22], опираясь на [3, 26], строится интервальная регрессионная модель методами работ [19, 24, 25].

Классическая регрессионная модель [4] базируется на методах теории вероятностей и, следовательно, учитывает в модели один из видов неопределенности – случайность. Нечеткая регрессионная модель базируется на методах теории возможностей и теории нечетких множеств и, следовательно, учитывает в модели другой вид неопределенности – нечеткость. Односторонний подход к учету заложенной в модели неопределенности не устроил ряд исследователей, следствием чего стало появление комбинированных линейных регрессионных моделей, соединяющих метод наименьших квадратов с методами теории нечетких множеств и теории возможностей [13, 17, 18, 20, 21, 23, 25]. В [16, 17]; метод наименьших квадратов применяется для отклонений от еди-

ницы возможностей равенства наблюдаемых выходных нормальных треугольных чисел и модельных выходных нормальных треугольных чисел.

Функция принадлежности нормального треугольного числа имеет вид

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{a_1 - x}{a_L}, & 0 < \frac{a_1 - x}{a_L} \leq 1, a_L > 0 \\ 1 - \frac{x - a_1}{a_R}, & 0 < \frac{x - a_1}{a_R} \leq 1, a_R > 0 \\ 1, & x = a_1 \\ 0, & x < a_1 - a_L \text{ или } x > a_1 + a_R. \end{cases} \quad (1)$$

Возможность равенства двух нечетких чисел  $\tilde{A}$  и  $\tilde{B}$  с функциями принадлежности соответственно  $\mu(x), \nu(x)$  согласно [18] определяется по формуле

$$Pos(\tilde{A} = \tilde{B}) = \max_x \min(\eta(x), \mu(x)).$$

В [13, 23] метод наименьших квадратов применяется для отклонений центров модельных выходных нормальных треугольных чисел от центров наблюдаемых выходных нормальных треугольных чисел. Центром нормального треугольного числа с функцией принадлежности (1) является число  $a_1$ . В [23] решается оптимизационная задача относительно минимума суммы коэффициентов нечеткости выходных модельных нормальных треугольных чисел. Коэффициентами нечеткости нормального треугольного числа с функцией принадлежности (1) являются числа  $a_L, a_R$ .

Однако модели перечисленных выше и других работ [27, 28] ограничены рассмотрением унимодальных функций принадлежности исходных данных, что делает их непригодными, например, в случае толерантных функций принадлежности.

Толерантное число  $\tilde{A}$  имеет следующую функцию принадлежности

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} L\left(\frac{a_1 - x}{a_L}\right), & 0 \leq \frac{a_1 - x}{a_L} \leq 1, a_L > 0 \\ R\left(\frac{x - a_2}{a_R}\right), & 0 \leq \frac{x - a_2}{a_R} \leq 1, a_R > 0 \\ 1, & \frac{a_1 - x}{a_L} < 0 \cap \frac{x - a_2}{a_R} < 0 \\ 0, & \frac{a_1 - x}{a_L} > 1 \cup \frac{x - a_2}{a_R} > 1 \end{cases} \quad (2)$$

На функции накладываются условия:

1)  $L(0) = R(0) = 1, L(1) = R(1) = 0$

2)  $L(x)$  и  $R(x)$  – монотонно убывающие функции на множестве.

$\tilde{A}$  символически записывается в виде  $\tilde{A} \equiv (a_1, a_2, a_L, a_R)$  (или  $\mu_A(x) \equiv (a_1, a_2, a_L, a_R)$ ),  $a_1, a_2, a_L, a_R$  – называются параметрами толерантного  $(L - R)$ -числа  $\tilde{A}$ . Отрезок  $[a_1, a_2]$  называется интервалом толерантности, а  $a_L$  и  $a_R$  – соответственно левым и правым коэффициентами нечеткости. Функция  $L\left(\frac{a_1 - x}{a_L}\right)$

называется левой границей функции принадлежности толерантного  $(L - R)$ -числа, а

функция  $R\left(\frac{x - a_2}{a_R}\right)$  называется правой границей

функции принадлежности толерантного  $(L - R)$ -числа. При  $a_L = 0$  предполагается, что

$$R\left(\frac{x - a_2}{a_R}\right) = 0.$$

В практических задачах нечеткие данные с толерантными функциями принадлежности представляют несомненный интерес, поэтому задача их анализа методами регрессионного анализа стоит достаточно остро.

В связи с рассмотрением ограниченного спектра функций принадлежности исходных данных в методах нечеткого регрессионного анализа возник пробел, который частично был восполнен в [1].

Изложенный в этой работе метод построения комбинированной регрессионной модели в виде системы классических регрессионных уравнений (по каждому из параметров функций принадлежности исходных нечетких данных) может применяться, в отличие от остальных методов, как к унимодальным, так и к толерантным функциям принадлежности исходных данных. Ограничением метода [1] является построение регрессионной модели только с четкими коэффициентами, что не всегда позволяет добиться удовлетворительного качества подгонки.

В [2] разработана линейная регрессионная модель с нечеткими коэффициентами,

которая позволяет оперировать как с унимодальными, так и с толерантными функциями принадлежности исходных данных. Кроме этого, в [2] определены количественные показатели качества нечетких регрессионных моделей.

Использование этих показателей в реальных задачах показало, что даже при неудовлетворительных показателях качества нечетких линейных моделей нелинейные нечеткие регрессионные модели не могут с ними конкурировать в силу того, что практически отсутствуют.

В [26] намечены подходы к построению квадратичной регрессионной модели при исходной информации, представленной треугольными числами. В [3] построена двухмерная квадратичная регрессионная модель, входными и выходными данными которой могут быть как унимодальные (в том числе и треугольные), так и толерантные нечеткие числа.

Следует отметить, что если многие нелинейные классические регрессионные модели с помощью соответствующих замен могут быть сведены к линейным моделям, то с нелинейными нечеткими регрессионными моделями дела обстоят сложнее.

Дело в том, что, например, при умножении нечетких чисел не всегда возможно задать аналитический вид функции принадлежности нечеткого числа, которое является результатом этого умножения. Поскольку все известные линейные нечеткие регрессионные модели предполагают такую возможность, то становится понятным, почему к ним автоматически нельзя свести нелинейные модели.

Напомним [4], что  $T$ -числом (нечетким числом  $T$ -типа) называется толерантное нечеткое число  $\tilde{A}$  с функцией принадлежности (2) и  $L(x) = R(x) = 1 - x$ .

Символически  $T$ -число записывается в виде  $\tilde{A} \equiv (a_1, a_2, a_L, a_R)$ . Нормальное треугольное число является частным случаем  $T$ -числа при  $a_1 = a_2$  и символически записывается в виде  $\tilde{A} \equiv (a_1, a_L, a_R)$ . При  $a_L = a_R$  треугольное число называется симметричным, а при

$a_L \neq a_R$  несимметричным.  $T$ -число называется неотрицательным при условии  $a_1 - a_2 \geq 0$ .

Внимание к неотрицательным  $T$ -числам объясняется тем, что согласно методу [5] они являются функциями принадлежности термов полных ортогональных семантических пространств (ПОСП) с универсальным множеством  $[0,1]$  и соответственно формализациями лингвистических значений признаков.

В [3] разработан метод дефаззификации  $T$ -чисел, который позволяет поставить им в соответствие отрезки, названные взвешенными отрезками. Согласно этому методу взвешенным отрезком  $T$ -числа  $\tilde{A} \equiv (a_1, a_2, a_L, a_R)$  является отрезок  $[A_1, A_2]$

$$A_1 = \int_0^1 (2a_1 - (1-\alpha)a_L) \alpha d\alpha = a_1 - \frac{1}{6} a_L,$$

$$A_2 = \int_0^1 (2a_2 + (1-\alpha)a_R) \alpha d\alpha = a_2 + \frac{1}{6} a_R.$$

Для двух  $T$ -чисел  $\tilde{A}, \tilde{B}$  с взвешенными отрезками  $[A_1, A_2], [B_1, B_2]$  в [3] определена мера близости

$$f(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{(A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2},$$

которая в настоящей работе будет использоваться при постановке оптимизационной задачи.

Пусть

$$\tilde{Y} = \begin{pmatrix} \tilde{Y}_1 \\ \dots \\ \tilde{Y}_n \end{pmatrix}, \tilde{Y}_i \equiv (y_1^i, y_2^i, y_L^i, y_R^i), y_1^i - y_L^i \geq 0, i = \overline{1, n}$$

– выходные  $T$ -числа,

$$\tilde{X}_j = \begin{pmatrix} \tilde{X}_j^1 \\ \dots \\ \tilde{X}_j^n \end{pmatrix}, \tilde{X}_j^i \equiv (x_1^j, x_2^j, x_L^j, x_R^j), x_1^j - x_L^j \geq 0,$$

$j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$  – входные  $T$ -числа.

Зависимость между входными и выходными данными будем искать в виде

$$\tilde{Y} = \tilde{a}_1 \tilde{X}_1^2 + \dots + \tilde{a}_m \tilde{X}_m^2 + \tilde{a}_{m+1} \tilde{X}_1 \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{a}_{\frac{m(m-1)}{2}} \tilde{X}_{m-1} \tilde{X}_m +$$

$$+ \tilde{a}_{\frac{m^2-m+2}{2}} \tilde{X}_1 + \dots + \tilde{a}_{\frac{m(m+1)}{2}} \tilde{X}_m + \tilde{a}_0$$

$$\tilde{a}_k \equiv (b^k, b_L^k, b_R^k), k = 0, \frac{m(m+1)}{2}$$

– неизвестные коэффициенты регрессионной модели.

Определим взвешенные отрезки

$$\left[ y_1^i - \frac{1}{6} y_L^i, y_2^i + \frac{1}{6} y_R^i \right], i = \overline{1, n}$$

для наблюдаемых выходных данных  $\tilde{Y}_i$ . Обозначим через

$$\left[ \theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^1 (b^k, b_L^k, b_R^k), \theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^2 (b^k, b_L^k, b_R^k) \right] \quad (3)$$

взвешенный отрезок произведения чисел  $\tilde{a}_k$  и  $\tilde{X}_j^i, k = \frac{m^2 - m + 2}{2}, \frac{m(m+1)}{2}, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ , через

$$\left[ \theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i^2}}^1 (b^k, b_L^k, b_R^k), \theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i^2}}^2 (b^k, b_L^k, b_R^k) \right] \quad (4)$$

взвешенный отрезок произведения чисел  $\tilde{a}_k$  и  $\tilde{X}_j^{i^2}, k = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ , а через

$$\left[ \theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_p \tilde{X}_j^i}^1 (b^k, b_L^k, b_R^k), \theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_p \tilde{X}_j^i}^2 (b^k, b_L^k, b_R^k) \right] \quad (5)$$

взвешенный отрезок произведения чисел  $\tilde{a}_k$  и  $\tilde{X}_p \tilde{X}_j^i,$

$$k = m + 1, \frac{m(m-1)}{2}, p = \overline{1, m-1},$$

$$j = \overline{2, m}, p \neq j, p < j, i = \overline{1, n}.$$

**Утверждение 1.** Границы взвешенного отрезка произведения нечетких чисел  $\tilde{a}_k$  и  $\tilde{X}_j^i$  имеют вид

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^1 (b^k, b_L^k, b_R^k) = b^k \left( x_q^{ji} + (-1)^q \frac{1}{6} x_{M_q}^{ji} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \frac{1}{6} x_q^{ji} + (-1)^q \frac{1}{12} x_{M_q}^{ji} \right),$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^2 (b^k, b^k, b_R^k) = b^k \left( x_r^{ji} + (-1)^r \frac{1}{6} x_{M_r}^{ji} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \frac{1}{6} x_r^{ji} + (-1)^r \frac{1}{12} x_{M_r}^{ji} \right),$$

$$k = \frac{m^2 - m + 2}{2}, \frac{m(m+1)}{2}, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n},$$

$$q = \begin{cases} 1, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 2, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_q = \begin{cases} L, q = 1 \\ R, q = 2 \end{cases},$$

$$r = \begin{cases} 2, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 1, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_r = \begin{cases} L, r = 1 \\ R, r = 2 \end{cases}.$$

Доказательство утверждения 1. Выпишем множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{X}_j^i$

$$X_{j\alpha}^i = [X_{j\alpha}^1, X_{j\alpha}^{i^2}] = [x_1^{ji} - (1-\alpha)x_L^{ji}, x_2^{ji} + (1-\alpha)x_R^{ji}]$$

и множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{a}_k$

$$a_{k\alpha} = [a_{k\alpha}^1, a_{k\alpha}^2] = [b^k - (1-\alpha)b_L^k, b^k + (1-\alpha)b_R^k].$$

Если

$$\tilde{a}_k \equiv (b^k, b_L^k, b_R^k), \quad k = \frac{m^2 - m + 2}{2}, \frac{m(m+1)}{2}$$

неотрицательное нечеткое число ( $b^k - b_L^k \geq 0$ ), то согласно операции умножения для нечетких чисел множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i$  имеет вид  $[A_{k\alpha}^{ji1}, A_{k\alpha}^{ji2}]$ , где

$$A_{k\alpha}^{ji1} = b^k x_1^{ji} - (1-\alpha)b^k x_L^{ji} - (1-\alpha)b_L^k x_1^{ji} + (1-\alpha)^2 b_L^k x_L^{ji},$$

$$A_{k\alpha}^{ji2} = b^k x_2^{ji} + (1-\alpha)b^k x_R^{ji} + (1-\alpha)b_R^k x_2^{ji} + (1-\alpha)^2 b_R^k x_R^{ji}.$$

Тогда

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_1^{ji} + A_{k\alpha}^{ji1}) \alpha d\alpha = b^k x_1^{ji} - \frac{1}{6} b^k x_L^{ji} - \frac{1}{6} b_L^k x_1^{ji} + \frac{1}{12} b_L^k x_L^{ji} = b^k \left( x_1^{ji} - \frac{1}{6} x_L^{ji} \right) - b_L^k \left( \frac{1}{6} x_1^{ji} - \frac{1}{12} x_L^{ji} \right),$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_2^{ji} + A_{k\alpha}^{ji2}) \alpha d\alpha = b^k x_2^{ji} + \frac{1}{6} b^k x_R^{ji} + \frac{1}{6} b_R^k x_2^{ji} + \frac{1}{12} b_R^k x_R^{ji} = b^k \left( x_2^{ji} + \frac{1}{6} x_R^{ji} \right) + b_R^k \left( \frac{1}{6} x_2^{ji} + \frac{1}{12} x_R^{ji} \right).$$

Если

$$\tilde{a}_k \equiv (b^k, b_L^k, b_R^k), \quad k = \frac{m^2 - m + 2}{2}, \frac{m(m+1)}{2}$$

отрицательное нечеткое число ( $b^k + b_R^k < 0$ ), то согласно операции умножения для нечетких чисел множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i$  имеет вид  $[B_{k\alpha}^{ji1}, B_{k\alpha}^{ji2}]$ , где

$$B_{k\alpha}^{ji1} = b^k x_2^{ji} + (1-\alpha)b^k x_R^{ji} - (1-\alpha)b_L^k x_2^{ji} - (1-\alpha)^2 b_L^k x_R^{ji},$$

$$B_{k\alpha}^{ji2} = b^k x_1^{ji} - (1-\alpha)b^k x_L^{ji} + (1-\alpha)b_R^k x_1^{ji} - (1-\alpha)^2 b_R^k x_L^{ji}.$$

Тогда

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_2^{ji} + B_{k\alpha}^{ji1}) \alpha d\alpha = b^k x_2^{ji} + \frac{1}{6} b^k x_R^{ji} - \frac{1}{6} b_L^k x_2^{ji} - \frac{1}{12} b_L^k x_R^{ji} = b^k \left( x_2^{ji} + \frac{1}{6} x_R^{ji} \right) - b_L^k \left( \frac{1}{6} x_2^{ji} + \frac{1}{12} x_R^{ji} \right),$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_1^{ji} + B_{k\alpha}^{ji2}) \alpha d\alpha = b^k x_1^{ji} - \frac{1}{6} b^k x_L^{ji} + \frac{1}{6} b_R^k x_1^{ji} - \frac{1}{12} b_R^k x_L^{ji} = b^k \left( x_1^{ji} - \frac{1}{6} x_L^{ji} \right) + b_R^k \left( \frac{1}{6} x_1^{ji} - \frac{1}{12} x_L^{ji} \right).$$

Или

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = b^k \left( x_q^{ji} + (-1)^q \frac{1}{6} x_{M_q}^{ji} \right) - b_L^k \left( \frac{1}{6} x_q^{ji} + (-1)^q \frac{1}{12} x_{M_q}^{ji} \right),$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = b^k \left( x_r^{ji} + (-1)^r \frac{1}{6} x_{M_r}^{ji} \right) + b_R^k \left( \frac{1}{6} x_r^{ji} + (-1)^r \frac{1}{12} x_{M_r}^{ji} \right),$$

$$k = \frac{m^2 - m + 2}{2}, \frac{m(m+1)}{2}, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n},$$

$$q = \begin{cases} 1, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 2, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_q = \begin{cases} L, q = 1 \\ R, q = 2 \end{cases},$$

$$r = \begin{cases} 2, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 1, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_r = \begin{cases} L, r = 1 \\ R, r = 2 \end{cases}.$$

Утверждение 1 доказано.

Докажем, что границы отрезков (4) и (5) аналогично границам отрезков (3) определяются линейными комбинациями произведений параметров нечетких чисел соответственно  $\tilde{a}_k, \tilde{X}_j^{i2}, k = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$  и  $\tilde{a}_k,$

$$\tilde{X}_p^i \tilde{X}_j^i, k = m+1, \frac{m(m-1)}{2}, p = \overline{1, m-1},$$

$$j = \overline{2, m}, p \neq j, p < j, i = \overline{1, n}.$$

**Утверждение 2.** Границы взвешенного отрезка произведения нечетких чисел  $\tilde{a}_k$  и  $\tilde{X}_j^{i2}$  имеют вид

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i2}}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = b^k \left( x_q^{ji2} + \frac{(-1)^q}{3} x_q^{ji} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{12} x_{M_q}^{ji2} \right) - b_L^k \left( \frac{1}{6} x_q^{ji2} + \frac{(-1)^q}{6} x_q^{ji} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{20} x_{M_q}^{ji2} \right).$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i2}}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_2^{ji2} + C_{k\alpha}^{ji2}) \alpha d\alpha = b^k \left( x_r^{ji2} + \frac{(-1)^r}{3} x_r^{ji} x_{M_r}^{ji} + \frac{1}{12} x_{M_r}^{ji2} \right) + b_R^k \left( \frac{1}{6} x_r^{ji2} + \frac{(-1)^r}{6} x_r^{ji} x_{M_r}^{ji} + \frac{1}{20} x_{M_r}^{ji2} \right).$$

$$k = \overline{1, m}, p = \overline{1, m-1}, j = \overline{2, m}, p \neq j, p < j, i = \overline{1, n},$$

$$q = \begin{cases} 1, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 2, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_q = \begin{cases} L, q = 1 \\ R, q = 2 \end{cases},$$

$$r = \begin{cases} 2, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 1, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_r = \begin{cases} L, r = 1 \\ R, r = 2 \end{cases}.$$

Доказательство утверждения 2. Рассмотрим нечеткое число, которое является произведением нечеткого числа  $\tilde{X}_j^i \equiv (x_1^{ji}, x_2^{ji}, x_L^{ji}, x_R^{ji}), x_1^{ji} - x_L^{ji} \geq 0, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$  на себя и обозначим его через  $\tilde{D}_j^i = \tilde{X}_j^i \times \tilde{X}_j^i = \tilde{X}_j^{i2}$ .

Выпишем множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{X}_j^i$

$$X_{j\alpha}^i = [X_{j\alpha}^{i1}, X_{j\alpha}^{i2}] = [x_1^{ji} - (1-\alpha)x_L^{ji}, x_2^{ji} + (1-\alpha)x_R^{ji}]$$

Согласно операции умножения для нечетких чисел, множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{D}_j^i$  имеет вид

$$D_{j\alpha}^i = [x_1^{ji2} - 2(1-\alpha)x_1^{ji}x_L^{ji} + (1-\alpha)^2x_L^{ji2}, x_2^{ji2} + 2(1-\alpha)x_2^{ji}x_R^{ji} + (1-\alpha)^2x_R^{ji2}].$$

Если  $\tilde{a}_k \equiv (b^k, b_L^k, b_R^k)$  – неотрицательное число, то множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{a}_k \tilde{D}_j^i$  имеет вид  $[C_{k\alpha}^{ji1}, C_{k\alpha}^{ji2}]$ , где

$$C_{k\alpha}^{ji1} = b^k(x_1^{ji2} - 2(1-\alpha)x_1^{ji}x_L^{ji} + (1-\alpha)^2x_L^{ji2}) - b_L^k((1-\alpha)x_1^{ji2} - 2(1-\alpha)^2x_1^{ji}x_L^{ji} + (1-\alpha)^3x_L^{ji2}),$$

$$C_{k\alpha}^{ji2} = b^k(x_2^{ji2} + 2(1-\alpha)x_2^{ji}x_R^{ji} + (1-\alpha)^2x_R^{ji2}) + b_R^k((1-\alpha)x_2^{ji2} + 2(1-\alpha)^2x_2^{ji}x_R^{ji} + (1-\alpha)^3x_R^{ji2}).$$

Тогда

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i2}}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_1^{ji2} + C_{k\alpha}^{ji1}) \alpha d\alpha =$$

$$= b^k \left( x_1^{ji2} - \frac{1}{3} x_1^{ji} x_L^{ji} + \frac{1}{12} x_L^{ji2} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \frac{1}{6} x_1^{ji2} - \frac{1}{6} x_1^{ji} x_L^{ji} + \frac{1}{20} x_L^{ji2} \right).$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i2}}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_2^{ji2} + C_{k\alpha}^{ji2}) \alpha d\alpha =$$

$$= b^k \left( x_2^{ji2} + \frac{1}{3} x_2^{ji} x_R^{ji} + \frac{1}{12} x_R^{ji2} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \frac{1}{6} x_2^{ji2} + \frac{1}{6} x_2^{ji} x_R^{ji} + \frac{1}{20} x_R^{ji2} \right).$$

Если  $\tilde{a}_k \equiv (b^k, b_L^k, b_R^k)$  – отрицательное число, то множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{a}_k \tilde{D}_j^i$  имеет вид  $[E_{k\alpha}^{ji1}, E_{k\alpha}^{ji2}]$ , где

$$E_{k\alpha}^{ji1} = b^k(x_2^{ji2} + 2(1-\alpha)x_2^{ji}x_R^{ji} + (1-\alpha)^2x_R^{ji2}) - b_L^k((1-\alpha)x_2^{ji2} + 2(1-\alpha)^2x_2^{ji}x_R^{ji} + (1-\alpha)^3x_R^{ji2}),$$

$$E_{k\alpha}^{ji2} = b^k(x_1^{ji2} - 2(1-\alpha)x_1^{ji}x_L^{ji} + (1-\alpha)^2x_L^{ji2}) + b_R^k((1-\alpha)x_1^{ji2} - 2(1-\alpha)^2x_1^{ji}x_L^{ji} + (1-\alpha)^3x_L^{ji2}).$$

Тогда

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i2}}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_2^{ji2} + E_{k\alpha}^{ji1}) \alpha d\alpha =$$

$$= b^k \left( x_2^{ji2} + \frac{1}{3} x_2^{ji} x_R^{ji} + \frac{1}{12} x_R^{ji2} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \frac{1}{6} x_2^{ji2} + \frac{1}{6} x_2^{ji} x_R^{ji} + \frac{1}{20} x_R^{ji2} \right),$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i2}}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_1^{ji2} + E_{k\alpha}^{ji2}) \alpha d\alpha =$$

$$= b^k \left( x_1^{ji2} - \frac{1}{3} x_1^{ji} x_L^{ji} + \frac{1}{12} x_L^{ji2} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \frac{1}{6} x_1^{ji2} - \frac{1}{6} x_1^{ji} x_L^{ji} + \frac{1}{20} x_L^{ji2} \right).$$

Или

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i2}}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = b^k \left( x_q^{ji2} + \frac{(-1)^q}{3} x_q^{ji} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{12} x_{M_q}^{ji2} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \frac{1}{6} x_q^{ji2} + \frac{(-1)^q}{6} x_q^{ji} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{20} x_{M_q}^{ji2} \right).$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^{i2}}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_2^{ji2} + C_{k\alpha}^{ji2}) \alpha d\alpha =$$

$$= b^k \left( x_r^{ji2} + \frac{(-1)^r}{3} x_r^{ji} x_{M_r}^{ji} + \frac{1}{12} x_{M_r}^{ji2} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \frac{1}{6} x_r^{ji2} + \frac{(-1)^r}{6} x_r^{ji} x_{M_r}^{ji} + \frac{1}{20} x_{M_r}^{ji2} \right).$$

$$k = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n},$$

$$q = \begin{cases} 1, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 2, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_q = \begin{cases} L, q = 1 \\ R, q = 2 \end{cases},$$

$$r = \begin{cases} 2, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 1, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_r = \begin{cases} L, r = 1 \\ R, r = 2 \end{cases}.$$

Утверждение 2 доказано.

**Утверждение 3.** Границы взвешенного отрезка произведения нечетких чисел  $\tilde{a}_k, \tilde{X}_j^i$  и  $\tilde{X}_p^i$  имеют вид:

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j^i \tilde{X}_p^i}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = b^k \left( x_q^{ji} x_q^{pi} + \frac{(-1)^q}{6} x_q^{ji} x_{M_q}^{pi} + \frac{(-1)^q}{6} x_q^{pi} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{12} x_{M_q}^{ji} x_{M_q}^{pi} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \frac{1}{6} x_q^{ji} x_q^{pi} + \frac{(-1)^q}{12} x_q^{ji} x_{M_q}^{pi} + \frac{(-1)^q}{12} x_q^{pi} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{20} x_{M_q}^{ji} x_{M_q}^{pi} \right),$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j \tilde{X}_p}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = b^k \left( \begin{aligned} & x_q^{ji} x_q^{pi} + \frac{(-1)^q}{6} x_q^{ji} x_{M_q}^{pi} + \\ & + \frac{(-1)^q}{6} x_q^{pi} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{12} x_{M_q}^{ji} x_{M_q}^{pi} \end{aligned} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \begin{aligned} & \frac{1}{6} x_q^{ji} x_q^{pi} + \frac{(-1)^q}{12} x_q^{ji} x_{M_q}^{pi} + \\ & + \frac{(-1)^q}{12} x_q^{pi} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{20} x_{M_q}^{ji} x_{M_q}^{pi} \end{aligned} \right),$$

$$k = \overline{m+1}, \overline{\frac{m(m-1)}{2}}, p = \overline{1, m-1},$$

$$j = \overline{2, m}, p \neq j, p < j, i = \overline{1, n}$$

$$q = \begin{cases} 1, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 2, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_q = \begin{cases} L, q = 1 \\ R, q = 2 \end{cases},$$

$$r = \begin{cases} 2, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 1, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_r = \begin{cases} L, r = 1 \\ R, r = 2 \end{cases}.$$

Доказательство утверждения 3. Рассмотрим нечеткое число, которое является произведением нечеткого числа  $\tilde{X}_j \equiv (x_1^{ji}, x_2^{ji}, x_L^{ji}, x_R^{ji})$  на нечеткое число  $\tilde{X}_p \equiv (x_1^{pi}, x_2^{pi}, x_L^{pi}, x_R^{pi})$ ,  $p = \overline{1, m-1}$ ,  $j = \overline{2, m}$ ,  $p \neq j$ ,  $p < j$ ,  $i = \overline{1, n}$  и обозначим его через  $\tilde{G}_j^i = \tilde{X}_j \times \tilde{X}_p^i$ . Выпишем множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{X}_j^i$  и  $\tilde{X}_p^i$

$$X_{j\alpha}^i = [X_{j\alpha}^{i1}, X_{j\alpha}^{i2}] = [x_1^{ji} - (1-\alpha)x_L^{ji}, x_2^{ji} + (1-\alpha)x_R^{ji}],$$

$$X_{p\alpha}^i = [X_{p\alpha}^{i1}, X_{p\alpha}^{i2}] = [x_1^{pi} - (1-\alpha)x_L^{pi}, x_2^{pi} + (1-\alpha)x_R^{pi}]$$

Так как  $\tilde{X}_j^i$  и  $\tilde{X}_p^i$  – неотрицательные нечеткие числа, то множество  $\alpha$ -уровня  $G_j^i$  имеет вид  $G_{j\alpha}^i = [G_{j\alpha}^{i1}, G_{j\alpha}^{i2}]$ , где

$$G_{j\alpha}^{i1} = x_1^{ji} x_1^{pi} - (1-\alpha)x_1^{ji} x_L^{pi} - (1-\alpha)x_1^{pi} x_L^{ji} + (1-\alpha)^2 x_L^{ji} x_L^{pi},$$

$$G_{j\alpha}^{i2} = x_2^{ji} x_2^{pi} + (1-\alpha)x_2^{ji} x_R^{pi} + (1-\alpha)x_2^{pi} x_R^{ji} + (1-\alpha)^2 x_R^{ji} x_R^{pi}.$$

Если  $\tilde{a}_k \equiv (b^k, b_L^k, b_R^k)$ , – неотрицательное число, то множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{a}_k \tilde{G}_j^i$  имеет вид  $[G_{k\alpha}^{ji1}, G_{k\alpha}^{ji2}]$ ,

где

$$G_{k\alpha}^{ji1} = b^k \left( \begin{aligned} & x_1^{ji} x_1^{pi} - (1-\alpha)x_1^{ji} x_L^{pi} - \\ & - (1-\alpha)x_1^{pi} x_L^{ji} + (1-\alpha)^2 x_L^{ji} x_L^{pi} \end{aligned} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \begin{aligned} & (1-\alpha)x_1^{ji} x_1^{pi} - (1-\alpha)^2 x_1^{ji} x_L^{pi} - \\ & - (1-\alpha)^2 x_1^{pi} x_L^{ji} + (1-\alpha)^3 x_L^{ji} x_L^{pi} \end{aligned} \right),$$

$$G_{k\alpha}^{ji2} = b^k \left( \begin{aligned} & x_2^{ji} x_2^{pi} + (1-\alpha)x_2^{ji} x_R^{pi} + \\ & + (1-\alpha)x_2^{pi} x_R^{ji} + (1-\alpha)^2 x_R^{ji} x_R^{pi} \end{aligned} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \begin{aligned} & (1-\alpha)x_2^{ji} x_2^{pi} + (1-\alpha)^2 x_2^{ji} x_R^{pi} + \\ & + (1-\alpha)^2 x_2^{pi} x_R^{ji} + (1-\alpha)^3 x_R^{ji} x_R^{pi} \end{aligned} \right)$$

Тогда

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j \tilde{X}_p}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_1^{ji} x_1^{pi} + G_{k\alpha}^{ji1}) \alpha d\alpha =$$

$$= b^k \left( x_1^{ji} x_1^{pi} - \frac{1}{6} x_1^{ji} x_L^{pi} - \frac{1}{6} x_1^{pi} x_L^{ji} + \frac{1}{12} x_L^{ji} x_L^{pi} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \frac{1}{6} x_1^{ji} x_1^{pi} - \frac{1}{12} x_1^{ji} x_L^{pi} - \frac{1}{12} x_1^{pi} x_L^{ji} + \frac{1}{20} x_L^{ji} x_L^{pi} \right),$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j \tilde{X}_p}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_2^{ji} x_2^{pi} + G_{k\alpha}^{ji2}) \alpha d\alpha =$$

$$= b^k \left( x_2^{ji} x_2^{pi} + \frac{1}{6} x_2^{ji} x_R^{pi} + \frac{1}{6} x_2^{pi} x_R^{ji} + \frac{1}{12} x_R^{ji} x_R^{pi} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \frac{1}{6} x_2^{ji} x_2^{pi} + \frac{1}{12} x_2^{ji} x_R^{pi} + \frac{1}{12} x_2^{pi} x_R^{ji} + \frac{1}{20} x_R^{ji} x_R^{pi} \right).$$

Если  $\tilde{a}_k \equiv (b^k, b_L^k, b_R^k)$ , – отрицательное число, то множество  $\alpha$ -уровня  $\tilde{a}_k \tilde{G}_j^i$  имеет вид  $[V_{k\alpha}^{ji1}, V_{k\alpha}^{ji2}]$ , где

$$V_{k\alpha}^{ji1} = b^k \left( \begin{aligned} & x_2^{ji} x_2^{pi} + (1-\alpha)x_2^{ji} x_R^{pi} + \\ & + (1-\alpha)x_2^{pi} x_R^{ji} + (1-\alpha)^2 x_R^{ji} x_R^{pi} \end{aligned} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \begin{aligned} & (1-\alpha)x_2^{ji} x_2^{pi} + (1-\alpha)^2 x_2^{ji} x_R^{pi} + \\ & + (1-\alpha)^2 x_2^{pi} x_R^{ji} + (1-\alpha)^3 x_R^{ji} x_R^{pi} \end{aligned} \right),$$

$$V_{k\alpha}^{ji2} = b^k \left( \begin{aligned} & x_1^{ji} x_1^{pi} - (1-\alpha)x_1^{ji} x_L^{pi} - \\ & - (1-\alpha)x_1^{pi} x_L^{ji} + (1-\alpha)^2 x_L^{ji} x_L^{pi} \end{aligned} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \begin{aligned} & (1-\alpha)x_1^{ji} x_1^{pi} - (1-\alpha)^2 x_1^{ji} x_L^{pi} - \\ & - (1-\alpha)^2 x_1^{pi} x_L^{ji} + (1-\alpha)^3 x_L^{ji} x_L^{pi} \end{aligned} \right).$$

Тогда

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j \tilde{X}_p}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_2^{ji} x_2^{pi} + V_{k\alpha}^{ji1}) \alpha d\alpha =$$

$$= b^k \left( x_2^{ji} x_2^{pi} + \frac{1}{6} x_2^{ji} x_R^{pi} + \frac{1}{6} x_2^{pi} x_R^{ji} + \frac{1}{12} x_R^{ji} x_R^{pi} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \frac{1}{6} x_2^{ji} x_2^{pi} + \frac{1}{12} x_2^{ji} x_R^{pi} + \frac{1}{12} x_2^{pi} x_R^{ji} + \frac{1}{20} x_R^{ji} x_R^{pi} \right),$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j \tilde{X}_p}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = \int_0^1 (b^k x_1^{ji} x_1^{pi} + V_{k\alpha}^{ji2}) \alpha d\alpha =$$

$$= b^k \left( x_1^{ji} x_1^{pi} - \frac{1}{6} x_1^{ji} x_L^{pi} - \frac{1}{6} x_1^{pi} x_L^{ji} + \frac{1}{12} x_L^{ji} x_L^{pi} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \frac{1}{6} x_1^{ji} x_1^{pi} - \frac{1}{12} x_1^{ji} x_L^{pi} - \frac{1}{12} x_1^{pi} x_L^{ji} + \frac{1}{20} x_L^{ji} x_L^{pi} \right).$$

Или

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{X}_j \tilde{X}_p}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = b^k \left( \begin{aligned} & x_q^{ji} x_q^{pi} + \frac{(-1)^q}{6} x_q^{ji} x_{M_q}^{pi} + \\ & + \frac{(-1)^q}{6} x_q^{pi} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{12} x_{M_q}^{ji} x_{M_q}^{pi} \end{aligned} \right) -$$

$$- b_L^k \left( \begin{aligned} & \frac{1}{6} x_q^{ji} x_q^{pi} + \frac{(-1)^q}{12} x_q^{ji} x_{M_q}^{pi} + \\ & + \frac{(-1)^q}{12} x_q^{pi} x_{M_q}^{ji} + \frac{1}{20} x_{M_q}^{ji} x_{M_q}^{pi} \end{aligned} \right),$$

$$\theta_{\tilde{a}_k \tilde{x}_j \tilde{x}_p}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) = b^k \left( \begin{aligned} & x_r^{j_i} x_r^{p_i} + \frac{(-1)^r}{6} x_r^{j_i} x_{M_r}^{p_i} + \\ & + \frac{(-1)^r}{6} x_r^{p_i} x_{M_r}^{j_i} + \frac{1}{12} x_{M_r}^{j_i} x_{M_r}^{p_i} \end{aligned} \right) +$$

$$+ b_R^k \left( \begin{aligned} & \frac{1}{6} x_r^{j_i} x_r^{p_i} + \frac{(-1)^r}{12} x_r^{j_i} x_{M_r}^{p_i} + \\ & + \frac{(-1)^r}{12} x_r^{p_i} x_{M_r}^{j_i} + \frac{1}{20} x_{M_r}^{j_i} x_{M_r}^{p_i} \end{aligned} \right),$$

$$k = m+1, \frac{m(m-1)}{2}, p = \overline{1, m-1},$$

$$j = \overline{2, m}, p \neq j, p < j, i = \overline{1, n},$$

$$q = \begin{cases} 1, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 2, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_q = \begin{cases} L, q = 1 \\ R, q = 2 \end{cases},$$

$$r = \begin{cases} 2, b^k - b_L^k \geq 0 \\ 1, b^k + b_R^k < 0 \end{cases}, M_r = \begin{cases} L, r = 1 \\ R, r = 2 \end{cases}.$$

Утверждение 3 доказано.

Пользуясь утверждениями 1–3, определим взвешенные отрезки  $[\theta_{\tilde{y}_i}^1, \theta_{\tilde{y}_i}^2]$ ,  $i = \overline{1, n}$  для модельных выходных данных

$$\hat{Y}_i = \tilde{a}_1 \tilde{X}_1^2 + \dots + \tilde{a}_m \tilde{X}_m^2 + \tilde{a}_{m+1} \tilde{X}_1 \tilde{X}_2 + \dots +$$

$$+ \tilde{a}_{\frac{m(m-1)}{2}} \tilde{X}_{m-1} \tilde{X}_m + \tilde{a}_{\frac{m^2-m+2}{2}} \tilde{X}_1 + \dots + \tilde{a}_{\frac{m(m+1)}{2}} \tilde{X}_m + \tilde{a}_0$$

$$\theta_{\tilde{y}_i}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) = b^0 - \frac{1}{6} b_L^0 +$$

$$\sum_{j=1}^m \theta_{\tilde{a}_j \tilde{x}_j^2}^1(b^j, b_L^j, b_R^j) + \sum_{j=2}^m \theta_{\tilde{a}_{m+j-1} \tilde{x}_1 \tilde{x}_j}^1(b^{m+j-1}, b_L^{m+j-1}, b_R^{m+j-1}) +$$

$$+ \sum_{j=3}^m \theta_{\tilde{a}_{2m-j+3} \tilde{x}_2^j \tilde{x}_j}^1(b^{2m-j+3}, b_L^{2m-j+3}, b_R^{2m-j+3}) + \dots +$$

$$+ \theta_{\frac{\tilde{a}_{\frac{m^2-m}{2}} \tilde{x}_1 \tilde{x}_m}{2}}^1 \left( b^{\frac{m^2-m}{2}}, b_L^{\frac{m^2-m}{2}}, b_R^{\frac{m^2-m}{2}} \right) +$$

$$+ \sum_{j=1}^m \theta_{\frac{\tilde{a}_{\frac{m^2-m+j}{2}} \tilde{x}_j}{2}}^1 \left( b^{\frac{m^2-m+j}{2}}, b_L^{\frac{m^2-m+j}{2}}, b_R^{\frac{m^2-m+j}{2}} \right), k = 0, \frac{m(m+1)}{2}$$

$$\theta_{\tilde{y}_i}^2 = b^0 + \frac{1}{6} b_R^0 +$$

$$\sum_{j=1}^m \theta_{\tilde{a}_j \tilde{x}_j^2}^2(b^j, b_L^j, b_R^j) + \sum_{j=2}^m \theta_{\tilde{a}_{m+j-1} \tilde{x}_1 \tilde{x}_j}^2(b^{m+j-1}, b_L^{m+j-1}, b_R^{m+j-1}) +$$

$$+ \sum_{j=3}^m \theta_{\tilde{a}_{2m-j+3} \tilde{x}_2^j \tilde{x}_j}^2(b^{2m-j+3}, b_L^{2m-j+3}, b_R^{2m-j+3}) + \dots +$$

$$+ \theta_{\frac{\tilde{a}_{\frac{m^2-m}{2}} \tilde{x}_1 \tilde{x}_m}{2}}^2 \left( b^{\frac{m^2-m}{2}}, b_L^{\frac{m^2-m}{2}}, b_R^{\frac{m^2-m}{2}} \right) +$$

$$+ \sum_{j=1}^m \theta_{\frac{\tilde{a}_{\frac{m^2-m+j}{2}} \tilde{x}_j}{2}}^2 \left( b^{\frac{m^2-m+j}{2}}, b_L^{\frac{m^2-m+j}{2}}, b_R^{\frac{m^2-m+j}{2}} \right), k = 0, \frac{m(m+1)}{2}.$$

Рассмотрим функционал

$$F(b^k, b_L^k, b_R^k) = \sum_{i=1}^n f^2(\hat{Y}_i, \tilde{Y}_i), \text{ который характери-}$$

зует меру близости между исходными и модельными выходными данными

$$F(b^k, b_L^k, b_R^k) = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \theta_{\tilde{y}_i}^1(b^k, b_L^k, b_R^k) - y_1^i + \frac{1}{6} y_L^i \right)^2 + \right. \\ \left. + \left( \theta_{\tilde{y}_i}^2(b^k, b_L^k, b_R^k) - y_2^i - \frac{1}{6} y_R^i \right)^2 \right].$$

Оптимизационная задача ставится следующим образом

$$F(b^k, b_L^k, b_R^k) = \sum_{i=1}^n f^2(\hat{Y}_i, \tilde{Y}_i) \rightarrow \min,$$

$$b_L^k \geq 0, b_R^k \geq 0, k = 0, \frac{m(m+1)}{2}.$$

Так как  $\theta_{\tilde{y}_i}^1(b^k, b_L^k, b_R^k)$  и  $\theta_{\tilde{y}_i}^2(b^k, b_L^k, b_R^k)$  являются кусочно-линейными функциями в области  $b_L^k \geq 0, b_R^k \geq 0, k = 0, \frac{m(m+1)}{2}$ , то  $F$  является кусочно-дифференцируемой функцией, и решения оптимизационной задачи находятся с помощью известных методов [29].

### Библиографический список

1. Таранцев А.А. Принципы построения регрессионных моделей при исходных данных с нечетким описанием // Автоматика и телемеханика, 1997. – № 11. – С. 27–32.
2. Домрачев В.Г., Полещук О.М. О построении регрессионной модели при нечетких исходных данных // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11. – С. 74–83.
3. Домрачев В.Г., Полещук И.А. О квадратичной регрессионной модели при нечетких исходных данных // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2003. – Т. 10. – Вып. 3. – С. 647–648.
4. Шурьгин А.М. Регрессия: выбор вида зависимости, эффективность и устойчивость оценок // Автоматика и телемеханика. – 1996. – №6. – С. 90–101.
5. Полещук О.М. Некоторые подходы к моделированию системы управления образовательным процессом // Телекоммуникации и информатизация образования. – 2002. – № 3 (10). – С. 54–72.
6. Chang Y.-H., Ayyub B.M. Fuzzy regression methods – a comparative assessment // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. – № 119. – P. 187–203.
7. Tanaka H., Uejima S., Asai. Linear regression analysis with fuzzy model // IEEE, Systems, Trans. Systems Man Cybernet. SMC-2, 1982. – P. 903–907.
8. Chanrong V., Haimes Y.Y. Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology. – North-Holland, 1980. – 204 p.
9. Dubois D. Linear Programming with fuzzy data // Analysis of Fuzzy Information. – 1987. – V.3. – P. 241–263.
10. Fiacco A.V. Introduction to sensitivity and stability analysis in nonlinear programming. – New York.: Acad. press, 1983. – 367 p.

11. Tanaka H. Fuzzy data analysis by possibilistic linear models // Fuzzy Sets and Systems. – 1987. – № 24. – P. 363 – 375.
12. Sakawa M., Yano H. Fuzzy linear regression and its application to the sales forecasting // International Journal of Policy and Information. – 1989. – № 15. – P. 111-125.
13. Sabic D.A., Pedrycz W. Evaluation on fuzzy linear regression models // Fuzzy Sets and Systems. – 1991. № 39. – P. 51 – 63.
14. Tanaka H., Watada J. Possibilistic linear systems and their applications to the linear regression model // Fuzzy Sets and Systems. – 1988. № 27. – P. 275 – 289.
15. Bardossy A. Note on fuzzy regression // Fuzzy Sets and Systems. – 1990. – № 37. – P. 65-75.
16. Celmins A. Least squares model fitting to fuzzy vector data // Fuzzy Sets and Systems. – 1987. – № 22. – P. 245 – 269.
17. Celmins A. Multidimensional least-squares model fitting of fuzzy models // Math. Modeling. – 1987. – № 9. – P. 669 – 690.
18. Chang Y.-H., Ayyub B.M. Reliability analysis in fuzzy regression. Proc. Annual // Conf. of the North American Fuzzy Information Society (NAFIPS 93). – Allentown, 1993. – P. 93 – 97.
19. Chang P.-T., Lee E.S. Fuzzy linear regression with spreads unrestricted in sign // Comput. Math. Appl. – 1994. – № 28. – P. 61 – 71.
20. Chang Y.-H., Johnson P., Tokar S., Ayyub B.M. Least-squares in fuzzy regression // Proc. Annual. Conf. of the North American Fuzzy Information Society (NAFIPS 93). – Allentown, 1993. – P. 98 – 102.
21. Diamond P. Fuzzy least squares // Inform. Sci. – 1988. – № 46. – P. 141 – 157.
22. Ishibuchi H. Fuzzy regression analysis // Japan. J. Fuzzy Theory and Systems. – 1992. – № 4. – P. 137 – 148.
23. Redden D., Woodal W. Properties of certain fuzzy regression methods // Fuzzy Sets and Systems. – 1994. – № 64. – P. 361 – 375.
24. Tanaka H., Ishibuchi H. Identification of possibilistic linear models // Fuzzy Sets and Systems. – 1991. – № 41. – P. 145 – 160.
25. Tanaka H., Ishibuchi H., Yoshikawa S. Exponential possibility regression analysis // Fuzzy Sets and Systems. – 1995. – № 69. – P. 305 – 318.
26. Celmins A. A practical approach to nonlinear fuzzy regression // SIAM. J. Sci & Stat. Computing. – 1991. – № 12. – P. 329 – 332.
27. Chang Y.-H., Johnson P., Tokar S., Ayyub B.M. Least-squares in fuzzy regression // Proc. Annual. Conf. of the North American Fuzzy Information Society (NAFIPS 93). – Allentown, 1993. – P. 98 – 102.
28. Diamond P. Fuzzy least squares // Inform. Sci. – 1988. – № 46. – P. 141 – 157.
29. Coleman T.F., Li Y. A reflective newton method for minimizing a quadratic function subject to bounds on some of the variables // SIAM J. Optim. – 1996. – V. 6. – № 4. – P. 1040 – 1058.

## СИСТЕМА ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ САЙТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

К.П. ШЕРЕМЕТЬЕВ, доц. каф. автоматизации и управления МГУЛ, канд. техн. наук,  
А.Г. ЦАРЕВ, студент ФЭСТ МГУЛ

С момента распространения Интернета по всему миру появилось и быстро развивается новое направление коммерческой деятельности – электронная коммерция (ЭК). Конкуренция в электронном бизнесе постоянно растет, одновременно с этим усложняется структура и увеличивается объем наполнения сайтов электронной коммерции (СЭК). Посетителям становится сложнее ориентироваться, находить и выбирать необходимую им информацию. Отсюда низкие показатели посещаемости, популярности и продаж у многих СЭК. До недавнего времени эти проблемы решали только посредством улучшения навигации и механизмов поиска на СЭК. Однако в настоящее время большую популярность приобретают систе-

мы, реализующие индивидуальный подход к каждому посетителю. В данной работе описывается система персонализации данных (СПД), разработанная авторами статьи, и оценивается ее эффективность.

### Постановка задачи

Необходимо разработать и реализовать систему персонализации данных (СПД), повышающую посещаемость сайта электронной коммерции.

### Описание существующих методов персонализации данных

Обычно под персонализацией понимается способность сайта, учитывая некую модель оценки требований пользователя, предоставлять страницы, удовлетворяющие

его по своему информационному наполнению. Существует два способа персонализации [4]:

*Customization (ручная настройка)*

Находится под контролем пользователя, т.е. пользователь явно выбирает определенные опции: создает сайт с заголовками статей например, из New York Times или из Wall St. Journal; вводит символы акций, чьи котировки ему хочется отслеживать.

*Personalization (автоматическая настройка)*

Осуществляется компьютером, который пытается выдавать пользователю определенные страницы, основываясь на некой модели оценки его требований.

Необходимость персонализации данных диктуется постоянным увеличением информационного контента. Персонализация предоставляемого информационного наполнения – одно из важнейших условий популярности сайта. За счет персонализации можно существенно сократить время, затрачиваемое для поиска на сайте нужной информации, что всегда положительно воспринимается посетителями и вызывает призывание к сайту [5].

Известны следующие методы персонализации данных (МПД) [3]:

*Методы, основанные на определенных правилах*

В данном случае страницы генерируются как на основе предпочтений, пожеланий пользователя, так и на основе правил, заданных владельцами сайта. Подобных правил может быть множество, в зависимости от тематики сайта и его предназначения – информационного, коммерческого, рекламного и т.п.

*Методы, основанные на групповой фильтрации посетителей*

Этот способ персонализации основан на идентификации группы людей, имеющих одинаковые предпочтения. При групповом типе персонализации сначала собирают данные на простом уровне, либо путем опроса посетителей, либо сервер фиксирует, какие страницы пользователи посетили, и тем самым создается профиль посетителя с его привычками и интересами. Когда пользова-

тель вернется на сайт, сервер определит, к какой из групп он относится на основе сравнения его «профиля» с «профилями» всех групп, и в зависимости от этого ему порекомендуют посмотреть ту или иную страницу. Если предпочтения посетителя изменяются, то он переходит в другую группу.

*Методы, основанные на мгновенной персонализации*

Наиболее сложный, но и наиболее эффективный способ. Как правило, такими услугами занимаются специализированные компании. Составляются большие базы данных, получаемые из разных источников – провайдеров, баннерных сетей, различных сайтов, сервисов бесплатной электронной почты. Когда пользователь путешествует по Сети, он неоднократно посещает таких поставщиков информации, вся информация о нем заносится в обезличенный аккаунт, т.е. известны наиболее посещаемые места пользователя, его интересы, но неизвестны личные данные.

Также МПД различаются по способам сбора информации о посетителях. Большое количество современных систем персонализации используют прямой опрос посетителей – анкетирование. Такой подход затрагивает сферу защиты личной информации. Ведь «для того, чтобы данный сайт мог подготовить для посетителя хотя бы подборку новостей, последний должен сообщить подробные сведения о своих интересах, и нет никаких гарантий, что утечки данной информации не произойдет» [2]. В дополнение к вопросам защиты личной информации существует парадокс активного пользователя [4] – широко известный феномен в дизайне пользовательских интерфейсов. Люди чаще предпочитают быстрее начать пользоваться системой, чем проводить время за обучением или настройкой ее параметров. Данная проблема остро стоит в Интернете, где у пользователей есть возможность покинуть сайт и без затруднений воспользоваться услугами других сайтов. Web-пользователи желают получить что-то полезное сразу, не затратив времени на настройку и сложный доступ к персонализации. Это одна из причин провалов многих проектов [4]. Согласно исследованию, проведенному Jupiter

Research, компании, старающиеся персонализировать свой сайт, «отпугивают» клиентов [6]. Однако персонализация привлекает покупателей, пример тому – сайт Amazon.com [8]. Успех достигнут за счет того, что персонализация не возлагает никакого дополнительного бремени на пользователей [4]. Этот факт доказывает эффективность персонализации и опровергает высказывание Jupiter Research [6].

Основная задача персонализации – привлечение новых и сохранения старых клиентов. Эта задача упрощается по мере упрощения пользованием сервиса. Поэтому, чтобы персонализация эффективно решала возложенные на нее задачи, она, в первую очередь, должна быть простой и ненавязчивой. В связи с этим, в последнее время широкую популярность приобретают МПД, использующие скрытые методы сбора информации о пользователе, так называемые методы косвенного наблюдения [3]. Существует определенное количество источников информации для формирования личного профиля посетителя ИС:

- страницы и разделы, которые он посещает;
- слова, которые посетитель ищет в поисковых механизмах;
- тематика конференций и других средств общения, в которых он участвует.

Большая часть существующих СЭК имеет узконаправленный подход к персонализации: используют или технологию простых совпадений, или список предыдущей истории поведения пользователя. Технология простых совпадений недостаточно гибка, чтобы дать возможность сайту предсказать, какие из статей для пользователя являются самыми важными. Кроме того, необходимо учитывать, что каждый день интересы пользователя могут меняться. Список предыдущей истории поведения не способен предоставить рекомендации, отвечающие специфическим интересам пользователя на данный момент. Многие владельцы сайтов пренебрегают персонализацией и вкладывают значительную часть средств на создании только удобной системы навигации и локального поиска. Однако при объеме сайта в несколько тысяч, а тем более десятков ты-

сяч страниц, обойтись улучшением навигации и поиска на сайте невозможно, т.к. посетитель при столь большом объеме информации физически не сможет просмотреть и, соответственно, выбрать более подходящую для него информацию.

Основной недостаток многих СПД, заложенный изначально, – это непонимание психологии пользователя. Каким бы ни был алгоритм рекомендаций, его эффективность зависит только от пожеланий самого посетителя. Согласно выпуску Business 2.0 за август 2000 г., средняя продолжительность просмотра страницы составляет 50 секунд [1], т.е. чтобы убедить посетителя продолжить просмотр и завершить визит заказом, отводится меньше одной минуты. Если персонализации на сайте нет, то пользователь, скорее всего, ограничит свое посещение просмотром текущей страницы. Это еще одна причина, по которой не следует полагаться только на навигацию и поиск для увеличения посещаемости. В том случае, если персонализация на сайте есть, но для доступа к ней необходимо зарегистрироваться и оставить какие-то личные сведения, пользователь уйдет на другой сайт – это сделать проще, чем вводить личную информацию; тем более, если зарегистрироваться не получится с первой попытки.

Таким образом, наличие какой-то персонализации не гарантирует повышения посещаемости. Чтобы персонализация была эффективной, ей необходимо:

- быть удобной в использовании,
- быстро и своевременно реагировать на действия пользователя.
- использовать предыдущую историю поведения посетителя с учетом поведения остальных посетителей.

### **Система персонализации данных (СПД)**

Предлагаемая СПД построена на следующих принципах:

- не требуется регистрации посетителя;
- мгновенная персонализация;
- структурирование товаров по схожим признакам (выполняется администратором);
- использование приоритетов при выводе рекомендуемых товаров;

– просмотренные товары повторно не рекомендуются.

Идея предлагаемой СПД состоит в рекомендации товаров посетителю, который будет просматривать их список в текущем сеансе. При выводе товары ранжируются в соответствии с рейтингом популярности  $R_p$ , который рассчитывается по формуле

$$R_p = CRT * P_c / P_p,$$

где  $CRT$  – так называемый «click ratio», отношение показов к кликам на ссылку товара;

$P_p$  – количество сеансов, в которых была показана ссылка на товар;

$P_c$  – количество сеансов, в которых был произведен клик по ссылке на товар.

Рассмотрим возможные случаи работы СПД:

1. Посетитель зашел на сайт посредством ввода URL в окне браузера или просматривает содержимое рубрик или подразделов сайта, т.е. в данный момент просматривает не товар. В этом случае происходит чередование рекомендаций: посетителю через одного предлагаются товары с наибольшим и наименьшим рейтингом популярности ( $R_p$ ). Благодаря такому подходу происходит постепенное увеличение показов всех имеющихся товаров. Выбор производится из товаров, предложенных администратором сайта.

2. Посетитель просматривает страницу с искомым товаром. В этом случае так же, как и в предыдущем случае, происходит чередование рекомендаций товаров с наибольшим и наименьшим рейтингом популярности  $R_p$  соответственно. Выбор производится из товаров той же группы, что и просматриваемый товар, из числа рекомендованных администратором сайта. И если таковых меньше, чем отведено мест для показа, то эти места заполняются ссылками товаров той же группы, но не предложенных администратором.

СПД начинает работать сразу после входа посетителя на сайт и не требует регистрации.

Использование мгновенной персонализации позволяет удержать посетителя, заинтересовав его товарами, близкими к тематике просматриваемой страницы.

Для оценки предложенного метода СПД используется процент отклика на рекомендуемые товары ( $CTR$ ), определяемый отношением кликов к показам ссылок на товар.

### Результаты эксплуатации системы

Исследование проводилось с 01.12.04 по 05.01.05 на сайте фирмы ООО «Альдера» [7], специализирующейся на продаже стоматологического оборудования. Эффективность предлагаемой СПД оценивалась на основе сравнения основных показателей посещаемости СПД с показателями системы отображения популярных товаров (Топ 10). Рекомендуемые товары и товары Топ 10 выводились сверху и сбоку страницы сайта соответственно.

Т а б л и ц а

### Сравнения основных показателей посещаемости СПД и показателей системы отображения популярных товаров (Топ 10)

Сравнительные коэффициенты	Топ 10	«Ключевое слово»
количество кликов по 10 товарам	443	287
количество показов по 10 товарам	147227	2218
средний показатель CRT по тем же товарам	0,3	12,93

### Вывод

Предлагаемая СПД повышает процент отклика в 43,1 раза по сравнению со списком Топ 10.

### Библиографический список

1. Эффективный Web-сайт: Учеб. пособие. – М.: Изд. ТРИУМФ, 2004. – 560 с.
2. Персонализация сайтов // Мир Интернет. – 2001. – XII(62).
3. Персонализация ресурса Интернет путем формирования психологического портрета посетителя. URL:<http://nit.itsoft.ru/> 26.11.03.
4. О персонализации веб-сайта. URL:<http://www.webmascon.com/> 14.11.2003.
5. Персонализация URL:<http://www.aspect.spb.ru/library/portal/sx/art/255503/cp/1/br/>
6. Персонализированные сайты отпугивают клиентов URL: [http://promo.by/articles/personalization\\_myth.html](http://promo.by/articles/personalization_myth.html).
7. Сайт ООО «Альдера» URL:<http://www.aldera.ru>.
8. Сайт компании «Амазон» URL:<http://www.amazon.com>.

**ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ РЕГУЛЯРНЫХ СИСТЕМ  
ОДНОТИПНЫХ ДВОИЧНЫХ ФУНКЦИЙ, ПОСТРОЕННЫХ С  
ПОМОЩЬЮ ЦИКЛИЧЕСКОГО СДВИГА**

А.В. САРАНЦЕВ, ИКСИ, Москва

В работе рассматриваются вопросы, связанные с классификационными исследованиями биективных преобразований специального вида.

Преобразование пространства  $V_n$  двоичных векторов длины  $n$  может быть задано с помощью системы координатных функций  $(f_1, \dots, f_n)$ . Вычисление образа  $(y_1, \dots, y_n)$  входного вектора  $(x_1, \dots, x_n)$  производится по формуле

$$y_i = f_i(x_1, \dots, x_n), i = 1, 2, \dots, n.$$

В работе [4] для компактной реализации биективных отображений предложено использовать регулярные системы  $(f, gf, \dots, g_{n-1}f)$  булевых функций, порожденных одной базовой функцией  $f$  таким образом, что все координатные функции задаются из исходной с помощью преобразований  $g_1, g_2, \dots, g_{n-1}$ , принадлежащих некоторой группе  $G$ . В этом случае все координатные функции являются представителями классов эквивалентности по группе  $G$  или типов [3]. В работе [4] приводятся результаты классификационных исследований таких функций и порождаемых ими систем с использованием свойств групп преобразований координат двоичных функций. В работе [5] исследуется вопрос построения таких систем функций с помощью преобразования координат, осуществляемого аффинным регистром сдвига.

В настоящей работе рассмотрим частный случай построения регулярных систем однотипных двоичных функций с помощью преобразования циклического сдвига координат порождающей функции.

Пусть  $\sigma: (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow (x_2, x_3, \dots, x_n, x_1)$  преобразование циклического сдвига координат векторов пространства  $V_n$ ,  $f$  – двоичная функция от  $n$  переменных. В представлен-

ной работе исследуются вопросы классификации биективных преобразований вида

$$\langle f; \sigma \rangle = (f, \sigma f, \dots, \sigma^{n-1} f),$$

где  $\sigma f = f(\sigma(x_1, x_2, \dots, x_n)) = f(x_2, x_3, \dots, x_n, x_1)$ .

Опишем алгоритм построения всех регулярных систем вида  $\langle f; \sigma \rangle$ . На предварительном этапе разбиваем все множество векторов пространства  $V_n$  на непересекающиеся орбиты преобразования циклического сдвига  $\sigma$

$$V_n = \coprod_{i \in I} \Delta_i = \coprod_{i \in I} \{ \alpha_i, \sigma(\alpha_i), \dots, \sigma^{|\Delta_i|-1}(\alpha_i) \}.$$

Каждую орбиту  $\Delta$  мощности  $t$  записываем в виде матрицы размера  $t \times n$  и через  $\Delta_i^j$  обозначаем  $i$ -й столбец построенной матрицы.

Теперь, чтобы построить порождающую функцию  $f$  системы  $\langle f; \sigma \rangle$ , сначала для каждой орбиты  $\Delta_i$  мощности  $t$  по перестановке  $s$  на множестве орбит мощности  $t$  выбираем орбиту  $\Delta_{s(i)}$ . Затем полагаем вектор значений функции  $f$  на множестве векторов орбиты  $\Delta_i$ , равным вектору  $(\Delta_{s(i)})_j^j$ , где  $j$  – произвольный столбец матрицы, соответствующей орбите  $\Delta_{s(i)}$ .

Остальные координатные функции системы  $\langle f; \sigma \rangle$  строим из порождающей функции  $f$  циклическим сдвигом ее координат.

Рассмотрим преобразование циклического сдвига  $\sigma$  координат как элемент  $\hat{\sigma}$  группы  $S_{V_n}$  подстановок на векторах пространства  $V_n$ . Через  $N_{S_{V_n}}(\hat{\sigma})$  обозначим нормализатор этого элемента в группе  $S_{V_n}$ , т.е. множество подстановок  $g$  из  $S_{V_n}$  таких, что  $g \cdot \hat{\sigma} = \hat{\sigma} \cdot g$  [2]. Описание элементов

нормализатора  $N_{S_{V_n}}(\hat{\sigma})$  по цикловой структуре подстановки  $\hat{\sigma}$  представлено в работе [1]. Поскольку цикловая структура подстановки  $\hat{\sigma}$  соответствует разбиению пространства  $V_n$  на непересекающиеся орбиты циклического сдвига  $\sigma$ , то множество всех построенных выше систем вида  $\langle f; \sigma \rangle$  совпадает с нормализатором  $N_{S_{V_n}}(\hat{\sigma})$ . Отсюда следует, что построенные системы являются регулярными и образуют подгруппу в группе  $S_{V_n}$ . В частности, преобразование  $\langle f; \sigma \rangle^{-1}$ , обратное к преобразованию  $\langle f; \sigma \rangle$ , может быть представлено в виде  $\langle \varphi; \sigma \rangle$ , где  $\varphi$  – некоторая двоичная функция. Число всех регулярных систем вида  $\langle f; \sigma \rangle$  равно

$$\prod_{d|n} M(d)! d^{M(d)},$$

где  $M(d)$  – число орбит мощности  $d$  преобразования циклического сдвига.

Для проверки регулярности преобразования  $\langle f; \sigma \rangle$  может быть применен критерий Хаффмана [4]. В одной из интерпретаций этого критерия требуется проверить равновероятность любой нетривиальной линейной комбинации координатных функций системы. Для исследуемых систем вида  $\langle f; \sigma \rangle$  такая проверка может быть несколько упрощена.

**Утверждение 1**

Пусть  $V_n = \coprod_{i \in I} \{ \alpha_i, \sigma(\alpha_i), \dots, \sigma^{|\Lambda_i|-1}(\alpha_i) \}$  –

разбиение пространства  $V_n$  на орбиты преобразования  $\sigma$ . Система  $\langle f; \sigma \rangle$  регулярна в том и только том случае, когда функции  $\sigma^{j_1} f \oplus \dots \oplus \sigma^{j_{|\alpha_i|}} f$  равновероятны для всех векторов

$$\alpha_i = \left( 0, \dots, 0, \underset{j_1}{1}, 0, \dots, 0, \underset{j_{|\alpha_i|}}{1}, 0, \dots, 0 \right).$$

**Доказательство**

Любой нетривиальной линейной комбинации  $\sigma^{i_1} f \oplus \dots \oplus \sigma^{i_k} f$  координатных функций преобразования  $\langle f; \sigma \rangle$  поставим в соответствие двоичный вектор

$$\left( 0, \dots, 0, \underset{i_1}{1}, 0, \dots, 0, \underset{i_k}{1}, 0, \dots, 0 \right),$$

содержащий единицы только на местах с номерами  $i_1, \dots, i_k$ . Построенный вектор принадлежит некоторой орбите преобразования  $\sigma$ , поэтому он может быть получен из соответствующего вектора

$$\alpha_i = \left( 0, \dots, 0, \underset{j_1}{1}, 0, \dots, 0, \underset{j_{|\alpha_i|}}{1}, 0, \dots, 0 \right)$$

орбиты посредством циклического сдвига на несколько позиций влево. Поскольку для всех целых  $t$  из равновероятности функции  $\sigma^{j_1} f \oplus \dots \oplus \sigma^{j_{|\alpha_i|}} f$  следует равновероятность функции  $\sigma^t(\sigma^{j_1} f \oplus \dots \oplus \sigma^{j_{|\alpha_i|}} f)$ , то далее справедливость утверждения вытекает непосредственно из критерия Хаффмана.

Таким образом, для построения всех регулярных систем вида  $\langle f; \sigma \rangle$  необходимо создать массив векторов-представителей орбит циклического сдвига и, воспользовавшись предыдущим утверждением, провести классификацию двоичных функций относительно циклического сдвига координат. Такие экспериментальные исследования были проведены для множества равновероятных функций от 3 до 5 переменных без свободного члена в многочлене Жегалкина. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

$n$	Количество классов эквивалентности	Количество классов, порождающих системы вида $\langle f; \sigma \rangle$	Количество классов, не порождающих системы вида $\langle f; \sigma \rangle$
3	13	6	7
4	1629	192	1437
5	60108055	2250000	57858055

Ввиду сложности проверки регулярности системы  $\langle f; \sigma \rangle$  для больших значений  $n$ , возникает прикладная задача описания некоторых классов функций, заведомо порождающих регулярные системы такого вида. В этом направлении видятся два подхода. Первый заключается в «увеличении» группы, по которой проводится классификация порождающих функций. Второй подход состоит в разработке способов построения «новых» систем из регулярных систем, построенных ранее.

В описанной выше классификации равновероятных двоичных функций в качестве группы, по которой проводилось разбиение функций на классы эквивалентности, была выбрана группа  $\langle \sigma \rangle$  преобразований пространства  $V_n$ , порожденная циклическим сдвигом координат векторов. При выборе группы, содержащей группу  $\langle \sigma \rangle$  в качестве подгруппы, требуется, чтобы у построенных классов эквивалентности двоичных функций свойство порождать регулярную систему вида  $\langle f; \sigma \rangle$  было инвариантом класса.

**Утверждение 2**

Пусть  $G$  некоторая группа, содержащая группу  $\langle \sigma \rangle$ ,  $N_G(\langle \sigma \rangle)$  – нормализатор группы  $\langle \sigma \rangle$  в группе  $G$ . Тогда, если система  $\langle f; \sigma \rangle$  регулярна, то для любого преобразования  $g$  из нормализатора  $N_G(\langle \sigma \rangle)$  система  $\langle gf; \sigma \rangle$  является регулярной.

**Доказательство**

Пусть система  $\langle f; \sigma \rangle$  регулярна,  $g$  – произвольное преобразование из нормализатора  $N_G(\langle \sigma \rangle)$ . Рассмотрим действие системы  $\langle gf; \sigma \rangle$  на вектор  $x$  из пространства  $V_n$ . В силу перестановочности элемента  $g$  со степе-

нями преобразования  $\sigma$  справедливы соотношения

$$\begin{aligned} \langle gf; \sigma \rangle(x) &= (f(g(x)), f(\sigma(g(x))), \dots, f(\sigma^{n-1}(g(x)))) = \\ &= (f, \sigma f, \dots, \sigma^{n-1} f)(g(x)) = \langle f; \sigma \rangle(g(x)). \end{aligned}$$

Последние равенства доказывают справедливость утверждения.

Определим действие на пространстве  $V_n$  группы  $GL(n, 2)$  обратимых матриц над полем  $GF(2)$  как умножение матрицы на столбец координат вектора. Тогда, используя изоморфизм группы перестановок координат и группы перестановочных матриц, преобразованию циклического сдвига влево координат векторов пространства  $V_n$  можно поставить в соответствие  $n \times n$  матрицу

$$T = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Нормализатором матрицы  $T$  в группе  $GL(n, 2)$ , как нетрудно проверить, являются обратимые матрицы, каждая строка которых получена циклическим сдвигом вправо предыдущей строки. Таким образом, при построении регулярных систем вида  $\langle f; \sigma \rangle$ , достаточно выбирать функции из класса эквивалентности по группе  $N_{GL(n, 2)}(T)$ .

В ходе экспериментальных исследований проведена классификация по нормализатору циклического сдвига двоичных функций от 3 до 5 переменных без свободного члена в многочлене Жегалкина, которые порождают регулярные системы вида  $\langle f; \sigma \rangle$ . Результаты исследований представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

$n$	Мощность нормализатора $N_{GL(n, 2)}(T)$	Количество классов эквивалентности	Количество классов, порождающих системы вида $\langle f; \sigma \rangle$	Количество классов, не порождающих системы вида $\langle f; \sigma \rangle$
3	3	13	6	7
4	8	865	96	769
5	15	20036053	750000	19286053

Опишем способ построения регулярных систем вида  $\langle f; \sigma \rangle$  из систем, построенных ранее. Поскольку композиция регулярных преобразований есть регулярное преобразование, то для любой регулярной системы  $\langle f; \sigma \rangle$  и обратимой матрицы  $A$  из группы  $GL(n, 2)$  преобразование  $A \circ \langle f; \sigma \rangle$  регулярно. При этом, если в  $i$ -й строке матрицы  $A$  единицы стоят только на местах с номерами  $i_1, i_2, \dots, i_t$ , то  $i$ -я координатная функция преобразования  $A \circ \langle f; \sigma \rangle$  представляет собой линейную комбинацию координатных функций преобразования  $\langle f; \sigma \rangle$  с номерами  $i_1, i_2, \dots, i_t$ . Таким образом, для того чтобы преобразование  $A \circ \langle f; \sigma \rangle$  имело вид  $\langle \varphi; \sigma \rangle$ , необходимо и достаточно выполнение двух требований: во-первых, матрица  $A$  должна быть обратима; во-вторых, каждая строка матрицы  $A$  должна быть получена из предыдущей строки циклическим сдвигом координат вправо.

Представленный способ построения новых регулярных систем функций позволяет в приведенной выше классификации частично «склеить» классы эквивалентности по нормализатору  $N_{GL(n, 2)}(\langle \sigma \rangle)$ . Количественные результаты экспериментальных исследований в данном направлении представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

$n$	3	4	5
Количество классов, порождающих системы вида $\langle f; \sigma \rangle$	6	52	250040

Вернемся к алгоритму построения всех регулярных систем вида  $\langle f; \sigma \rangle$  и рассмотрим структуру построенных порождающих функций.

Для любого  $n$  существует ровно две орбиты преобразования циклического сдвига, мощность которых равна 1. Это орбиты  $\{(0, \dots, 0)\}$  и  $\{(1, \dots, 1)\}$ . Поскольку без ограничения общности достаточно рассматривать только двоичные функции без свободного члена в многочлене Жегалкина [4], то построенные функции принимают значение

0 на векторе  $(0, \dots, 0)$  и 1 на векторе  $(1, \dots, 1)$ . В противном случае порожденные такими функциями системы не будут являться регулярными.

Заметим, что если

$$\Delta = \{\alpha, \sigma(\alpha), \dots, \sigma^{t-1}(\alpha)\}$$

– некоторая орбита мощности  $t$ , то множество векторов

$$\Lambda = \{\overline{\alpha}, \overline{\sigma(\alpha)}, \dots, \overline{\sigma^{t-1}(\alpha)}\},$$

в которое входят отрицания элементов орбиты  $\Delta$ , также является орбитой мощности  $t$ . Последний факт вытекает из равенства

$$\overline{\sigma(\alpha)} = \sigma(\overline{\alpha}).$$

При этом каждый столбец  $(\Lambda)_j^\downarrow$  является отрицанием столбца  $(\Delta)_j^\downarrow$ ,  $j \in \overline{1, t}$ .

Таким образом, инвертирование всех значений, которые функция  $f$  принимает на векторах орбит одинаковой мощности, соответствует перестановке значений функции на векторах этих орбит. При этом возможны два случая. Если векторы значений  $(\Delta)_j^\downarrow$  и  $(\overline{\Delta})_j^\downarrow$  соответствуют орбитам, отличающимся инверсией векторов, то происходит перестановка этих значений. Если же векторы  $(\Delta)_j^\downarrow$  и  $(\overline{\Delta})_j^\downarrow$  являются столбцами одной и той же матрицы, соответствующей орбите, то происходит циклический сдвиг значений функции на этой орбите. Отметим, что в любом из этих случаев возможно получение функции, которая будет лежать в другом классе эквивалентности по нормализатору  $N_{GL(n, 2)}(\langle \sigma \rangle)$  и не может быть представлена в виде линейной комбинации координатных функций системы, порожденных исходной функцией. Это связано с тем, что такое преобразование координатных функций системы не является линейным.

### Пример

Пусть  $n$  четно. Рассмотрим регулярную систему  $\langle x_1; \sigma \rangle$ . Эта система задает тождественное преобразование векторов пространства  $V_n$ . В случае четного  $n$  преобразо-

вание циклического сдвига координат двоичных векторов имеет орбиту  $\Delta = \{(0, 1, 0, 1, \dots, 0, 1), (1, 0, 1, 0, \dots, 0, 1)\}$  мощности 2. Зададим двоичную функцию  $\varphi$  следующим образом

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in \Delta, \\ 0, & \text{если } x \notin \Delta. \end{cases}$$

Из предыдущих рассуждений следует, что система  $\langle x_1 + \varphi; \sigma \rangle$  регулярна. Однако никаким линейным преобразованием координат функция  $\varphi$  не может быть получена из функции  $x_1$ , поскольку их степени нелинейности различны.

Таким образом, классификация двоичных функций, порождающих системы вида  $\langle f; \sigma \rangle$  с точностью до функций-слагаемых, принимающих единичные значения на орбитах циклического сдвига одинаковой мощности, позволяет уменьшить количество классов эквивалентности порождающих функций. При этом сокращение числа классов пропорционально мощности множества таких функций-слагаемых. В частности, в случае простого  $n$ , когда две орбиты циклического сдвига имеют мощность 1, а остальные –  $n$ , количество классов сокращается в два раза. По результатам экспериментальных исследований получено следующее количество классов, порождающих регулярные системы рассматриваемого вида (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

$n$	3	4	5
Количество классов, порождающих системы вида $\langle f; \sigma \rangle$	3	14	125020

Таким образом, проведенные классификационные исследования позволяют выписать представителей классов двоичных функций, порождающих регулярные системы вида  $\langle f; \sigma \rangle$ . Полиномы Жегалкина представителей таких классов функций от 3 и 4 переменных имеют следующий вид.

Для  $n = 3$ :

1.  $x_1$ ,
2.  $x_1 + x_1 x_3 + x_2 x_3$ ,
3.  $x_1 + x_1 x_2 + x_2 x_3$ .

Для  $n = 4$ :

1.  $x_1$ ,
2.  $x_1 + x_1 x_3 x_4 + x_2 x_3 x_4$ ,
3.  $x_1 + x_1 x_2 x_4 + x_2 x_3 x_4$ ,
4.  $x_1 + x_1 x_2 x_3 + x_2 x_3 x_4$ ,
5.  $x_1 + x_1 x_4 + x_2 x_3 + x_1 x_2 x_3 + x_1 x_2 x_4 + x_1 x_3 x_4 + x_2 x_3 x_4$ ,
6.  $x_1 + x_2 x_3 + x_1 x_2 x_3 + x_1 x_3 x_4 + x_2 x_3 x_4$ ,
7.  $x_1 + x_2 x_3 + x_2 x_3 x_4$ ,
8.  $x_1 + x_1 x_4 + x_2 x_3 + x_1 x_2 x_3 + x_1 x_3 x_4$ ,
9.  $x_1 + x_2 + x_1 x_2 + x_1 x_4 + x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_1 x_2 x_3 + x_1 x_3 x_4 + x_2 x_3 x_4$ ,
10.  $x_1 + x_2 + x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_2 x_3 x_4$ ,
11.  $x_1 + x_2 + x_1 x_2 + x_1 x_4 + x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_1 x_2 x_3$ ,
12.  $x_1 + x_2 + x_1 x_2 + x_1 x_4 + x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_1 x_3 x_4$ ,
13.  $x_1 + x_2 + x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_1 x_2 x_4$ ,
14.  $x_1 + x_2 + x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_1 x_2 x_3$ .

В качестве приводимых выше представителей классов выбирались функции, имеющие минимальный номер (где под номером функции подразумевается число, двоичное представление которого совпадает с вектором значений функции).

Работа осуществлена при поддержке гранта Президента РФ (НШ-2358.2003.9).

**Библиографический список**

1. Глухов М.М., Елизаров В.П., Нечаев А.А. Алгебра. Т.1. – М.: Гелиос АРВ, 2003.
2. Каргаполов М.И., Мерзляков Ю.И. Основы теории групп. – М.: Наука, 1972.
3. Никонов В.Г. Классификация минимальных базисных представлений всех булевых функций от четырех переменных // Обозрение прикл. и промышл. матем. Сер. дискретн. матем. – 1994. – Т. 1. – Вып. 3. – С. 458–545.
4. Никонов В.Г., Саранцев А.В. Методы компактной реализации биективных отображений, заданных регулярными системами одностипных булевых функций // Вестник РУДН. Серия прикл. и комп. математика. – Т.2. – № 1. – 2003. – С. 84–95.
5. Саранцев А.В. Построение регулярных систем одностипных двоичных функций с использованием регистра сдвига // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2004. – № 1(32) – С. 164–169.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Р.И. ТЮКАВИН, доц. каф. автоматизации и управления МГУЛ, канд. техн. наук

Электродатные преобразователи механических перемещений (ЭКП) широко используются в системах автоматики. Их разновидностями являются путевые и конечные выключатели, датчики размеров [1]. В системе автоматической стыковки космического корабля «Союз» ЭКП используются для контроля обжатия уплотнения, образования жесткого стыка и др. ЭКП выполняют как измерительную функцию, так и функцию коммутации тока и имеют контактную связь с контролируемым объектом. Исходя из этого, ЭКП должен содержать воспринимающий элемент (В), механизм привода контактов (М), контактный узел (К), выводное устройство (Ш), предназначенное для электрического соединения коммутируемых цепей с системой автоматики. Для образования конструкции ЭКП необходимо ввести связывающие (С) и герметизирующие (Г) элементы. Между элементами имеет место ряд связей – геометрических, кинематических, электрических и др.. Поэтому структура ЭКП может быть представлена в виде ориентированного графа-дерева, у которого вершины – функциональные элементы, а ветви отражают существующие между ними связи. Каждому функциональному элементу, в свою очередь, отвечает граф, вершинами которого являются входящие сборки, детали или их поверхности, а дугами – связи и отношения между ними. Тогда конструкции преобразователя соответствует мультиграф  $G^O(V_O, E_O)$ , являющийся объединением графов функциональных элементов –  $G^B(V, E)$ ,  $G^M(V, E)$ ,  $G^K(V, E)$ ,  $G^{III}(V, E)$ , графа связывающих деталей  $G^C(V, E)$  и графа герметизирующих элементов  $G^F(V, E)$ , т.е.

$$G^O(V_O, E_O) = G^B(V, E) \cup G^M(V, E) \cup G^K(V, E) \cup G^{III}(V, E) \cup G^C(V, E) \cup G^F(V, E).$$

Такое представление конструкции позволяет при анализе работоспособности ЭКП использовать теорию графов [2].

При выборе решения по исполнению конструкции ЭКП следует отдать предпочтение функционально-стоимостному анализу (ФСА). Использование ФСА [3] позволяет принять решение, обеспечивающее заданное качество при наименьших затратах на реализацию изделия. Заметим, что при проведении ФСА необходимо руководствоваться принципами иерархичности, оптимальной детализации, последовательности и приоритетности.

Выходные параметры ЭКП формирует контактный узел, состоящий в общем случае из  $n$  контактных пар. Можно утверждать, что конструкция преобразователя представляет многоуровневую техническую систему, имеющую иерархическое деление с приоритетом контактного узла.

В общем случае контактный узел ЭКП может быть построен на стыковых (разрывных) или скользящих контактах как прямого, так и спускного (мгновенного) действия [5]. Контактные пары прямого действия (КППД) характеризуются скоростью замыкания или размыкания цепи, равной или пропорциональной скорости измеряемого механического перемещения. Им присуща упрощенная конструкция, обычно состоящая из двух-трех контакт-деталей и изолятора. Контактные пары мгновенного действия (КПМД) снабжаются спускным механизмом («ломающийся» рычаг, «прыгающая» пружина и т.п.), обеспечивающим высокую скорость коммутации цепи, практически не зависящую от скорости измеряемого перемещения. Конструкция их усложнена и включает в себя до десятка и более деталей. Наиболее распространены такие узлы под названием микропереключатели [4].

КПМД во многих случаях вытеснили КППД. Это обусловлено их стойкостью к электрической эрозии и повышенным качеством коммутации токов и напряжений дугового диапазона.

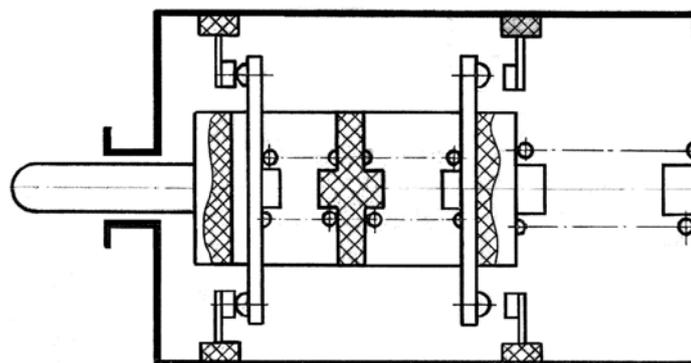


Рис. 1. Конструктивная схема ЭКП на стыковых контурах прямого действия

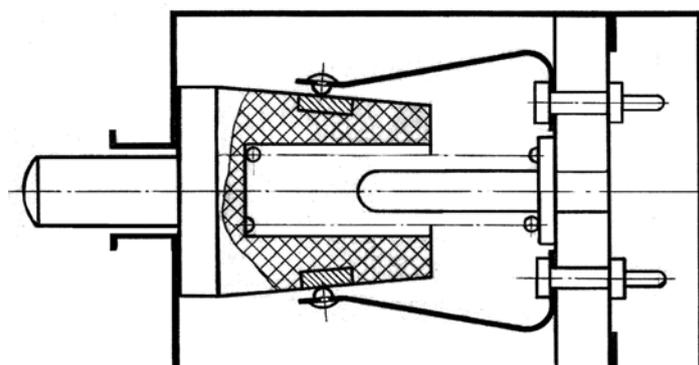


Рис. 2. Конструктивная схема ЭКП на скользящих контактах прямого действия (вар. 1)

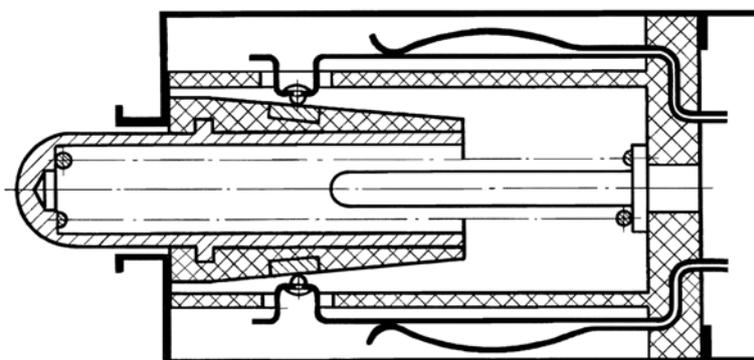


Рис. 3. Конструктивная схема ЭКП на скользящих контактах прямого действия (вар. 2)

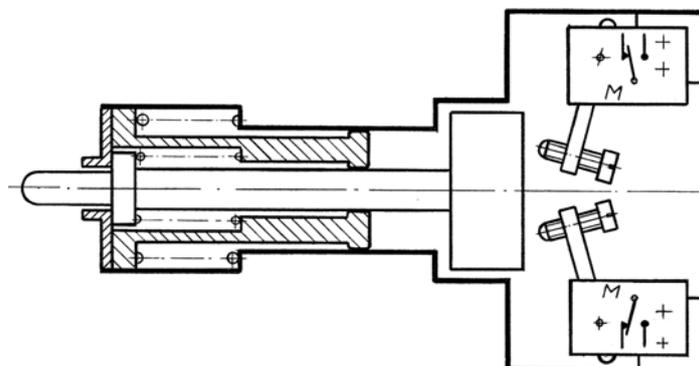


Рис. 4. Конструктивная схема ЭКП на микропереключателях, разработанная в США

В то же время при коммутации малых уровней тока их ресурс меньше ресурса пар прямого действия в связи с наличием механических ударов контакт-деталей. Ресурс КППД, как правило, ограничен сотнями тысяч включений, а ресурс КППД – несколькими миллионами срабатываний. Можно утверждать, что контактные узлы на КППД при коммутации малых уровней тока (до предела дугообразования) позволяют обеспечить значительно больший ресурс – на порядок и более, чем узлы на КППД.

Следует отметить, что для КППД характерны повышенная точность (стабильность) коммутации по перемещению (до долей микрометра), отсутствие дифференциального хода. Считаю необходимым подчеркнуть, что перенапряжения в электрической цепи при высокой скорости коммутации сравнительно велики и в ряде случаев могут быть опасными для микросхем. Это может быть ограничением использования КППД в слаботочных цепях электронной техники.

Если провести сравнение характеристик стыковых и скользящих контактных пар (СКП), то нельзя не отметить следующее: СКП обладают свойством самозачищаемости при замыкании, требуют меньших механических усилий для привода, резко упрощают конструкцию ЭКП. При использовании СКП отпадает необходимость в механизме привода контактов, т.к. скользящая пара уже и есть преобразователь перемещений с практически неограниченным дополнительным ходом после коммутации цепи. При применении СКП, для которых всегда характерно касание щеток, упрощается обеспечение виброустойчивости ЭКП в широком диапазоне частот возмущений.

Однако остается проблема ресурса СКП. Величина ресурса определяется уровнем износостойкости примененной пары материалов при выбранных контактных нагрузках. В настоящее время не составляет проблемы обеспечение ресурса, равного нескольким

сотням тысяч коммутаций. Для обеспечения нескольких миллионов коммутаций требуется применение пары материалов, обладающих свойством антифрикционности, а также снижение контактных нагрузок.

Отметим также, что свойство самозачищаемости СКП позволяет гарантировать практически неограниченный срок сохранения ЭКП. В ряде случаев это преимущество является определяющим.

Для иллюстрации апробированных конструктивных схем ЭКП на рис. 1 приведена схема с КППД на стыковых контактах, а на рис. 2 и 3 приведены конструктивные схемы с КППД на скользящих контактах.

Если провести функционально-стоимостный анализ с использованием положительно-отрицательных матриц [3], то можно констатировать, что многоцепевые ЭКП наиболее эффективно решаются на СКП.

На рис. 4 приведена конструктивная схема ЭКП, разработанная в США, для системы стыковки космического корабля «Apollo».

Оригинальная малогабаритная конструкция ЭКП, обладающая повышенным уровнем безотказности в эксплуатационных условиях транспортных средств и космической техники, описана в литературе [6].

#### Библиографический список

1. Марков Н.Н., Машинистов В.М., Этингоф Н.И. Электроконтактные датчики для линейных измерений. – М.: Машиностроение, 1969. – 244 с.
2. Применение теории графов связей в техники/ Под ред. Д. Кермона, Р. Розенберга.– М.: Мир, 1974.– 105 с.
3. Моисеева Н.К. Выбор технических решений при создании новых изделий.– М.: Машиностроение, 1980.– 205с.
4. Михеев М.В. Микропереключатели. Выбор и монтаж.– М.: Машиностроение, 1975.– 52 с.
5. Смирнов В.И., Матта Ф.Ю. Теория конструкций контактов в электронной аппаратуре.– М.: Сов. радио, 1974.– 176 с.
6. Тюкавин Р.И., Собакина Г.Т. Измерительный преобразователь линейных перемещений. Патент РФ № 2201003. 20.03.2003. Бюллетень № 8.

## НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ XXII ВСЕМИРНОГО КОНГРЕССА ИЮФРО

В.К. ТЕПЛЯКОВ, *член исполнительного совета ИЮФРО,*  
В.С. ШАЛАЕВ, *проректор МГУЛ по международным связям*

В г. Брисбен (Австралия) в период с 7 по 13 августа 2005 года состоялся XII Всемирный конгресс Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). От Московского государственного университета леса в работе конгресса принимала участие делегация из пяти человек во главе с ректором вуза профессором Санаевым Виктором Георгиевичем, при этом от Российской Федерации в целом участвовало всего 7 делегатов

В работе XII Всемирного конгресса ИЮФРО приняло участие свыше 2 тысяч представителей из 96 стран мира, было представлено в той или иной форме более 1400 докладов, в том числе 18 докладов российских ученых. Среди докладчиков были представители Института леса Сибирского отделения РАН, Уральского государственного лесотехнического университета, некоторых других российских научных организаций. Ученые Московского государственного университета леса (МГУЛ) представили 6 докладов, при этом два из них, единственные от России, были сделаны на уровне межпленарных заседаний.

Еще в процессе подготовительной работы, анкетирования организаций и ученых, участников ИЮФРО были выявлены, а в процессе работы конгресса подтверждены исследовательские приоритеты, важнейшие для мировой лесной науки. При этом наблюдаются весьма интересные изменения в числе этих приоритетов. Если за прошедшие 10 лет важнейшими исследовательскими приоритетами были: выбросы в атмосферу; биоразнообразие; естественная динамика леса и лесовосстановление; лесная техника и технология; генетика; устойчивое лесопользование и сертификация и качество древесины, то в настоящий период это: агролесоводство; изменения климата; углеродный баланс; лесовосстановление; лесные плантации; лесная политика и государственное управление лесами; устойчивое использова-

ние древесины и недревесных ресурсов леса, а также потребление древесины. Другие интересные данные этого исследования приведены в Приложении 1.

Необходимо указать, что на двух заседаниях Международного совета были приняты важные решения по руководящему составу ИЮФРО на период 2005–2010 гг. Президентом Международного союза лесных исследовательских организаций избран Дон Ку Ли (Don Koo Lee) из Республики Корея вице-президентами: Джон Иннес (John Innes) из Канады и Нильс Элсерс Кох (Niels Elers Koch) из Дании.

В состав нового Совета избраны соответственно координаторы отделений:

1. Лесоводства – Бьерн Ханелл (Bjorn Hanell) из Швеции;
2. Физиологии и генетики – Бейлиан Ли (Baillian Li) из США;
3. Лесохозяйственной деятельности и технологии – Ханс Хайниман (Hans Heinimann) из Швейцарии;
4. Инвентаризации, выращивания леса и лесохозяйственных наук – Маргарита Томэ (Margarida Tome) из Португалии;
5. Лесной продукции – Кэти Ванг (Kathy Wang) из Тайбея;
6. Социальных, экономических, информационных и политических исследований – Пери Браун (Perry Brown) из США;
7. Состояния лесов – Майк Вингфилд (Mike Wingfield) из Южной Африки;
8. Лесной экологии – Алекс Мосселер (Alex Mosseler) из Канады.

В качестве генеральных членов в состав Совета избраны:

- Мохаммед Эллатифи (Mohammed El-latifi) из Марокко;
- Витор Хоуфлич (Vitor Hoeflich) из Бразилии;
- Роберто Ипинза (Roberto Ipinza) из Чили;
- Су Си Ли (Su See Lee) из Малайзии;
- Широнг Лью (Shirong Liu) из Китая;

Тохру Накашизука (Tohru Nakashizuka) из Японии;

Петр Паскалис-Якубович (Piotr Paschalis-Jakubowicz) из Польши;

Виктор К. Тепляков (Victor K. Teplyakov) из России.

Местом проведения очередного XXIII Всемирного конгресса ИЮФРО в результате оживленной дискуссии выбран г. Сеул, столица Южной Кореи.

На конгрессе были приняты две резолюции: «Содействие всемирному сотрудничеству в области лесных исследований» и «Повышение роли науки в принятии решений» (Приложение 2), которые практически отразили современное состояние лесной науки в мире и определили возможные стратегические направления ее развития в будущем, ориентируя на более прикладной характер.

Участие представителей России в работе прошедшего Мирового конгресса ИЮФРО позволяет сделать некоторые выводы:

– Научные исследования в России пока остаются на среднемировом уровне, что отражает большой запас прочности, созданный в прежние десятилетия. Без принятия надлежащих мер Россия в ближайшем будущем может полностью утратить свои позиции, в том числе в областях, где она остается лидером.

– Недостаточное участие России в работе такого значимого для международного лесного научного сообщества события, как Мировой конгресс ИЮФРО. От России в работе участвовало лишь 7 человек, было заявлено лишь 18 докладов из 1400, причем большинство докладов российских участников представлено при финансовой поддержке других государств. Подобное участие России в деятельности ИЮФРО в целом и в работе прошедшего Мирового конгресса ИЮФРО, в частности, все в большей мере усиливает международное общественное мнение о нашей стране как о сырьевом приложении технологически развитых стран, не имеющей своего научного лица в мировом лесном сообществе.

– На конгрессе не было ни одного доклада и участника от отраслевой науки.

При этом следует иметь в виду: в деятельности прошедшего конгресса принимали активное участие и официальные представители ведущих лесных служб мира: США, Австралии, Кореи, Швеции, Канады и др., при участии которых формируются официальная политика в отношении нашей страны.

– Необходима поддержка научно-исследовательских и других учреждений Федерального агентства лесного хозяйства по вступлению в Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО).

– Необходимо усиление подготовленности в знании иностранных языков (в первую очередь, английского) ученых и специалистов учреждений и организаций Федерального агентства лесного хозяйства. Это возможно обеспечить, используя потенциал ведущих лесных вузов, и в первую очередь – базу МГУЛ.

– Целесообразна подготовка межведомственной программы международного сотрудничества в направлении решения проблем, связанных с лесом.

– Очевидно, необходимо заблаговременное планирование участия России, формирование делегации и поддержка участия представителей России на соответствующих конгрессах ИЮФРО.

### **Приложение 1. Исследование ИЮФРО о будущем лесной науки**

Сформулированные мировым лесным научным сообществом будущие исследовательские приоритеты лежат в области адаптации лесов к климатическим изменениям; биотехнологий; взаимосвязи леса и ландшафта, леса и воды; проблемы ГМО (генетически модифицированных организмов); сокращения нелегальных лесозаготовок; рекреации и оценки недревесных ресурсов леса, а также социальной сферы, включая гендерные вопросы, проблемы обеспечения рабочих в лесу, коммуникации. В лесных исследованиях все чаще появляются новые названия: природные ресурсы, окружающая среда, которые подчас подменяют собственно понятие науки о лесе.

Как показали исследования, движущими факторами в выборе приоритетов лесных научных исследований являются:

- научные результаты (66 %);
- национальная политика (46 %);
- интересы руководителей (35 %);
- внешняя политика (33 %);
- интересы (21 %);
- другие факторы: влияние глобализации рынка, общественное мнение.

Многие ученые (72 %) считают, что роль ИЮФРО для них остается весьма значительной, высоко оценивая сотрудничество (73 %). Тем не менее, лесные институты в широком смысле слова хотят сохранить свою самостоятельность и развивать собственную научную базу, поскольку лишь чуть более четверти (27 %) из них хотели бы объединиться с другими институтами. Это в значительной степени обусловлено изменениями условий финансирования лесных исследований с общей тенденцией его сокращения. В частности, национальные бюджеты разных уровней составляют 53 % в общем объеме финансирования, частные национальные структуры – 17 %, международные государственные средства (в основном, гранты) – 15 % и частные – 9 %.

Большое внимание уделяется междисциплинарным исследованиям и интеграции науки. Например, лесные науки развиваются в партнерстве с экосистемными исследованиями и науками об окружающей среде, генетикой, почвоведением, древесиноведением, политическими науками. Очень широко используются методы и средства моделирования и компьютерных технологий.

По прогнозу, среди будущих партнеров лесных исследований можно назвать агролесоводство, биотехнологии, науки об окружающей среде, науки о здоровье, экономические, социальные и политические науки.

Авторы исследования делают выводы о том, что:

- исследовательские приоритеты за последние 10 лет имели тенденцию к изменению от технических направлений к направлениям в области окружающей среды;
- в будущем ожидается повышение внимания к социальным направлениям;
- инфраструктура и тенденции финансирования в области лесных исследований различны;

- во многих странах происходит уменьшение национального государственного финансирования, хотя большинство идентифицирует государственное финансирование в качестве главного источника финансирования;
- роль ИЮФРО для сотрудничества оценивается, скорее, позитивно.

## Приложение 2. Брисбенские резолюции

### XXII ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС ИЮФРО

8–13 августа 2005, г. Брисбен, Австралия

#### РЕЗОЛЮЦИЯ 1: СОДЕЙСТВИЕ ВСЕМИРНОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ В ОБЛАСТИ ЛЕСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

XXII Всемирный Конгресс ИЮФРО «Леса в равновесии: связывая традиции и технологии» дал уникальную возможность предоставить результаты коллективных исследований в мире, касающихся лесов и деревьев.

Конгресс определил ряд вопросов, исследование которых может оказать значительную помощь в лучшем понимании лесных проблем, включая достижение сбалансированных подходов к охране леса и устойчивому лесопроизводению; адаптацию лесов к изменениям климата; использование генетических ресурсов и биотехнологий для дальнейшего устойчивого управления лесами; вовлечение представителей коренных народов в лесную науку и лесное хозяйство; повышение ценности лесов и лесной продукции посредством введения новых технологий; а также роль образования, общения и создания потенциала для обеспечения лесам устойчивого будущего.

Руководствуясь желанием обратиться к этим и другим проблемам и укрепить в будущем ИЮФРО как дом для ученых и исследовательских институтов, работающих в лесной области, включая и существующие вне сети ИЮФРО, ИЮФРО и его члены будут работать, чтобы:

- 1) обеспечить улучшенную тематическую структуру и гибкие механизмы внутри нашей организации, что позволит обращаться к ключевым проблемам и реагировать на исследовательские вопросы, которые возника-

ют в результате постоянных изменений в обществе и в глобальной окружающей среде;

2) *продолжать гарантировать* соответствие нашей научной работы высшим стандартам качества;

3) *укрепить* участие ученых и исследовательских институтов развивающихся стран и стран с переходной экономикой в деятельности ИЮФРО, а также помогать развивать способности ученых и исследовательских институтов;

4) *активно распространять* гендерное и культурное разнообразие ИЮФРО, поддерживать и вовлекать женщин, молодых ученых и студентов для участия в деятельности ИЮФРО;

5) *расширить* наше сотрудничество с учеными и исследовательскими институтами, работающими по другим научным дисциплинам, но пересекающимися с лесной наукой;

6) *более активно демонстрировать* научным и образовательным сообществам наши научные открытия;

7) *тщательно следовать* стратегии ИЮФРО на 2006–2010 годы, где ИЮФРО обозначена как истинная глобальная сеть знаний и сотрудничества в области лесной науки.

## РЕЗОЛЮЦИЯ 2: ПОВЫШЕНИЕ РОЛИ НАУКИ В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

XXII Всемирный Конгресс ИЮФРО отметил, что, несмотря на научные достижения, понимание динамики лесных экосистем и их взаимодействие с постоянно изменяющимися человеческими потребностями и всемирным развитием, как, например, рост населения, миграция, урбанизация, изменения технологий и климата, является неполным. Таким образом, существует потребность в усовершенствовании научных знаний в лесной области.

Тем не менее, статус и способности традиционных лесных исследовательских институтов и университетов, а также средства, доступные для проведения лесных исследований, снижаются во многих странах, особенно в результате изменения приоритетов как политиков и лиц, принимающих решения, так и доноров.

Поэтому важным является то, что в будущем ресурсы, вложенные в науку и технологию, будут главным образом инвестициями в лесное социо-экономическое развитие и в сохранение лесов как естественных жизнеподдерживающих систем для настоящего и будущего поколений.

Руководствуясь желанием предоставить соответствующую научную информацию и совет политикам и лицам, принимающим решения, ИЮФРО и его члены будут работать, чтобы:

1) *улучшить* обеспечение политиков и лиц, принимающих решения, а также другие заинтересованные группы, включая частный сектор, результатами исследований соответствующих лесных проблем и поощрять их к более правильному применению научных результатов;

2) *прикладывать больше усилий* для того, чтобы переводить результаты исследований лесного научного сообщества на язык, более понятный политикам и другим группам;

3) *повышать* наш вклад в международные процессы и конвенции, такие, как Форум ООН по лесам, Конвенция по биологическому разнообразию, Рамочная конвенция ООН об изменении климата, Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием, в числе прочих, посредством активного вовлечения в Партнерство по лесам;

4) *способствовать* возможному учреждению совещательного органа в международных процессах и конвенциях с особой целью – давать научные советы по вопросам, касающимся леса, подобно Межправительственной комиссии по изменению климата;

5) *продолжать развивать* партнерство и сотрудничество с международными организациями;

6) *способствовать* достижению целей развития тысячелетия посредством сотрудничества, развития способностей и образовательной деятельности, направленных на снижение бедности и улучшение жизни людей, зависящих от леса, а также направленных на обеспечение устойчивого состояния окружающей среды.

**ШИПОВ ЛЕС  
(В СЕМЬЕ ЛЕСНИЧЕГО)**

**(к 100-летию со дня рождения выдающегося российского математика  
Сергея Михайловича Никольского)**

С.И. ФОМИНЫХ, *проф. каф. математики и информатики РУДН*



С.М. Никольский:

«Я не думал жить сто лет... Так получилось!».

На торжественном приеме в Российском университете дружбы народов, посвященном 100-летию со дня рождения академика С.М. Никольского (фото В. Карасева)

**В** двухстах километрах к востоку от Екатеринбурга и в сотне километров западнее Тюмени, на правом берегу Пышмы, текущей в Обь, располагается районный центр Свердловской области Талица с двадцатитысячным населением. В водолечебнице озера Маян здесь разливают лечебную воду «Талицкая». Основана Талица в 1732 году как поселок на дороге в Сибирь. В начале прошлого века этот городок относился к Пермской губернии, назывался Завод Талица...

В этих краях родился и провел свое детство будущий академик Сергей Михайлович Никольский.

Его отец, Михаил Дмитриевич Никольский, закончил в 1896 году Санкт-Петербургский лесной институт, в 1899 году защитил выпускную работу «Охранение частных лесов, кроме защитных и водоохранных, признанных таковыми законом 4 апреля 1888 года» (его имя дважды упоминается в книге, посвященной столетнему юбилею вуза), и после этого прожил в Талице с молодой женой семь лет и нажил четверых детей, младший из них – Сережа – родился в 1905 году. Потом появилось еще двое детей. Это была самая счастливая пора в их жизни.

В 1906 году Михаил Никольский получает повышение: его назначили лесничим Щebro-Ольшанского лесничества Суволокской губернии на границе с Пруссией (теперь это Польша).

Михаил Дмитриевич Никольский вошел в корпус лесничих – Российскую лесную номенклатуру. По чиновничьему табелю лесничий – надворный советник. Лесник, подходя к лесничему, вытягивался «во фронт» и начинал рапорт: «Здравия желаю, Ваше высокоблагородие! У меня в обходе все благополучно.» Обычно выяснялось – не все благополучно. Лесничий был большой начальник, в его подчинении было несколько помощников, но финансами он распоряжался только сам.

Его служба была почетна, но небезопасна. Лес в те времена продавался с торгов (аукциона). Покупатели – помещики, торговцы лесом, зажиточные крестьяне. После

торгов ящик с деньгами под охраной везли в город в банк. Нередки были нападения грабителей. Так, в 1905 году у Борисоглебска убили лесничего Григория Корнаковского.

Детство Сергея прошло среди лесов и полей в играх с польскими деревенскими мальчишками. В восемь лет его отдали в подготовительный класс гимназии в губернском городе Сувалки.

В августе 1914 года грянула война. Жили Никольские в двадцати километрах от германской границы. Лесничий М.Д. Никольский отправил семью в Чернигов, где Сергей продолжил обучение в гимназии, а сам оставался на прежнем месте, пока лесничество не заняли немцы (через два месяца после начала войны).

После революции Лесное управление советского Наркомзема назначило Михаила Дмитриевича лесничим Шиповского опытного лесничества на юге Воронежской губернии. Севернее Шипова леса располагался Хреновский бор. В обоих лесах почти одновременно было заложено лесное опытное дело.

Управление Шиповского опытного лесничества располагалось в поселке станции Красный Кордон Павловского уезда. Там были канцелярия, дом лесничего в восемь комнат с большой усадьбой, садом, огородом, казенные дома с усадьбами двух помощников лесничего, двух объездчиков и нескольких лесников. К лету 1918 года семья переехала с Украины в Красный Кордон. Переезд оказался очень сложным: Украина тогда была оккупирована немцами, а сам переезд оказался возможным лишь потому, что начал действовать «Брестский мир».

Шипов лес – это знаменитый дубовый лес (трехсотлетние дубы), использованный Петром Великим для строительства кораблей перед походом на Азов. При постройке российского флота лесов в Черноземье было вырублено очень много – экологическая катастрофа, сказали бы мы сейчас.

В Шиповом лесу дубы стоят вытянутые вверх, как мачты в полтора обхвата. Кроме дубов, растут там еще и ясени – тоже весьма ценная порода.

Петр I привез из Орловской губернии крестьян, сделал их государственными крепостными, дал им землю. Они возделывали ее для себя, но несколько дней в неделю работали в лесу на царя. Лес сплавляли по Осереде к Дону на корабельные верфи Павловска.

При Петре I Шипов лес был в основном вырублен. Дубы – не сосны и не ели: из срубленного пня немедленно вырастает десяток ветвей (поросль), соревнующихся друг с другом. Обычно остается одна, бывает, две. Постепенно вырастает дерево, несколько искривленное в основании. Конечно, вырастают дубки и из упавших желудей, но таких мало.

После Петра I вырос в основном порослевый лес. В начале XIX века, примерно в период Отечественной войны 1812 года, Шипов лес снова вырубался. И опять новый лес оказался порослевым. Чтобы выросли семенные дубки, нужна помощь человека.

Существует легенда. Петр стоял на высокой горе, сзади – могучий дубовый лес, впереди внизу – луговая долина Осереде. «Сие место красное есть!» – воскликнул царь. С тех пор это место стали называть Красным. Образовался поселок Красный Кордон, затем станция Красный Кордон, занимавшая видное место в поселке.

Это была крупная метеостанция, систематически передававшая сведения о погоде в Центральное метеобюро при Главной физической обсерватории. Барометры, барограф, термограф, психрометр, максимальные и минимальные термометры (надпочвенный, разной глубины почвенные), анемометр, дождемер, гелиограф и другие приборы...

Метеостанция организована предшественником Михаила Дмитриевича, тоже питомцем Петербургского лесного института, ученым-лесоводом первого разряда Владимиром Ивановым. Энергичный лесовод, умевший добывать средства для опытного лесного дела, проработал в Красном несколько лет. Посчитав свою жизнь на кордоне с приходом революции небезопасной, он уехал в Воронеж, стал профессором лесного института. В сталинские времена был репрессирован...

Когда семья Никольских летом 1918 года приехала на Красный Кордон, все было мирно и благополучно. Разместились в огромном барском доме. Рядом был запущенный сад, огород и поле. Поле было отдано в пользование крестьянам. Половину урожая они оставляли себе, другую – Никольским. Из него в русской печке пекли чрезвычайно вкусные ржаные хлеба.

Метеонаблюдения велись на метеостанции и на лесосеках днем и ночью. Некоторые приборы располагались на вышке над лесом. Для наблюдений постоянно требовалось трое наблюдателей. Приезжали на практику студенты из Воронежа, работали и дети Никольских, в том числе и Сережа. Когда не было наблюдателей, М.Д. Никольский шел снимать показания сам. В семь утра, в час дня и вечером в одиннадцать. Не было случая пропуска наблюдений или нарушения сроков...

В начале октября 1918 года из Донской области подошла армия П. Краснова. Белые медленно приближались к Пузеву. На следующий год пришли войска А. Деникина...

Лето 1920 года было на редкость жаркое, засушливое, назревал голод. Для Никольских это было тревожно. Лесники имели коров, но посева уже не стало, огород погиб. Запущенный сад в это лето дал большой урожай. Еды было мало, и дети «налегали» на незрелые яблоки. В сад стали забираться чужие. Чтобы спасти урожай, его ночью охраняли по очереди. С девяти до одиннадцати ходил по саду тринадцатилетний Петя, потом до часу ночи Сергей. Старший Сережин брат Константин (ему было 17 лет) ходил по большому саду с часу ночи до трех, потом с трех до пяти утра дежурил сам Михаил Дмитриевич.

Так продолжалось неделю. Первым заболел Петя. Сережу послали через лес в соседнее Воронцовское лесничество, где жила студентка – будущий медик. Но помочь было невозможно – холера. Утром Петя умер. На другой день заболел Костя – и тоже наутро умер. Третьим сильной дифте-

рией заболел Сергей. Обошлось. Теперь семья Михаила Никольского на Красном Кордоне состояла только из четырех человек. Сережиной сестренке Леле было восемь лет. Старшие сестры, Катя и Надя, учительствовали в другом месте.

Сергей полностью обслуживал метеостанцию, каждую ночь залезая на вышку, которая находилась в лесу. Кроме этого, он обрабатывал данные, которые отправлял в центр, – да, это была настоящая «научная» работа. А потом еще помогал отцу в канцелярских делах – писарь ушел в армию.

С едой становилось все хуже. В муку добавляли молотые желуди, пекли лепешки. Единственное, с чем не было проблем, – дрова. Дубовые, жаркие. Опять проблема – рубить и пилить их при плохом питании было трудно.

В 1920–21 годах поселок заметно пустел. Студенты на практику уже не приезжали.

На дальнем крае лесничества на базе обширных садов, принадлежавших до революции помещикам, организовали Ливенский совхоз. Заместителем директора стал бывший владелец одного из садов помещик Иван Трушин. Узнав о материальных затруднениях в семье Никольских, Трушин пригласил Сергея работать в совхозе, где он мог получать питание. Отец отпустил сына. Сережа стал работать помощником садовника, а позже оказался и помощником директора.

Когда Сергей жил в совхозе, он каждую субботу ходил лесом за девять километров домой. Он находил время заниматься физикой и математикой (на Красный Кордон Сережа приехал после четырех классов гимназии). Ему помогал отец, окончивший реальное училище и лесной институт (там был курс высшей математики).

В дом Никольских несколько раз наведывались бандиты из леса, злобно разговаривали с Михаилом Дмитриевичем, потребовали открыть железный шкаф, забрали кольт, но ничего не грабили.



«Идеальный дуб» Шипова леса. Академик РАН В.А. Ильин, академик РАН С.М. Никольский, профессор Воронежской технологической академии Л.Н. Ляхов (начало 90-х гг.) (фото Н. Быкова)

Однажды отец приехал в совхоз к сыну. Был мрачен. Говорил, что в уездном Павловске ему рекомендовали временно не жить на кордоне. Михаил Никольский не мог представить, как это он оставит на произвол судьбы метеостанцию. Не знал, что этим он ее все равно не спасет. Больше всего беспокоило его то, что сын не получает образования. Договорился с директором Павловской семилетней школы, что Сергей приедет сдавать экзамены экстерном. Окончание семилетки в то время было достаточно престижно.

Это было последнее свидание отца с сыном...

В яркий солнечный день к дому лесничего из леса подъехала тачанка с вооруженными людьми. Застав лесничего, потребовали открыть железный шкаф, забрали на этот раз все деньги. Забрали все: одежду, обувь, у Людмилы Михайловны Никольской выкрутили с пальца золотое кольцо. Михаила Дмитриевича схватили, увезли в лес по боковой тропе. Все жители поселка немед-

ленно уехали из Красного Кордона. В Пузеве в это время прибыли войска ЧК. Начальнику доложили о происходящих событиях, но он не решился послать солдат на поиски бандитов...

Бандиты привезли Михаила Дмитриевича на поляну, повели к краю оврага, раздели и отрубили голову. Потом вернулись на метеостанцию, разбили все приборы, разорвали и рассыпали записи... Так бандиты мстили Советской власти, не представляя, что уничтожают народное достояние...

Сергей Никольский сдал экзамены, получил документы об окончании семилетней школы и вскоре с матерью и младшей сестрой уехал в Чернигов. Старшие сестры уже учительствовали в этом городе. Сергей Михайлович не стал лесоводом, он выбрал путь ученого-математика. Но всегда вспоминает Шипов лес.

Метеостанция так и не была восстановлена. Люди, убившие Михаила Никольского, навсегда уничтожили и его метеостанцию...



Шипов лес (фото Н. Быкова)

В тридцатых годах прошлого века была издана книга «Шипов лес». В ней собраны подробные количественные данные по годам о посадках в Шиповом лесничестве. Особо отмечаются небольшие участки леса, где растет прекрасный сплошь семенной дубовый лес.

По инициативе профессора Михаила Вересина и директора Воронцовского лесхоза Николая Быкова установлен памятный знак на месте гибели М.Д. Никольского. Под руководством начальника Воронежского лесного хозяйства Владимира Горохова и Николая Быкова из Павловских каменных карьеров в лес была перевезена трехтонная гранитная глыба. На мраморной доске высечены слова: «Здесь был убит в июне 1921 года бандитами-контрреволюционерами лесничий Шиповского лесничества Михаил Дмитриевич Никольский».

Памятник стоит на бойкой лесной дороге, в двухстах метрах от места убийства. В километре от этого места – дуб, специально

отмеченный как самый замечательный, «идеальный дуб» Шипова леса. Туда постоянно приезжают экскурсанты, останавливаются они также и у памятника, официально открытого летом 1988 года.

У профессора М. Вересина, который, как ученый, тоже любил лес, есть статья в «Лесном журнале», посвященная деятельности М.Д. Никольского и его гибели в Шиповом лесу.

Для Сергея Михайловича его отец – вечный, непререкаемый авторитет. Ему иногда кажется, что отец не одобрил бы иные его действия и поступки... На самом деле русский ученый лесничий-лесовод и метеоролог Михаил Дмитриевич Никольский, если бы был жив, гордился бы своим замечательным сыном, выдающимся русским ученым, математиком-педагогом.

Став студентом Екатеринославского института народного образования (ныне Днепропетровский университет), Сергей Михайлович Никольский избрал для обучения физико-математический факультет, позже – его математическое отделение. Преподавал математику и физику на вечернем рабочем факультете. С 1930 года Сергей Никольский – ассистент университета. Как лучший лектор, с 1932 года заведует кафедрой математики транспортного института, работает также в горном и фармацевтическом институтах Днепропетровска.

В научную работу Сергея Никольского вовлек академик Андрей Николаевич Колмогоров, приезжавший из Москвы вместе с академиками Павлом Сергеевичем Александровым и Иваном Георгиевичем Петровским для чтения лекций. В 1934–1935 гг. в МГУ им. М.В. Ломоносова С.М. Никольский защитил кандидатскую диссертацию в области функционального анализа. Возвратившись в Днепропетровск, он заведовал кафедрой теории функций. В декабре 1940 года прошел по конкурсу в докторантуру Математического института имени В.А. Стеклова АН СССР, а в январе 1942 года защитил докторскую диссертацию «Приближение периодических функций многочленами».

Профессору С.М. Никольскому принадлежат фундаментальные результаты в области функционального анализа, теории приближения функций, теории вложения функциональных пространств, теории квадратурных формул и вариационных методов решения дифференциальных уравнений с частными производными. Эти результаты нашли многочисленные приложения в вычислительной и прикладной математике. Его исследования по теории линейных операторов, выполненные в тридцатых годах прошлого века, положили начало яркому направлению функционального анализа. Глубокие работы Сергея Никольского по теории приближения функций содержат решения труднейших проблем поиска асимптотически точных оценок приближения функций тригонометрическими и алгебраическими многочленами. Ряд работ академика С.М. Никольского относится к теории дифференцируемых функций многих переменных и приложениям к решению уравнений в частных производных. Он впервые получил взаимнообратимые теоремы вложения. Профессор С.М. Никольский обосновал решение вариационным методом краевой задачи уравнений, выходящих за рамки уравнений гипоеллиптического типа. Он создал теорию наилучших квадратурных формул для классов функций, получив точные оценки для ряда случаев...

После защиты докторской диссертации С.М. Никольский остался работать в Математическом институте, здесь он трудится по сей день.

В 1947 году С.М. Никольский приходит на работу на кафедру высшей математики Московского физико-технического института (в 1953 году заведующий этой кафедрой); профессором этой кафедры он является и сейчас.

Сергей Михайлович Никольский – действующий профессор механико-математического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Академик С.М. Никольский – один из организаторов и главный редактор Реферативного журнала по математике, член ред-

коллегий многих отечественных и зарубежных математических журналов, был председателем и членом Высшей аттестационной комиссии СССР, заместителем председателя Национального комитета советских математиков, председателем секции средней школы научно-методического совета по математике Министерства образования Российской Федерации. Академик РАН Сергей Никольский – иностранный член Венгерской и Польской академий наук. Сергей Михайлович – почетный доктор и профессор Днепропетровского государственного университета, Московского физико-технического института (государственного университета), заслуженный профессор МГУ им. М.В. Ломоносова, почетный доктор Киевского национального университета им. Тараса Шевченко.

В 1968 году С.М. Никольский был избран членом-корреспондентом, а в 1972 году – действительным членом Академии наук СССР. Он является лауреатом Государственной премии СССР (1952, 1977, 1987), премии Правительства Российской Федерации (2003), Государственной премии Украины (1994), награжден Золотой медалью имени академика И.М. Виноградова АН СССР (1991), Золотой медалью имени Бернгарда Больцано Чешской академии наук (1978), медалью имени Николая Коперника Польской академии наук (1992), премии имени Пафнутия Чебышева АН СССР (1972), «За науку» Минвуза СССР, премии имени А.Н. Колмогорова РАН (2000), премии имени М.В. Остроградского Национальной академии наук Украины (2000). За выдающийся вклад в развитие образования (2005) ему присуждена премия МГУ им. М.В. Ломоносова.

В год своего столетнего юбилея академик Сергей Никольский удостоен высшей награды Москвы – «Легенды века», а также ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.

Действительный член Российской академии наук Сергей Никольский – глава созданной им школы теории функций и ее приложений, представители которой работают в разных концах России, ближнем и дальнем зарубежье. Академик Сергей Ни-

кольский подготовил более 40 кандидатов наук, 15 докторов наук.

Среди его учеников выдающиеся ученые-математики – доктора физико-математических наук, профессора: член-корреспонденты Академии наук СССР, члены Европейской академии наук, лауреаты Государственных премий СССР и Российской Федерации Лев Кудрявцев и Олег Бесов, лауреаты Государственных премий СССР Станислав Успенский и Яков Бугров, профессор Университета в г.Кардиф (Великобритания) Виктор Буренков, член-корреспондент Национальной академии наук Казахстана Тюлеубай Аманов, члены-корреспонденты Национальной академии наук Украины Владислав Дзятык и Виталий Моторный, академик Национальной академии наук Украины лауреат Государственной премии СССР Николай Корнейчук (Киев), профессор Днепропетровского университета Александр Тиман, Надежда Касинчук (Хо Нгуен Тхью) (США, штат Калифорния), профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова Михаил Потапов, профессор Бакинского пединститута (Азербайджан) Юсиф Салманов, про-

фессор Днепропетровского университета Сергей Пичугов и многие другие.

Руководимый Сергеем Михайловичем Никольским на протяжении полувека в Математическом институте семинар по теории функций широко признан в нашей стране и за рубежом.

Неоценим вклад академика С.М. Никольского в совершенствование системы образования в нашей стране. Его лекции по разным разделам математики, прочитанные им за более чем шестидесятилетний период его педагогической деятельности, вошли в золотой фонд отечественной и мировой педагогики благодаря высокому научному уровню и доступности изложения. На основе своих лекций академик Сергей Никольский создал классический курс «Математического анализа» в двух томах, он автор трехтомного учебника по высшей математике (в соавторстве с Я.С. Бугровым). Эти книги переведены на многие иностранные языки и выдержали по несколько изданий. Сергей Михайлович (в соавторстве с М.К. Потаповым, Н.Н. Решетниковым и А.В. Шевкиным) создал широко известные учебники по математике для средней школы.

**Дроздов И.И., Шадрин А.А., Шадрина С.А. ИСКУССТВЕННОЕ ЛЕСОВОССТА-  
НОВЛЕНИЕ НА СПЛОШНЫХ ВЫРУБКАХ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ.**

Рассмотрены место и значение технологии и машин нового поколения для искусственного лесовосстановления. Исследованы результаты их внедрения в лесокультурное производство.

**Drozdov I.I., Shadrin A.A., Shadrina S.A. MAN-MADE FOREST REGENERATION  
ON CLEAR FELLING AREAS IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA.**

The site and the importance of the technology and the latest machines for man-made forest regeneration are discussed. The results of their introduction into forestcrop production are explored.

**Виноградов А.Н. КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОТОКСИЧНОГО  
ГЕРБИЦИДА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ АНКОР-85 ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ  
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ.**

В статье приведены результаты исследования действия Анкора-85 на видовой состав и общую массу сорной растительности при его довшодовом применении, включая совместное (комплексное) применение с минеральными удобрениями в посевах сосны, выращиваемых в питомниках на суглинистых и супесчаных почвах. Установлено, что в посевах сосны первого года выращивания необходимо применять Анкор-85 во второй половине вегетационного периода в дозе 10–20 г/га. Эффективность препарата увеличивалась в 2–3 раза при применении его на фоне минеральных удобрений и полива.

**Vinogradov A.N. COMPLEX APPLICATION MALOTOKSICHNOGO HERBICIDE  
OF NEW GENERATION ANKOR-85 AT CULTIVATION SEJANTSEV PINES ORDINARY.**

In clause results of research of action ANKOR-85 on specific structure and a lump of weed vegetation are resulted at it dovshodovom application, including joint (complex) application with mineral fertilizers in the crops of a pine which are grown up in nurseries on loamy and sandy pochvah. It is established, that in crops of a pine of the first year of cultivation It is necessary to apply ANKOR-85 in second half of vegetative period in a doze 10–20 g/ga. Efficiency of a preparation increased in 2–3 times at its application on a background of mineral fertilizers and poliva

**Родионов А.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА  
ОСНОВЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ.**

В статье описана новая методика оценки и сравнения эффективности вариантов лесных технологий по интегральному показателю прибыльности и расходования ресурсов (в натуральном выражении). Рассмотрены примеры использования методики для определения эффективности различных технологий рубок ухода и лесовосстановления на основе данных научно-исследовательского проекта «Тайга – Модельный лес» и ОАО «Воломский КЛПХ «Лескарел» (Республика Карелия).

**Rodionov A.V. ESTIMATION OF FOREST TECHNOLOGIES EFFICIENCY ON  
THE BASIS OF RESOURCE-SAVING.**

The new technique for estimation and comparison of efficiency of different variants of forest technologies on the basis of integrated parameter of profitableness and resources expenditures (in their natural form) is described in the article. Examples of using this technique for estimating efficiency of different thinning technologies and technologies of artificial reforestation are presented (case studies of «Taiga – Model Forest» project and «Volomskiy KLPH «Leskarel» harvesting enterprise, Republic of Karelia).

**Вайс А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ СОСНЯКОВ ТАЁЖНОЙ ЗОНЫ НА ОСНОВЕ ТАКСАЦИОННО-ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ.**

В статье приведены данные о сомкнутости крон на уровне древостоя и биогрупп в сосняках таёжной зоны. На основе сомкнутости крон и морфологических показателей получены линейные уравнения прогноза размеров деревьев по толщине и продуктивности сосняков.

**Vajs A.A. RESEARCH OF EFFICIENCY OF PINE FORESTS OF THE TAIGA ZONE ON BASIS MEASURING ESTIMATION FOREST OF ATTRIBUTES.**

In article the data on a density of crones at a level of a forest stand and biogroups in pine forests of a taiga zone are given. On the basis of a density of crones and morphological parameters the linear equations of the forecast of the sizes of trees on thickness and efficiency of pine forests are received.

**Гиниятуллин Р.Х. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Ca, Mn, Fe, Cu В НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.**

В работе представлены материалы по оценке относительного жизненного состояния и аккумуляции металлов различными надземными органами березы повислой (*Betula pendula Roth.*) в условиях техногенного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра. Показано, что в целом насаждения березы повислой Стерлитамакского промышленного центра способны депонировать техногенные элементы следующим образом: Ca – 514 кг, Mn – 123 кг, Fe – 240 кг, Cu – 8 кг 14 г, Sr – 794 г, Cd – 83 г, Pb – 83 г. Жизненное состояние оценено как здоровое.

**Ginijatullin R.H. DISTRIBUTION Ca, Mn, Fe, Cu IN OVERGROUND BODIES OF A BIRCH IN CONDITIONS TECHNOGENIC OF POLLUTION.**

In work the materials are submitted according to a relative vital condition and accumulation of metals by various overground bodies of a birch (*Betula pendula Roth.*) in conditions technogenic of pollution Sterlitamak of an industrial center. Is shown, that in the whole planting of a birch Sterlitamak of an industrial center are capable accumulate technogenic elements as follows: Ca – 514 kg, Mn – 123 kg, Fe – 240 kg, Cu – 8 kg 14 г, Sr – 794 г, Cd – 83 г, Pb – 83. The vital condition is appreciated as healthy.

**Мухамедшин К.Д., Шамшиев Б.Н. О РАЗНОВОЗРАСТНОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ И СТРОЕНИИ ДРЕВОСТОЕВ АРЧИ ТЯНЬ-ШАНЯ.**

В данной статье рассмотрены вопросы о долголетию, разновозрастной и пространственной структуре и строению древостоев арчи Тянь-Шаня.

А также приводится изменчивость диаметра, высоты и возраста деревьев в арчевых насаждениях в зависимости от возрастной структуры и типов леса.

**Чочаев А.Х., Жашуев М.А. ПРИОРИТЕТЫ И ФАКТОРЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОСЛЕСОХОТНИЧЬИХ ХОЗЯЙСТВАХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ.**

В предлагаемой вниманию читателей статье рассматриваются вопросы интенсификации лесопользования в специализированных Гослесохозяйствах Кабардино-Балкарской Республики. В ней рассматриваются ключевые факторы и приоритеты устойчивого развития многоцелевого лесопользования.

**Голосова М.А. ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ВКЛАД ВЕРНЕРА БАЛТЕНСВАЙЛЕРА В ТЕОРИЮ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ ЛЕСНЫХ НАСЕКОМЫХ.**

В данной статье анализируются взгляды и работы В. Балтенсвайлера, а также крупнейших российских теоретиков по динамике численности лесных насекомых

**Харченко Н.Н. СПЕКТРЫ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРА РУССКОЙ РАВНИНЫ.**

В статье рассматривается реакция норных зверей различных жизненных форм на степень антропогенного пресса.

**Харченко Н.Н. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТЕЛА НОРНЫХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ.**

В статье проводится анализ, позволяющий выделить три основных типа экстерьера зверей региона.

**Харченко Н.Н. ВЛИЯНИЕ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ЦЕНТРА РУССКОЙ РАВНИНЫ.**

В статье рассматривается влияние первичных, вторичных, факультативных, облигатных, активных и пассивных норных зверей, массово заселяющих антропогенно трансформированные ландшафты.

**Иванов Д.В. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ.**

В статье рассматриваются вопросы применения агрегатных установок для формирования поперечного сечения пиломатериалов на лесопильных предприятиях

**Мельникова Л.В., Назериан Мортеза ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ИЗ ЧАСТИЦ ШПОНА.**

В работе показано влияние толщины стружки из шпона и ее ориентирования на прочность плиты. Доказано, что с увеличением удельной поверхности частиц из шпона и их гибкости прочность перпендикулярно пласти плиты уменьшается, но при этом резко возрастает предел прочности при изгибе.

**Melnikova L.V., Nazerian Morteza STRENGTH OF CEMENT-SHAVING BOARDS FROM FLAKE.**

In this work influence of thickness of shaving from flake and its orientations on strength of board is shown. It is proved that, with increase of specific surface of particles from flakes and their slenderness ratio internal bond strenght of boards decreases, but modulus of rupture of boards sharply grows.

**Абразумов В.В., Котенко В.Д. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ КОМПОЗИТОВ НА МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ.**

Для целей резания предложена структурная модель цементно-стружечной плиты (ЦСП), как типичного представителя древесно-минеральных композитов. На основе известных закономерностей, используемых при теплофизических расчетах процесса резания металлов, произведено моделирование процесса резания ЦСП с учетом их структурных особенностей.

**Abrazumov V.V., Kotenko V.D. THE MODELING OF CPB CUTTING PROCESS.**

For purposes of cutting the structural model of cement-partikle boards (CPB) is proposed as a typical representative of timber mineral composites. On the basis of known regularities used in thermophysical calculations of metal cutting process, the modeling of CPB cutting process was made taking into consideration its structural features.

**Угрюмов С.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСТРЫ ЛЬНА В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННОЙ ФАНЕРЫ.**

Предложена конструкция комбинированной фанеры, состоящей из наружных слоев шпона и внутреннего заполнения на основе костры льна. Определены основные физико-механические свойства образцов фанеры, изготовленных в лабораторных условиях.

**Ugryumov S.A. USE FIRES OF FLAX IN MANUFACTURE OF THE COMBINED PLYWOOD.**

The design of the combined plywood consisting of thin layers of wood and internal filling on a basis fires of flax is offered. The basic physicommechanical properties of samples of the plywood made in laboratory conditions are determined.

**Спирин Б.Л., Тулузаков Д.В. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.**

Разработана система дифференциальных математических моделей, описывающая массообменные и теплообменные процессы в пограничном слое при обтекании плоских профилей внешним воздушным потоком, имеющим различные физические параметры: скорости, температуры и влажности. Проведена проверка корректности системы уравнений на модельном примере.

**Spirin B.L., Tuluzakov D.V. DIFFERENTIAL MODEL OF THE BOUNDARY LAYER AT AIR-CONDITIONING COMPOSITE MATERIALS.**

The system of differential mathematical models describing mass exchange and warmly exchange processes in a boundary layer at a flow of flat structures by an external air stream, having various physical parameters is developed: speeds, temperatures and humidity. Check of a correctness of system of the equations on a modelling example is lead.

**Гелес И.С., Коржова М.А. НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТИОНИТОВ ИЗ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ БИСУЛЬФИТНОЙ ВАРКИ.**

Из катионитов редкой и частой шивки, полученных из лигносульфонатов бисульфитной варки на натриевом основании, определена статическая обменная емкость как до, так и после снижения у них зольности путем кислотной обработки. В целом величина статической обменной емкости катионитов, получаемых по новым способам, выше по сравнению с ее значениями у лигносульфоновых смол традиционных технологий.

**Мануковский А.Ю. ВОЗДЕЙСТВИЕ КАВИТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА НА ГИДРОБИОНТЫ.**

В статье освещена проблема кавитационных явлений в гидротурбинах. Дана теоретическая оценка воздействия кавитации на гидробионты в кавитационных течениях гидромашин. Раскрыт механизм воздействия кавитации на ихтиофауну и планктон, что позволяет сформулировать основной принцип защиты гидробионтов от гибели.

### **Якимович С.Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ МНОЖЕСТВА СОСТОЯНИЙ ПРЕДМЕТА ТРУДА ЛЕСОЗАГОТОВОК.**

Представлена математическая модель, отражающая множество состояний предмета труда лесозаготовок и процессов его получения в пространстве и времени по маршруту технологического процесса. Математическая модель включает две составные части: 1) структурную расчетную схему процесса в виде графов с направлениями (ветвями); 2) множество математических выражений, описывающих взаимозависимость количественных характеристик элементов расчетной схемы и законы транспортировки (перемещения) и изменения объема предмета труда во времени. Изложенное отличает эту форму представления технологии лесозаготовок от разработанных ранее.

### **Yakimovich S.B. MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR ENSEMBLE OF CONDITIONS OF SUBJECT OF LABOUR LOGGING.**

The conclusion of mathematical model, reflecting ensemble of conditions of subject of the labour for logging and processes of its getting in the space and time on the route of technological process. Mathematical model includes two component parts: 1) structuring accounting process scheme in the manner of earls with directions (branches); 2) ensemble of mathematical expressions, describing interdependence of quantitative features of accounting scheme elements and laws of transportation (displacement) and changing a volume of subject of the labour during. Stated above distinguishes this form of presentations of technology for logging from developed earlier.

### **Якимович С.Б. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО И УПРАВЛЕНИЯ СИНТЕЗА ДЛЯ СОВОКУПНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК.**

Дана постановка задачи оптимального управления технологическим процессом лесозаготовок в матричной форме по критерию интегрального функционала удельной энергоёмкости. Решением поставленной задачи определяются оптимальные траектории, функции управления и соответствующие найденным траекториям размещения обрабатывающе-переместительных функций лесозаготовок или степень их совмещения в пространстве и времени маршрута технологического процесса.

### **Yakimovich S.B. STATEMENT OF THE PROBLEM OF OPTIMUM AND GOVERNING A SYNTHESSES FOR AGGREGATES OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF LOGGING.**

Given statement of the problem an optimum management of technological process of logging in the matrix form on the criterion integral functional specific energy/output ratio. Deciding a putting (deliver) problem are defined optimum trajectory, functions of management and corresponding found accommodations trajectory processing-commutative functions of logging or degree of their combining in the space and time of the route of technological process.

### **Ширнин А.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ.**

В статье дан анализ научных работ по лебедочной трелевке, предложен новый способ и машина для комбинированной трелевки, описана технологическая схема разработки лесосек данным способом, представлены блок-схемы информационно-логической и математической моделей, на основе которых получена формула для расчета производительности машины при комбинированном способе трелевки, представлены графики зависимости производительности от расстояния трелевки, объема хлыста и нагрузки на рейс.

**Shirnin A.U. RESEARCHES OF COMBINED YARDING WOOD TECHNOLOGY.**

The analysis of scientific works on grapple yarding is given, the new way and the machine for combined yarding is offered, the technological circuit of development cutting area is described by the given way, block diagrams of information and logical and mathematical models on the basis of which the formula for calculation of productivity of the machine is received at the combined yarding way are presented, schedules of productivity dependence from distance yarding, volume of a switch and loading on flight are submitted.

**Климусhev Н.К. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ХЛЫСТОВ НА ЛЕСОСЕКЕ.**

Представлена нечеткая модель управления запасами хлыстов на лесосеке.

**Klimushev N.K. MODEL OF STOCK LOG MANAGEMENT ON THE FOREST GROUND.**

The fuzzy model of stock log management on the forest ground has been presented.

**Климусhev Н.К. НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ВЫВОЗКОЙ.**

Представлена нечеткая модель управления вывозкой лесоматериалов.

**Klimushev N.K. FUZZY MODEL OF LOG TRANSPORTATION MANAGEMENT.**

The fuzzy model of log transportation management has been presented.

**Шамарин Ю.А. АНАЛИЗ ЗАЗОРА ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР НАСОСА 4-УТНМ.**

Надежность топливной аппаратуры определяется, прежде всего работой прецизионных деталей – плунжера и его втулки. Исследование микрогеометрии изношенных поверхностей прецизионных деталей показало их локальный износ. В данной статье был проведен анализ зазоров в плунжерных парах топливного насоса.

**Shamarin U.A. ANALYSIS A CLEARANCE AN ПЛУНЖЕРНЫХ A VAPOUR(PAIR) A PUMP 4-UTNM.**

Reliability fuel equipment is defined, first of all work прецизионных details – plunger and its bushings. Study a microgeometry of worn-out surfaces прецизионных details has showed their local wear-out. In given article was organized analysis of clearances in плунжерных vapour(pair)s fuel pump.

**Шамарин Ю.А. АНАЛИЗ ГИДРОПЛОТНОСТИ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР.**

Надежность топливной аппаратуры определяется, прежде всего работой прецизионных деталей – плунжера и его втулки. Средний ресурс плунжерной пары до потери гидроплотности составляет 3149 моточасов. В данной статье был проведен анализ изменения гидроплотности в плунжерных парах топливного насоса.

**Shamarin U.A. ANALYSIS HYDRODENSITY AN ПЛУНЖЕРНЫХ A VAPOUR(PAIR).**

Reliability fuel equipment is defined, first of all work прецизионных details – plunger and its bushings. Average resource an плунжерной pair(vapour)s before loss hydrodensity forms 3149 motohours. In given article was organized analysis of change hydrodensity in плунжерных vapour(pair)s fuel pump.

### **Смирнов М.Ю., Габдуллина И.Р. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ЗВЕНА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ.**

Сравниваются два способа работы звена лесовозных автопоездов, часть которых оснащена навесными гидроманипуляторами. Приведены формулы расчёта продолжительности погрузки, разгрузки и простоев автопоездов, а также сменной производительности. Рассчитаны количественные значения указанных показателей.

### **Smirnov M.J., Gabdullina I.R. IMPROVEMENT OF THE WORK OF THE LOG TRUCK GROUPS.**

Two ways of the work of the log truck group are compared, the part of which being equipped with hydraulically-powered knuckle-boom grapple loader. Also the formulas for loading calculations, unloading and lost times, as well as calculations of the output per shift are presented. The quantitative values of the above mentioned parameters are calculated.

### **Курьянов В.К., Бурмистрова О.Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ.**

В работе исследовалось влияние на показатели эффективности и устойчивости ряда конструктивных и эксплуатационных факторов начальной скорости торможения, времени торможения, коэффициента сцепления колес с дорогой, коэффициентов неравномерности действия тормозных механизмов, геометрических параметров дороги – продольного и поперечного уклонов, кривизны траектории дороги.

### **Курьянов В.К., Бурмистрова О.Н. УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ.**

Получены уравнения регрессии показателей эффективности и устойчивости транспортных средств при торможении в зависимости от начальной скорости торможения, времени торможения, коэффициента сцепления колес с дорогой, степени загрузки транспортного средства, геометрии дороги – продольного и поперечного уклонов дороги, радиуса кривизны дороги.

### **Булдаков С.И. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ.**

Проведено комплексное моделирование процессов загрязнения окружающей среды от автомобильных дорог и автозаправочных станций. Полученная аналитическая зависимость позволяет прогнозировать концентрацию загрязняющих веществ около АЗС.

### **Buldakov S.I. SOILING ENCIRCLING AMBIENCES AT DISTRICT OF THE GAS STATIONS.**

It Is Organized complex modeling of the processes of the soiling surrounding ambiances from car roads and gas stations. Received analytical dependency allows to forecast the concentration polluting material around the gas stations.

### **Булдаков С.И. О РАЦИОНАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ (АЗС)**

Приведены математические модели, которые при известном количестве автомобилей, проходящих через автозаправочную станцию, позволяют вычислить необходимое количество колонок и среднее время пребывания автомобиля в очереди.

### **Buldakov S.I. ABOUT RATIONAL DESIGNING THE GAS STATIONS.**

They Are Brought mathematical models, which under known amount of the cars, getting through gas station, allow to calculate necessities an amount kolinsky and average time stay of the car in queue

### **Скрыпников А.В. ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНО – ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ УЧАСТКОВ ПЛАНА И ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПЕРЕХОДНЫМИ РЕЖИМАМИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ.**

Разработаны методы оценки проектных решений автомобильных дорог способствующие повышению качества проектов в САПР АЛД. Путём направленного поиска оптимального варианта оптимальность обеспечивается: гармоническим сочетанием обобщённых характеристик дороги, которыми считаются сейчас стоимость дороги, экономичность и безопасность движения; минимумом приведённых затрат.

### **Skripnikov A.V. THE ANALYSIS OF TRANSPORT-EXPLOITATION EXPONENTS CHARACTERIZING COMPLICATED PLANS AND LONGITUDINAL SECTIONS OF FOREST AUTOMOBILE ROADS WITH THE TRANSITIONAL REGIME OF TRAFFIC.**

The methods of project analysis promoting to improvement of project quality in SAP are worked out. The optimum is provided by the harmonic combination of general road characteristics (cost of road, economy and safety of traffic), and minimum of the expense.

### **Скрыпников А.В. КОМПЛЕКС ЭПИЮР ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ – ОСНОВА ОЦЕНКИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ.**

В САПР АЛД улучшению качества проектов строительства и реконструкции дорог способствуют эпюры транспортно-эксплуатационных характеристик: эпюры скорости (максимальной по возможности двигателя, скорости свободного движения, перспективных моделей автомобилей, средней скорости потока, скорости движения типовых автомобилей в расчётном потоке и т.п.); эпюры расхода топлива; эпюры эмиссии токсичных веществ; эпюры себестоимости перевозок.

### **Skripnikov A.V. THE COMPLEX SCHEMES OF TRANSPORT-EXPLOITATION EXPONENTS CHARACTERIZING FOREST AUTOMOBILE ROADS ARE THE BASE OF PROJECT DECISIONS.**

The schemes of transport-exploitation characteristics promote to improvement of the road construction projects in SAP. There are schemes of speed (top speed, speed of free traffic, average speed of traffic etc.); schemes of fuel expense; schemes of emission; schemes of portage.

### **Меньшикова М.А. КОНЦЕПЦИЯ СОВРЕМЕННОГО АУДИТА В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ.**

В статье рассмотрена концепция современного подхода к аудиту. Определена ключевая роль стратегии деятельности лесопромышленного предприятия, его существенных деловых рисков, рассмотрено использование стратегического анализа и оценки бизнеса в аудите. Дана краткая экономическая оценка развитию лесопромышленного производства, влияющая на бизнес процессы отраслевых предприятий.

**Menshikova M.A. THE CONCEPT OF THE MODERN APPROACH TO AUDIT**

In clause is considered the concept of the modern approach to audit. The key role of strategy of activity of the timber industry enterprise, its essential business risks is certain, use of the strategic analysis and an estimation of business in audit is considered. The brief economic estimation is given to development of the timber industry manufacture, influencing on business processes of the branch enterprises.

**Курзин П.А. УЧЁТ НАЛОГОВ ПРИ РАСЧЁТЕ НАРАЩЕННЫХ СУММ.**

Рассматриваются вопросы расчёта наращенных сумм и учёта налогов.

**Kurzin P.A. TAKING TAXATION INTO ACCOUNT FOR FUTURE VALUES CALCULATION.**

The matters of correct future values calculation and taking taxation into account are considered.

**Васильев М.И. БЕСКОНТАКТНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КОЛЕБАНИЙ ЯЗЫЧКОВ ГОЛОСОВЫХ ПЛАНКОВ ПРИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ.**

Результаты спектрального анализа колебаний язычков в голосовых планках музыкальных инструментов приведены в статьях. Анализ выполнен с применением оптических методов. Исследование объемной скорости воздушного потока при аэродинамическом нагружении также рассматриваются в этих статьях.

**Vasilev M.I. SPECTRAL ANALYSIS OF REEDS VIBRATIONS IN REED PLATES OF MUSICAL INSTRUMENTS.**

The results of spectral analysis of reeds vibrations in reed plates of musical instruments are given in the articles. The analysis is made with the application of optical methods. Volume speed investigation of airflow unbend aerodynamic load is also considered in these articles.

**Зверев В.Н. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ.**

Дано описание метода косвенного измерения теплофизических величин многополостных электродов плазменных устройств из экспериментальной зависимости температуры электрода от времени с момента выключения электрического разряда. Приведены результаты измерения данным методом.

**Zverev V.N. METHOD OF MEASUREMENT OF THE HEAT STATE OF ELECTRODES.**

The description of the method of indirect measurements of the heat-physical values of the multihollow electrodes in the plasma devices based on the experimental dependence of the electrode temperature on the time starting from the switch off the electric discharge is proposed. The measurement results by the method are presented.

**Полещук О.М. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК.**

В статье рассматриваются результаты эксперимента, согласно которому шесть независимых экспертов оценивали характеристику качества «соответствие учебным планам» у двадцати образцов учебных пособий.

**Полещук И.А. МНОГОМЕРНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРИ НЕЧЕТКИХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.**

Изложенный в этой работе метод построения комбинированной регрессионной модели в виде системы классических регрессионных уравнений (по каждому из параметров функций принадлежности исходных нечетких данных) может применяться, в отличие от остальных методов, как к унимодальным, так и к толерантным функциям принадлежности исходных данных.

**Шереметьев К.П., Царёв А.Г. СИСТЕМА ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ САЙТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ.**

В данной работе описаны существующие методы персонализации данных. Рассматривается, разработанная авторами статьи, система персонализации данных и оценивается её эффективность.

**Sheremetev K.P., Tsarev A.G. SYSTEM OF PERSONIFICATION OF DATA.**

In this work existing methods of personification of data are described. And it is considered, developed by authors of article, the system of personification of data and is estimated its efficiency.

**Саранцев А.В. ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ РЕГУЛЯРНЫХ СИСТЕМ ОДНОТИПНЫХ ДВОИЧНЫХ ФУНКЦИЙ, ПОСТРОЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЦИКЛИЧЕСКОГО СДВИГА.**

В работе рассматриваются вопросы, связанные с классификационными исследованиями биективных преобразований специального вида.

**Тюкавин Р.И. ИССЛЕДОВАНИЕ И СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ.**

Предлагается иерархическое деление структуры электроконтактного преобразователя (ЭКП) с приоритетом контактного узла. Структура ЭКП описывается в виде ориентированного ориентированного графа-дерева, у которого вершины – функциональные элементы, а ребра – связи и отношения между ними. При синтезе конструкции ЭКП проводится анализ характеристик различных видов электрических контактов. Для слаботочных ЭКП показано предпочтение скользящих контактов. Приводятся примеры рациональных конструктивных схем ЭКП.

**Tyukavin R.I. STRUCTURE RESEACH AND SINTHESIS OF ELECTRIC CONTACT CONVERTERS MECHANICAL TRAVELS.**

Suggest the hierarchical division of the eiectric converter (ECC) with priority of a contact unit. The structure of ECC is described as orient graps-tree. Its nodes are functional elements and its edges are communications between them. During synthesis of ECC different types of electric contacts characteristics were analysed. For weak precision ECC the preference of sliding contacts is shown. There are different examples of ECC rational constructive outlines.

**Тепляков В.К., Шалаев В.С. НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ XXII ВСЕМИРНОГО КОНГРЕССА ИЮФРО.**

В статье подводятся итоги XII Всемирного конгресса Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), состоявшегося 7–13 августа 2005 года

**Фоминых С.И. Шипов лес**

Статья посвящена молодости С.М. Никольского, будущего ведущего математика, академика РАН, которому в 2005 г. исполнилось 100 лет Его отец служил лесничим в Шиповом лесе по Воронежем.

**Fominikh S.I. The Shipov forest**

This story tells us about Sergei Nikolskii's youth. His father Mikhail Nirolskii was working in the Shipov forest near Voronezh (1918–1921). S.M.Nikolskii became an outstanding mathematician, the member of Russian Academy of Sciences. The centennial of S.M.Nikolskii is noting in 2005 (He has born 30. IV. 1905).