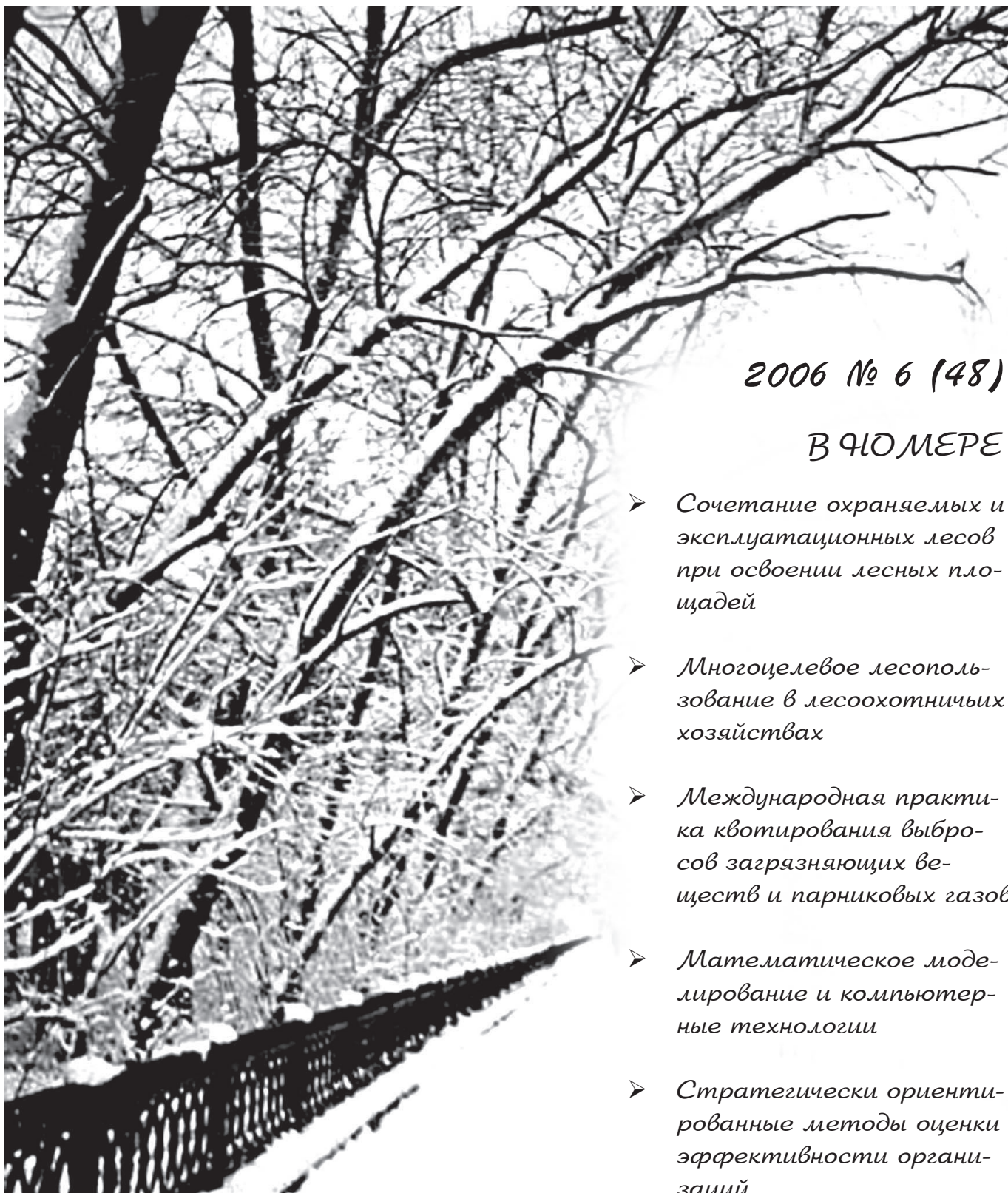




# Лесной вестник

*Вестник Московского государственного университета леса*



2006 № 6 (48)

В ЧЮМЕРЕ

- *Сочетание охраняемых и эксплуатационных лесов при освоении лесных площадей*
- *Многоцелевое лесопользование в лесохозяйственных хозяйствах*
- *Международная практика квотирования выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов*
- *Математическое моделирование и компьютерные технологии*
- *Стратегически ориентированные методы оценки эффективности организаций*

*Издательство Московского государственного университета леса*

## СОДЕРЖАНИЕ

### Лесное хозяйство

Степаненко И.И.	<i>Изменения в живом напочвенном покрове в опытах с минеральными удобрениями в разных типах леса</i>	4
Рыкова Т.В.	<i>Изменения параметров сосновых экосистем подмосковной Мещеры под воздействием цинка (модельный эксперимент)</i>	12
Автухович И.Е., Автухович Е.В.	<i>Металлы и древесные растения: экологические аспекты взаимодействия</i>	19
Калугина С.В.	<i>Поперечный надломовидный рак дуба и его роль в деградации порослевых дубрав Белгородской области</i>	22
Калугина С.В., Мельников Е.Е.	<i>Особенности сукцессионных процессов в порослевых дубравах Центрального Черноземья</i>	24
Мордась А.А., Раевский Б.В., Данилова Е.В.	<i>Изменчивость и взаимосвязь морфологических признаков и биометрических показателей семян сосны обыкновенной</i>	26
Робонен Е.В., Зайцева М.И., Чернобровкина Н.П., Лебедева Г.А., Озерова Г.П.	<i>Использование плавленого фосфорно-магниевого удобрения ПФМУ-2 при выращивании семян хвойных пород с закрытой корневой системой</i>	34
Егорова Н.Н., Кулагин А.А.	<i>Анатомическое строение ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) в экстремальных лесорастительных условиях</i>	38
Марковский А.В., Родионов А.В., Цыпук А.М.	<i>Сочетание охраняемых и эксплуатационных лесов при освоении лесных площадей (на примере Карелии)</i>	48
Рыжова Е.В.	<i>Техническая основа системы мониторинга лесов</i>	54
Чочаев А.Х., Жашуев М.А., Воробьева О.А.	<i>Социально-экономические и экологические факторы многоцелевого лесопользования в лесохозяйственных хозяйствах</i>	57
Чернякевич Л.М., Смоленцева Е.А.	<i>Развитие лесного хозяйства в условиях переходной экономики России</i>	59
Кузминых Ю.В.	<i>Международная практика квотирования выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов</i>	66
Санаев И.В.	<i>Роль зеленых насаждений в создании оптимальной городской среды</i>	71
Караваева Н.В.	<i>Геоэкологические аспекты организации некрополей в условиях дефицита земельных ресурсов (на примере Москвы)</i>	77
Мерзленко М.Д., Поляков А.Н.	<i>Лесоводы-классики Московского лесного института (из истории Московского государственного университета леса)</i>	80
Кругляк В.В.	<i>Исторические этапы озеленения г. Воронежа</i>	84
<b>Лесонженерное дело</b>		
Гомонай М.В., Никишов В.Д.	<i>Передвижная система машин для комплексной переработки древесины</i>	87
Якимович С.Б., Тетерина М.А.	<i>Рейсовая нагрузка лесозаготовительных машин</i>	92
Матросов А.В.	<i>Технологические процессы малообъемных лесозаготовок и метод их моделирования</i>	98
Климушев Н.К.	<i>Процессное управление запасами лесоматериалов</i>	102
Бурмистрова О.Н.	<i>Анализ метрологического обеспечения измерений параметров при ремонтах и содержании автомобильных дорог республики Коми</i>	105
Скрыпников А.В.	<i>Оценка транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог (с учетом показателей эффективности и устойчивости торможения автомобильного подвижного состава)</i>	107

Ясенков Е.П.	<i>Предпосылки для разработки методики планирования оптимальных режимов технического обслуживания автомобилей</i>	110
Пошарников Ф.В., Черных А.С.	<i>Оценка эффективности лесопильного производства методами дискретного программирования</i>	112
Михеев Р.С.	<i>Техника как фактор повышения эффективности хозяйствования</i>	115
Батырев Ю.П.	<i>Методы и устройства калибровки вихревых датчиков</i>	118
<b>Химические технологии</b>		
Спирин Б.Л., Тулузаков Д.В.	<i>Реологическая модель ДСП на этапе прессования</i>	122
Рангавар Х.	<i>Исследование применения отходов от форматной обрезки ЦСП</i>	127
Угрюмов С.А., Смирнов А.А.	<i>Планирование и реализация эксперимента для оценки влияния технологических факторов на свойства композиционной фанеры</i>	130
Гелес И.С.	<i>Еще раз к вопросу создания малоотходного (безотходного) предприятия, приемлемого с экологической точки зрения, в области химико-механической переработки древесного сырья</i>	132
Абразумов В.В., Котенко В.Д.	<i>Анализ явлений на контактных поверхностях режущего клина при резании плитных древесных композиционных материалов</i>	138
<b>Математическое моделирование</b>		
Подрубалов М.В.	<i>Математическая модель пространственных колебаний масс динамической системы транспортного агрегата мотоблока при стационарном кинематическом воздействии</i>	142
Никонов Н.В., Усанов Д.В.	<i>Запреты и вероятностные свойства <math>v</math>-грамм булевых функций от трех переменных</i>	146
Нетыкшо В.Б.	<i>Об уточнении оценки веса произвольной пороговой функции</i>	158
Шульц А.Н.	<i>Выбор оптических методов исследования течений неравновесного парового потока</i>	161
Шульц А.Н.	<i>Оптические неоднородности в неравновесном паровом потоке тепловых труб</i>	168
Курзина В.М., Курзин П.А.	<i>Математическая модель потребительского спроса на образовательные услуги на примере данных о средних доходах жителей г. Королева</i>	176
Домрачев В.Г., Рощупкин О.М.	<i>Компьютерная технология для анализа и прогноза процессов продаж продукции компании</i>	179
Рощупкин О.М.	<i>Компьютерная технология для управления процессами продаж компании на макроуровне</i>	184
Журавлева О.Н.	<i>Принцип историзма как феномен современного математического образования</i>	188
<b>Экономика</b>		
Самолдин А.Н., Борзенко А.Г.	<i>Стратегически ориентированные методы оценки эффективности организаций</i>	192
<b>Литературоведение</b>		
Попова О.А.	<i>Образ дворянской усадьбы в рассказе И.А. Новикова «Петух» как арена мировой борьбы добра и зла</i>	197
<b>Военная подготовка</b>		
Бочаров В.С.	<i>О роли правительства и федеральных органов исполнительной власти в организации военной подготовки и подготовке офицеров запаса из числа студентов гражданских вузов</i>	202
Затылков А.А.	<i>Военная подготовка в МЛТИ – МГУЛ (историческая справка)</i>	207

## ИЗМЕНЕНИЯ В ЖИВОМ НАПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ В ОПЫТАХ С МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ В РАЗНЫХ ТИПАХ ЛЕСА

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

Важными задачами лесного хозяйства являются ускоренное выращивание древесины высокого качества и повышение комплексной продуктивности леса. Эффективным мероприятием в решении этих задач зарекомендовало себя внесение минеральных удобрений. Минеральные удобрения оказывают существенное влияние на все ярусы лесного биогеоценоза. С их помощью повышается плодородие почвы, увеличивается биомасса лесных фитоценозов, улучшается рост древостоев на всех возрастных этапах, сокращается период выращивания леса, возрастают запасы древесины, повышается устойчивость лесных насаждений к неблагоприятным факторам [1–8]. Наиболее изучено влияние удобрений на почву и на рост древостоев в естественных и искусственных лесных насаждениях [3–7, 9]. В меньшей степени исследованы нижние ярусы лесных фитоценозов в опытах с удобрениями: живой напочвенный покров, подлесок, подрост главных лесобразующих пород [1, 2, 8, 10].

В данной статье приведены результаты исследований влияния минеральных удобрений на живой напочвенный покров в разных типах сосновых насаждений.

Исследования проводились в подзоне южной тайги Унженской низменности, в Костромской области, в Чернолуховском опытном лесхозе в наиболее характерных для данного региона типах леса: сосняках брусничном, лишайниковом, черничном и долгомошном. Для сосняков зеленомошных типов леса характерны свежие и влажные условия произрастания ( $B_2, B_3$ ); лишайниковых – сухие ( $A_1 - B_1$ ), дерново-средне- и слабоподзолистые песчаные и супесчаные почвы; долгомошных – сырые условия произрастания ( $B_4$ ), глеевые сла-

бодрированные песчаные почвы. Таксационная характеристика изучаемых древостоев за период исследования показана в таблице.

В лесхозе опыты с удобрением сосновых насаждений проводились в мае 1982 г. и в мае 1987 г. Закладка пробных площадей и ручное внесение минеральных удобрений проводились лабораторией экологического прогнозирования ВНИИХЛесхоза. Первый и второй приемы внесения удобрений и закладка пробных площадей были по одинаковой схеме во всех изучаемых типах леса. При первом удобрении в каждом типе леса с трехкратной повторностью испытывались 4 вида удобрений: азотные (N) в форме карбамида (46 % N), фосфорные (P) в форме гранулированного суперфосфата (20 %  $P_2O_5$ ), калийные (K) в форме хлористого калия (54 %  $K_2O$ ) и полные (NPK) в сочетании перечисленных видов и форм удобрений по три дозы (100, 150, 200 кг/га действующего вещества (д.в.)), а также были заложены контрольные пробные площади (без удобрений). При втором приеме внесения удобрений использовались только азотные удобрения в форме карбамида в дозе 150 кг/га д.в., они были внесены на опытные участки по одной схеме во всех изучаемых типах леса: N100, N150, P150, K150, (NPK)150. В сосняке долгомошном повторное удобрение не производилось из-за низкой его эффективности в этом типе леса.

Изучение нижних ярусов лесных фитоценозов проходило в три этапа: первый этап – через 5 лет после первого приема удобрения (1986); второй этап – через 6 лет после второго приема удобрения (1992); третий этап – через 10–14 лет после второго приема внесения удобрений (1996–2000). Исследования проводились в сентябре, в конце вегетационных периодов.

Т а б л и ц а

Динамика таксационных показателей в удобренных сосняках разных типов леса

Тип леса	Годы	Возраст, лет	Бонитет	Состав	Ср. Н, м	Ср. Д, см	Полнота	Запас, м <sup>3</sup>
Сосняк брусничный	1982	80	II	10С	23	26	0,8	300
	2002	100	II	10С	28	32	0,8	370
Сосняк черничный	1982	83	II	10С	25	24	0,9	377
	1997	98	II	10С	29	31	0,9	420
Сосняк лишайниковый	1982	85	II	10С	23	26	0,7	290
	2002	105	II	9С+Б	25	30	0,7	330
Сосняк долгомошный	1982	70	III	9С1Б+Е	19	20	0,7	212
	2002	90	III	8С2Б+Е	24	26	0,7	240



Закладка пробных площадей, характеристика подроста, подростка, живого напочвенного покрова (ЖНП) проводились согласно методическим указаниям И.С. Мелехова (1962, 1965), А.В. Побединского (1980), А.Н. Мартынова (1995), В.И. Обыденникова (1995), по существующим в лесоводстве методам (ОСТ-56-69-83). Описание и оценка обилия видов растений в ЖНП проводились по шкале Друде. Указывались проективное покрытие покрова каждого вида растений и их встречаемость. На пробных площадях проводилось картирование напочвенного покрова и устанавливался характер задернения почвы.

Типы леса определялись в соответствии с методическими указаниями В.Н. Сукачева, С.В. Зонна (1961), И.С. Мелехова (1976, 1980), Л.П. Рысина (1969, 1982).

Исследования нижних ярусов лесных фитоценозов в опытах с минеральными удобрениями показали существенное влияние удобрений на процессы естественного возобновления и живой напочвенный покров. Характер изменений в этих показателях зависел от типа леса, вида, дозы и повторности внесения удобрений.

Во всех типах леса после первого и второго приемов внесения удобрений произошли изменения в соотношении видов и проективного покрытия напочвенного покрова растений. Наиболее значительные изменения наблюдались в сосняках брусничном и черничном.

В сосняке брусничном до опыта, на контроле и в период опыта живой напочвенный покров под пологом леса был представлен тремя ярусами растений из 10 видов. В первом (верхнем) ярусе – единичные экземпляры злаков, преимущественно вейник лесной (*Calamagrostis arundinaceae* Roth), вейник наземный (*Calamagrostis epigeos* Roth) и редкие куртины черники (*Vaccinium myrtillus* L.). Во втором ярусе преобладали многочисленные сплошные сомкнутые поляны брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.), редко встречались куртины вереска обыкновенного (*Calluna vulgaris* (L.) H.), единичные экземпляры толокнянки обыкновенной (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng.), ландыша майского (*Convallaria majalis* L.), седмичника европейского (*Trientalis europaea* L.), золотой розги (*Solidago virgaurea* L.), марьянника лугового (*Melampyrum pratense* L.). В третьем ярусе обильно встречались зеленые мхи с преобладанием плеуроциума Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt), дикранума многоножкового

(*Dikranum polysetum* Sw.), хилокомиума блестящего (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Br., Sch. et Gmb.) с единичными экземплярами лишайника – кладонии лесной (*Cladonia silvatica* (L.) Hoffm.).

Исследования, проведенные после первого и второго приемов внесения удобрения, показали, что туки положительного влияют на рост и развитие одних растений и отрицательно – других. Наибольшие изменения произошли в опытах с азотными и полными удобрениями. Они улучшили жизненное состояние, усилили рост, увеличили проективное покрытие и встречаемость кустарничков и трав: вереска, брусники, черники, вейников наземного и лесного, но отрицательно повлияли на эти показатели у мхов и лишайников. При этом реакция растений на удобрения усиливалась с повышением дозы азота в них.

В сосняке брусничном через 5 лет после первого внесения удобрений в результате разрастания кустарничков и злаков проективное покрытие их покрова и встречаемость существенно увеличились соответственно: для вереска в опытах с азотными удобрениями на 28,5–42,9 % и 12,3–14,3 %, с полными удобрениями – на 32,9–40,0 % и 12,9–15,7 %; для брусники в опытах – на 15,5–26,4 % и 10,0–14,3 %, с калийными удобрениями – на 11,0–18,1 % и 11,4–12,1 % (K150, K200), с фосфорными удобрениями только в опыте с P200 проективное покрытие возросло на 9,7 %; для черники эти показатели повысились соответственно в опытах с азотными удобрениями – на 15,0–23,0 % и 12,0 % (N200), с полными удобрениями – на 18,0–25,0 % и 12,0–16,0 %, с фосфорными удобрениями увеличилось только проективное покрытие в опыте с P200 – на 9,0 %, с калийными удобрениями существенно возросло проективное покрытие в опытах с K150 – на 10,0 % и K200 – на 12,0 %; для толокнянки существенно увеличилась лишь встречаемость в опытах с азотными и полными удобрениями – на 8,5–11,0 % по сравнению с контролем.

Вейники наземный и лесной положительно отреагировали на все виды удобрений. Улучшение минерального питания способствовало их интенсивному разрастанию и увеличению высоты. За 5 лет действия удобрений их проективное покрытие и встречаемость были больше, чем на контроле, соответственно: в опытах с азотными удобрениями на 11,6–40,0 % и 10,0–15,3 %, с полными удобрениями – на 15,0–45,0 % и 9,3–16,7 %, с фосфорными удобрениями – на 9,3–25,0 % и 9,3–15,3 %, с

калийными удобрениями – на 10,0–20,0 % (K150, K200) и 9,3–10,0 % (K200). Усиление роста вейников было пропорционально повышению дозы удобрений. В результате интенсивного роста вейников на участках, удобренных азотными, полными и фосфорными удобрениями в максимальной дозе – 200 кг/га д.в., наблюдалось задержание почвы.

Через 5 лет после первого удобрения в сосняке брусничном в опытах с азотными и полными удобрениями наблюдалось угнетение роста, отмирание, снижение проективного покрытия покрова и встречаемости зеленых мхов и лишайников. Самыми чувствительными к удобрениям оказались дикранум многоножковый и кладония лесная, более устойчивыми были плеуроциум Шребера и хилокомиум блестящий. Так, в результате применения удобрений существенно снизились проективное покрытие и встречаемость зеленых мхов, соответственно: для плеуроциума Шребера в опытах с азотными удобрениями – на 14,0–20,0 % и 10,0–13,6 %, с полными удобрениями – на 18,0–23,2 % и 10,0–14,7 %; для дикранума многоножкового с азотными удобрениями – на 12,0–20,0 % и 10,0–12,7 %, с полными – на 17,0–27,0 % и 10,5–18,3 %, по сравнению с контролем. Для хилокомиума блестящего в опытах с азотными удобрениями встречаемость уменьшилась на 12,9 – 15,7 % (N150, N200), а проективное покрытие – на 15,0 % (N200), в опытах с полными удобрениями проективное покрытие снизилось на 10,0–17,0 %, а встречаемость – на 10,0–15,7 %, по сравнению с контролем. Для кладонии лесной эти показатели снизились в опытах с азотными, полными и калийными (K200) удобрениями соответственно на 10,0–27,5 % и 16,7–20,8 % по сравнению с контролем. Наиболее угнетающее влияние на зеленые мхи и лишайник оказали комбинации удобрений, в которые входили азотные (N150, N200) и калийные (K200) удобрения.

По-разному отреагировало на удобрения лесное разнотравье. Одни виды растений улучшили рост и жизненное состояние, другие – не отреагировали на подкормку, третьи – исчезли из ЖНП. Азотные и полные удобрения способствовали увеличению встречаемости большинства видов лесных трав на 8,7–15,0 % по сравнению с контролем. Лишь у некоторых растений изменилось проективное покрытие их покрова. Так, повышение проективного покрытия было в опытах с азотными и полными удобрениями у золотой розги – на 8,7 % (N200), ландыша – на 9,7 %

(N200, (NPK)150) и марьяника лугового – на 10,5 % ((NPK)150), по сравнению с контролем. А седмичник европейский исчез в опытах с N150, N200 и (NPK)150 из ЖНП. Калийные и фосфорные удобрения только в максимальной дозе снизили проективное покрытие некоторых видов: золотой розги – на 8,7 % (K200), седмичника европейского в опыте с K200 – на 16,7 % и с P200 – на 12,5 %, по сравнению с контролем.

Исследования в сосняке брусничном показали, что однократное внесение удобрений вызвало существенные изменения в динамике живого напочвенного покрова. Положительными сторонами этого процесса было увеличение общей фитомассы большинства видов растений, улучшение их роста и жизненного состояния. Отрицательными сторонами было ухудшение роста и развития, уменьшение массы, проективного покрытия покрова, встречаемости зеленых мхов и лишайников, а также увеличение в ЖНП участия и массы вейников, в результате чего в некоторых опытах с удобрениями произошло задержание почвы. В целом перечисленные изменения, кроме последнего, положительно повлияли на процессы естественного возобновления в этом типе леса.

В сосняке брусничном через 6 лет после второго приема внесения N150 изменения в ЖНП были аналогичные изменениям после первого удобрения в опытах с азотными и полными туками. Видовой состав растений почти не изменился. Во всех вариантах опыта с повторным удобрением увеличились проективное покрытие и встречаемость кустарников и злаков, соответственно: для вереска – на 29,4–39,7 % и 11,4–15,7 %; брусничника – на 22,7–37,7 % и 10,0–13,1 %; черничника – на 20,0–29,0 % и 10,0–12,0 %; вейников наземного и лесного – на 15,2–61,1 % и 10,0–16,7 %. При повторной подкормке на фоне азотных и полных удобрениях возросла встречаемость толокнянки на 10,0–13,5 % и основных видов разнотравья – на 8,8–15,0 %, а в опытах с N150+N150, (NPK)150+N150 и K150+N150 увеличилось проективное покрытие марьяника лугового на 10,5 % и ландыша – на 9,7 % (N150+N150), по сравнению с контролем. Повторное удобрение отрицательно повлияло на седмичник европейский: он выпал из состава ЖНП в большинстве вариантов опыта.

Через 6 лет после повторного удобрения в моховом и лишайниковом ярусах отмечалось уменьшение проективного покрытия и встречаемости, соответственно: плеуроциума Шребера –

на 14,0–21,2 % и 10,0–15,7 %; хилокомиума блестящего – на 11,4–24,0 % и 10,0–14,3 %; дикранума многоножкового – на 15,0–30,0 % и 8,8–21,7 %; кладонии лесной – на 10,0–22,5 % и 10,8–19,3 %, по сравнению с контролем.

Влияние азотных и полных удобрений в дозах 150 и 200 кг/га на ЖНП проявлялось в течение последующих 7–12 лет после удобрения, при этом наблюдалось постепенное выравнивание встречаемости, а затем и проективного покрытия ЖНП между контрольными и опытными вариантами. Через 10 лет после первого и второго приемов внесения удобрения различия в проективном покрытии и встречаемости в опытах с N150, N200, (NPK)150, (NPK)200, N150+N150 и (NPK)150+N150 были существенно больше, чем на контроле, для вереска соответственно – на 14,6–12,7 % и 9,1–10,2 %; брусники – на 12,3–13,5 % и 8,7–9,0 %; вейников наземного и лесного – на 10,7–18,5 % и 8,9–10,4 %. Эти показатели были существенно меньше, чем на контроле, для зеленых мхов соответственно – на 9,0–13,2 % и 8,8–9,2 %, кладонии лесной – на 8,7–9,4 и 8,5–8,9 %. Через 12 лет после первого удобрения различий в изучаемых показателях уже не наблюдалось. А через 12 лет после повторного удобрения существенные различия были отмечены только в проективном покрытии ЖНП в опыте с (NPK)150+N150. Для вереска и вейника наземного этот показатель был больше, чем на контроле, соответственно на 8,5 и 10,2 %, а для хилокомиума блестящего – меньше на 9,3 %. Через 14 лет после повторного внесения удобрений существенных различий в изучаемых показателях ЖНП на опытных и контрольных участках не было выявлено; таким образом, действие удобрений на живой напочвенный покров к этому времени завершается.

Исследования в сосняке брусничном в опытах с однократным и повторным внесением удобрений показали, что удобрения оказывают существенное влияние в течение 5–12 лет на проективное покрытие и встречаемость большинства видов растений ЖНП, наибольшие изменения в этих показателях были в опытах с повторным удобрением: N150+N150 и (NPK)150+N150. Удобрения в основном не повлияли на видовой состав и общее проективное покрытие ЖНП, только в опытах с азотными и полными удобрениями исчез из состава ЖНП седмичник европейский.

В сосняке лишайниковом в опытах с минеральными удобрениями произошли аналогичные

изменения в ЖНП, как и в сосняке брусничном. Но в более сухих условиях сосняка лишайникового усилилось ингибирующее действие на некоторые виды растений комбинаций удобрений, содержащих максимальные дозы азота (N200) и калия (K200). В этом типе леса последствие удобрений на ЖНП было менее продолжительное, чем в сосняке брусничном, что, видимо, связано с его более низкой влагообеспеченностью по сравнению с предыдущим типом леса.

В сосняке лишайниковом на изучаемых участках до и после опыта в видовой состав ЖНП входило 9 видов растений, которые сформировали три яруса. Как и в сосняке брусничном, в первом ярусе встречались единичные экземпляры вейников наземного и лесного, в понижениях – черники. Во втором ярусе господствовали куртины вереска и брусники, встречались единичные экземпляры золотой розги, марьянника лугового, плауна сплюснутого (*Lucopodium complanatum* L.). В третьем ярусе преобладали поляны лишайников: кладонии лесной и кладонии альпийской (*Cladonia alpine* (Asah.) Yoshim), в понижениях – куртины зеленых мхов из плеуроциума Шребера и дикранума многоножкового.

В сосняке лишайниковом через 5 лет после первого приема внесения удобрений увеличились проективное покрытие и встречаемость кустарников и злаков, соответственно: для вереска в опытах с азотными и полными удобрениями – на 13,3–24,7 % и 8,7–11,1 %; для брусники в опытах с азотными и полными удобрениями – на 10,8–19,2 % и 9,9–10,9 %, с калийными удобрениями – на 12,5–14,2 % (K150, K200) и 9,9 % (K200); для черники в опытах с азотными и полными удобрениями – на 9,5–14,3 % и 10,0 % (N150, N200, (NPK)150, (NPK)200); для вейников наземного и лесного в опытах с азотными и полными удобрениями – 13,3–37,8 % и 8,9–17,5 %, с фосфорными удобрениями – на 8,7–13,3 % и 8,9 % (P200), с калийными удобрениями – на 8,7–13,3 % и 8,6–8,9 %, по сравнению с контролем.

В сосняке лишайниковом первая подкормка оказала более сильное отрицательное влияние на зеленые мхи и лишайники по сравнению с сосняком брусничным. Наиболее угнетающее действие оказали комбинации удобрений, содержащие N150, N200 и K200. В этом типе леса самым чувствительным видом к удобрениям был дикранум многоножковый. Через 5 лет после удобрения снизились проективное покрытие и

встречаемость зеленых мхов и лишайников, соответственно: для плеуроциума Шребера в опытах с азотными и полными удобрениями – на 11,5–17,0 % и 10,0–15,0 %, с калийными удобрениями – на 9,1–10,3 % и 10,0 % (K200), с P200 – на 9,1 и 8,6 %; для дикранума многоножкового в опытах с азотными и полными удобрениями – на 14,5–29,1 % и 10,0–25,0 %, с калийными – на 9,1–14,6 % и 12,5–20,0 %, с P200 – на 9,1 и 9,0 %; для кладонии лесной и альпийской с азотными и полными удобрениями – на 9,0–22,0 % и 9,6–22,3 %, с калийными удобрениями (K150, K200) – на 9,0–10,6 % и 8,6–12,6 %, по сравнению с контролем.

В сосняке лишайниковом встречалось мало видов лесных трав, наиболее представлены были два вида: золотая розга и марьянник луговой, которые в большинстве опытов положительно отреагировали на удобрения. После первой подкормки наблюдалось повышение проективного покрытия и встречаемости, соответственно: для золотой розги в опытах с азотными и полными удобрениями – на 10,0 и 8,8–10,0 %, с P150, K100 и K150 – на 10,0 и 8,8 %; с марьянником луговым с азотными и полными удобрениями – на 13,3–20,0 % и 9,0–10,5 %, по сравнению с контролем. В опыте с P200 марьянник луговой выпал из состава ЖНП.

Улучшил рост и жизненное состояние плаун сплюснутый в опытах с азотными и полными удобрениями, когда проективное покрытие его покрова возросло на 9,6–19,2 %, а встречаемость – на 8,9–11,6 %, по сравнению с контролем.

Таким образом, первый прием внесения удобрений в сосняке лишайниковом, как и в сосняке брусничном, вызвал в основном положительные изменения в динамике ЖНП, которые способствовали более успешному естественному возобновлению леса в опытах с удобрениями.

В сосняке лишайниковом после второго приема внесения удобрений (N150) имелись такие же тенденции в динамике ЖНП, что и после первого приема в опытах с азотными и полными удобрениями. Видовой состав ЖНП остался без изменений. В сосняке лишайниковом, как и в сосняке брусничном, через 6 лет после повторного удобрения во всех опытах произошло повышение проективного покрытия и встречаемости кустарничков, злаков, лесных трав соответственно: для вереска – на 19,6–32,9 % и 8,5–12,3 %; брусники – на 14,2–22,0 % и 9,0–11,5 %; черники – возросло только проективное покрытие на 15,6–24,4 %;

вейников наземного и лесного – на 19,6–65,0 % и 8,7–15,3 %; для золотой розги, марьянника лугового и плауна сплюснутого увеличилось только проективное покрытие этих видов соответственно на 10,0 и 16,0 % (N150+N150, (NPK)150+N150), по сравнению с контролем.

В сосняке лишайниковом повторное внесение N150 отрицательно повлияло на лишайники и зеленые мхи. Через 6 лет после повторного удобрения проективное покрытие их покрова и встречаемость снизились, соответственно: для лишайников (кладоний лесной и альпийской) – на 9,1–25,6 % и 9,1–16,9 %; зеленых мхов: плеуроциума Шребера – на 12,5–23,7 % и 10,0–19,2 %; дикранума многоножкового – на 14,6–32,7 % и 10,0–24,0 %, по сравнению с контролем. Наиболее ингибирующее действие удобрений на лишайники и зеленые мхи, особенно на дикранум многоножковый, проявилось в опыте с (NPK)150+N150.

В сосняке лишайниковом комбинации туков, содержащих N150, N200, K200, влияли на ЖНП при однократном удобрении в течение 7–8 лет, при повторном – 10 лет после удобрения.

В этих вариантах опыта при однократном удобрении через 8 лет после их внесения проективное покрытие покрова некоторых видов растений ЖНП существенно отличалось от контрольных вариантов. Так, проективное покрытие покрова ЖНП было больше, чем на контроле, в опытах с азотными и полными удобрениями у вереска на 8,5–9,2 %, брусники – на 8,7 ((NPK)200), вейников – 9,0–11,3 %. А в опытах с азотными, полными и калийными удобрениями в дозе 200 кг/га д.в. проективное покрытие ЖНП было существенно меньше, чем на контроле, у лишайников – на 8,7–9,4 %, зеленых мхов – на 8,5–9,3 %. Исследования через 9 и 10 лет после однократного удобрения не выявили существенных различий в ЖНП удобренных и контрольных вариантов.

В сосняке лишайниковом при повторном удобрении действие проявлялось и через 10 лет после внесения. В опытах с N150+N150 и (NPK)150+N150 проективное покрытие ЖНП было больше, чем на контроле, у вереска – на 9,5–10,3 %, вейников – 8,9–12,6 % и меньше, чем на контроле, у лишайников – на 8,9–9,2 % и зеленых мхов – на 9,3–12,8 %. В последующие годы после повторного удобрения существенных различий в ЖНП в опытных и контрольных вариантах не было.

Таким образом, в сосняке лишайниковом продолжительность действия однократного



удобрения составляет 7,8 лет, повторного удобрения – 10 лет. В этом типе леса подкормка положительно повлияла на рост и развитие кустарников, лесных трав, вейников, отрицательно – на лишайники и зеленые мхи, наибольшее действие оказали при первом приеме внесения удобрения N200, (NPK)200, K200, при втором приеме – N150+N150, (NPK)150+150. В целом в этом типе леса изменения в ЖНП в опытах с минеральными удобрениями оказали положительное влияние на процессы естественного возобновления.

В сосняке черничном минеральные удобрения вызвали существенные изменения в росте, развитии и соотношении видов ЖНП. Наиболее значительное влияние на ЖНП оказали азотные и полные удобрения в максимальной дозе (200 кг/га д.в.).

В сосняке черничном на опытных участках до и после внесения удобрений ЖНП был представлен трехъярусными ассоциациями из 10 основных видов растений. В первом ярусе господствовали поляны черники, куртины папоротника орляка обыкновенного (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn ex Decken.) и багульника болотного (*Ledum palustre* L.), встречались единичные кусты вейника лесного. Во втором ярусе отдельными куртинами и экземплярами росли брусника, вереск, золотая розга, седмичник европейский и марьянник. В третьем ярусе преобладали кукушкин лен (*Polytrichum commune* Hedw.) и зеленые мхи из плеуроциума Шребера, дикранума блестящего, в понижениях встречались единичные куртины сфагнома среднего (*Sphagnum medium* L.).

В сосняке черничном, как и в предыдущих типах леса, через 5 лет после однократного удобрения наблюдалось повышение проективного покрытия и встречаемости кустарничков и злаков, соответственно: для черники в опытах с азотными и полными удобрениями – на 16,0–33,3 % и 12,9–16,4 %, с фосфорными (P150, P200) и калийными (K150) удобрениями возросло только проективное покрытие покрова на 14,2–16,9 %; для брусники в опытах с азотными и полными удобрениями – на 9,5–19,1 % и 9,6–10,2 % (N200, (NPK)150, (NPK)200), в опытах с калийными удобрениями – на 11,4–16,2 % (K150, K200) и 10,2 % (K200), с P200 увеличилось только проективное покрытие на 9,5 %; для вереска с азотными и полными удобрениями – на 13,3–20,0 % и 10,2 % (N200, (NPK)150, (NPK)200); для вейника лесного в опытах с азотными и полными удобрениями – на 17,5–35,0 % и 11,6–15,9 %, с калийными

удобрениями – на 12,5–17,5 % (K150, K200) и 10,6 % (K200), с P200 возросло лишь проективное покрытие на 15,5 %, по сравнению с контролем.

В этом типе леса после первого приема внесения удобрений отмечено ухудшение роста и жизненного состояния зеленых мхов, кукушкина льна и сфагнома. Через 5 лет после удобрения наблюдалось уменьшение проективного покрытия и встречаемости, соответственно: для плеуроциума Шребера с азотными и полными удобрениями – на 16,4–27,9 % и 9,7–12,6 %, с фосфорными и калийными удобрениями – на 9,8–18,9 % и 9,0–10,0 %; для дикранума многоножкового с азотными и полными удобрениями – на 14,5–30,9 % и 13,6–18,9 %, с фосфорными и калийными удобрениями – на 9,1–23,6 % и 9,1–9,8 %; для хилокомиума блестящего с азотными и полными удобрениями – на 10,0–29,7 % и 11,2–15,6 %, с фосфорными и калийными удобрениями возросло только проективное покрытие – на 10,0–20,0 %; для кукушкина льна с азотными и полными удобрениями – на 9,7–35,1 % и 10,0–11,9 %, с фосфорными (P200) и калийными (K200) удобрениями снизилось только проективное покрытие покрова соответственно на 14,2 и 9,7 %. Удобрения отрицательно повлияли на сфагнум, они вызвали уменьшение его проективного покрытия и встречаемости соответственно с азотными и полными удобрениями на 12,5–41,7 % и 10,8–29,0 %, с фосфорными (P200) – на 16,7 и 9,6 % (P200), с калийными (K150, K200) – на 12,5–16,7 % и 9,6 % (K200), по сравнению с контролем. Наиболее ингибирующее действие удобрения оказали на сфагнум, кукушкин лен и дикранум многоножковый в максимальной дозе (200 кг/га д.в.).

В этом типе леса удобрения вызвали разную реакцию у лесных трав. Марьянник луговой положительно отозвался на азотные и полные удобрения, его встречаемость выросла в большинстве опытов на 9,7–10,8 %, а проективное покрытие – на 12,5 % (N150), но отрицательно отреагировал на фосфорные удобрения (P100, P200), при которых произошло уменьшение его встречаемости на 9,0 % и проективного покрытия – на 12,5 % по сравнению с контролем. Золотая розга только в опыте с N150 увеличила проективное покрытие и встречаемость соответственно на 16,7 и 9,6 %, в остальных опытах с азотными и полными удобрениями она выпала из состава ЖНП, а в опытах с фосфорными и калийными удобрениями снизила эти показатели соответс-

твенно на 16,7–33,3 % и 11,1–25,9 % по сравнению с контролем. На седмичник европейский отрицательно действовали азотные, кроме N150, полные удобрения, при которых он исчез из состава ЖНП, а также фосфорные удобрения, снизившие проективное покрытие ЖНП на 11,1 % (P100, P200) или способствующие выпадению этого вида из состава ЖНП.

Положительно отреагировал на удобрения папоротник орляк, его проективное покрытие и встречаемость увеличились соответственно в опытах с азотными и полными удобрениями на 10,7–27,3 % и 9,3–10,0 %, в опыте с P200 возросло только проективное покрытие его покрова – на 11,6 % по сравнению с контролем. Багульник болотный несколько повысил проективное покрытие в опытах с N200, (NPK)150 и (NPK)200, но различия с контролем в этих вариантах оказались несущественными.

В сосняке черничном после повторного удобрения имелись те же тенденции в динамике ЖНП, что и после однократного удобрения. Исследования через 6 лет после второго приема внесения азотных удобрений (N150) показали, что они в некоторых вариантах опыта повлияли на видовой состав ЖНП, изменили соотношение видов, проективное покрытие и встречаемость растений.

Повторное удобрение увеличило проективное покрытие и встречаемость кустарничков, папоротника орляка и вейника, соответственно: для черники на 21,7–36,5 % и 9,0–12,4 %; брусники – на 14,6–31,1 % и 8,7–12,1 %; вереска – на 13,3–26,7 % и 9,6 % (N150+N150), 12,5 % ((NPK)150+N150); орляка обыкновенного – на 12,7–36,4 % и 9,4–14,0 %; вейника лесного – на 19,0–26,2 % и 9,4–13,5 %, по сравнению с контролем.

После второго приема внесения удобрений через 6 лет продолжалось ингибирующее действие туков на мхи. Проективное покрытие покрова и встречаемость мхов в опытах с удобрениями были существенно меньше, чем на контроле, соответственно: для зеленых мхов из плеуроциума Шребера – на 17,6–28,0 % и 10,0–20,0 %; дикранума многоножкового – на 20,4–33,3 % и 11,4–34,8 %; хилокомиума блестящего – на 17,5–30,0 % и 17,7–23,7 %; кукушкина льна – на 15,6–48,1 % и 9,6–30,0 %; сфагнума – на 18,2–40,9 % и 10,0–27,8 %. Наиболее чувствительными к повторному удобрению были сфагнум, кукушкин лен и дикранум многоножковый в опыте с (NPK)150+N150.

Через 6 лет после второго приема внесения удобрения не выявлено существенных изменений в проективном покрытии покрова и встречаемости лесных трав и багульника, но отмечено выпадение некоторых видов растений из живого напочвенного покрова. Исчезли из состава ЖНП седмичник европейский в большинстве опытов с удобрениями, кроме варианта K150+N150, золотая розга – в опыте с (NPK)150+N150, а также багульник болотный – в опыте с N150+N150.

В сосняке черничном исследования проводились до рубки древостоя (1997), таким образом, последствие удобрений изучалось в течение 15 лет после первого приема внесения туков и 11 лет – после второго приема. В результате исследований было установлено, что после первого приема продолжительность действия удобрений была 5–12 лет, после второго приема – до 11 лет (до рубки древостоя).

После однократного удобрения наиболее значительное и продолжительное действие на ЖНП оказывали азотные и полные удобрения в дозах 150 и 200 кг/га д.в. Через 8–12 лет в этих опытах наблюдалось существенное различие в проективном покрытии и встречаемости черники, папоротника орляка, вейника и мхов. Через 8 лет в опытах с азотными и полными удобрениями проективное покрытие и встречаемость были больше, чем на контроле, соответственно: для черники – на 20,3–18,4 % и 9,7–10,2 %; папоротника орляка – на 16,2–14,0 % и 9,0–9,7 %; вейника лесного – на 8,9–13,2 % и 8,7–9,9 %. Через 12 лет в этих опытах существенное различие было только в проективном покрытии покрова, оно было больше, чем на контроле, для черники на 9,2 %, папоротника орляка – на 8,7 %. Азотные и полные удобрения угнетающе действовали в течение 8–10 лет на мхи, особенно на сфагнум. Через 8 лет в этих опытах проективное покрытие покрова и встречаемость были меньше, чем на контроле, соответственно: для зеленых мхов – на 12,4–17,6 % и 8,9–9,4 %; кукушкина льна – на 14,5–19,2 % и 8,7–9,0 %; сфагнума – на 12,2–20,4 % и 9,0–14,5 %. Через 10 лет в опытах с N200 и (NPK)200 отмечено существенное снижение проективного покрытия, соответственно: у сфагнума – на 10,2 и 9,8 %, кукушкина льна – на 8,8 и 9,0 %, по сравнению с контролем. Через 12 лет различия в проективном покрытии покрова мхов в вариантах опыта оказались несущественными.

Исследования через 14 лет после однократного удобрения показали, что к этому време-

ни влияние туков на ЖНП в сосняке черничном прекращается.

После повторного удобрения в этом типе леса наибольшее влияние удобрений на ЖНП проявилось в опытах с N150+N150 и (NPK)150+N150. В этих опытах через 11 лет проективное покрытие покрова и встречаемость были существенно больше, чем на контроле, соответственно: для черники – на 10,5–11,7 % и 8,9–9,2 %; папоротника орляка – на 9,3–10,0 % и 8,7–9,0 % и 8,7–9,0 %; вейника лесного – на 8,7–8,5 %. А для мхов эти показатели были существенно меньше, чем на контроле, только в опыте с (NPK)150+N150, соответственно: для дикранума многоножкового – на 9,3 и 8,9 %; кукушкина льна – на 9,6 и 9,0 %; сфагнума – на 9,0 и 8,8 %.

Таким образом, в сосняке черничном минеральные удобрения в течение 5–12 лет влияют на видовой состав, проективное покрытие и встречаемость ЖНП. Наиболее значительное и продолжительное последствие туков при однократном удобрении было в опытах с азотными и полными удобрениями в дозах 150 и 200 кг/га, при повторном удобрении – в опытах с N150+N150 и (NPK)150+N150. В этом типе леса минеральные удобрения положительно повлияли на кустарнички (чернику, бруснику, вереск), папоротник орляк, вейник лесной и отрицательно – на зеленые мхи, кукушкин лен и сфагнум. Изменения в ЖНП в опытах с удобрениями способствовали более интенсивному естественному возобновлению сосны и ели в этом типе леса.

В сосняке долгомошном влияние удобрений на живой напочвенный покров было менее значительное и продолжительное, чем в ранее рассмотренных типах леса.

За период исследований в сосняке долгомошном ЖНП был представлен тремя ярусами из 9 основных видов растений. Первый ярус был представлен многочисленными куртинами и отдельными экземплярами багульника болотного, черники, голубики (*Vaccinium uliginosum* L.), болотного мирта (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench.). Во втором ярусе редко встречались брусника, седмичник европейский, марьянник луговой. В третьем ярусе преобладали многочисленные сплошные сомкнутые поляны кукушкина льна, куртины и поляны сфагнума, на возвышениях рос плеуроциум Шребера.

В сосняке долгомошном через 5 лет после удобрения наблюдались изменения в ЖНП в ос-

новном в опытах с азотными и полными туками. В этих опытах произошло увеличение проективного покрытия кустарничков: для брусники – на 15,3 %, черники – на 11,1–28,9 % и 16,7 % в опыте с P150; багульника болотного – на 14,3–19,0 %. Для голубики возросли проективное покрытие и встречаемость соответственно на 18,0–26,0 % и 11,6–12,0 % (N150, (NPK)150) по сравнению с контролем. В этом типе леса наблюдалось некоторое повышение проективного покрытия у седмичника европейского и марьянника лугового на 10,0 % (N150, N200, (NPK)150). Удобрения оказали отрицательное влияние на мхи и болотный мирт. Они снизили проективное покрытие и встречаемость сфагнума соответственно на 11,9–20,3 % и 10,0–10,5 %; плеуроциума Шребера – на 12,5–27,5 % и 10,0–20,0 % уменьшили проективное покрытие кукушкина льна на 9,9–11,4 %, по сравнению с контролем. Болотный мирт снизил проективное покрытие в опытах с N100 и P150 на 8,9 % и встречаемость – в опыте с P150 на 11,1 % по сравнению с контролем.

Исследования, проведенные через 7 лет после удобрения, показали, что они к этому времени уже не влияют на большинство видов растений ЖНП. Только в опытах с N200 и (NPK)150 проективное покрытие покрова было несколько больше, чем на контроле, у черники – на 9,2 %, голубики – на 8,7 % и меньше у сфагнума – на 8,9 % и плеуроциума Шребера – на 9,1 %, по сравнению с контролем. Через 8 лет после удобрения существенных различий в ЖНП в удобренных и контрольных вариантах не было.

Исследования в сосняке долгомошном показали, что в этом типе леса удобрения имели менее продолжительный срок действия (5–7 лет), чем в других типах леса. Они положительно повлияли на кустарнички (бруснику, чернику, голубику, багульник) и отрицательно – на мхи и болотный мирт. В результате изменений в ЖНП в опытах с минеральными удобрениями произошло улучшение условий для естественного возобновления леса.

По результатам исследований влияния минеральных удобрений на живой напочвенный покров можно сделать следующие выводы:

1) минеральные удобрения вызывают значительные изменения в составе, проективном покрытии и встречаемости видов растений живого напочвенного покрова;

2) удобрения положительно влияют на рост и развитие кустарничков (брусники, черники,

вереска, голубики), злаков и некоторые виды разнотравья, отрицательно – на мхи и лишайники;

3) удобрения оказывают на ЖНП длительное последствие в зависимости от типа леса и повторности внесения туков: оно составляет 5–12 лет;

4) изменения в живом напочвенном покрове в опытах с удобрениями создают благоприятные условия в нижних ярусах лесных фитоценозов для успешного естественного возобновления сосны и ели.

### Библиографический список

1. Луганский, В.Н. Комплексное влияние минеральных удобрений на сосновые насаждения Урала. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.Н. Луганский. – Екатеринбург, 1994. – 29 с.
2. Матюшкина, В.А. Изменение видового состава и обилия живого напочвенного покрова в сосняках травяно-сфагновых под влиянием комплекса лесохозяйственных мероприятий // Антропогенная трансформация таежных экосистем Европы: экологические, ресурсные и хозяйственные аспекты / В.А. Матюшкина, О.Н. Скороходова. – Петрозаводск, 2004. – С. 230–233.
3. Мальшуков, В.И. Лесоводственные основы повышения продуктивности сосновых лесов Унженской низменности: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.И. Мальшуков. – М., 1988. – 20 с.
4. Паавилайнен, Э. Применение минеральных удобрений в лесу / Э. Паавилайнен; пер. с финского Л.В. Блюдника; под ред. В.С. Победова. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 96 с.
5. Победов, В.С. Применение удобрений в лесном хозяйстве / В.С. Победов. – М.: Лесная пром-сть, 1972. – 201 с.
6. Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве // Тезисы докладов Всесоюзного совещания. – Архангельск. 12–13 августа 1986 г. – Архангельск: АИЛ и ЛХ, 1986. – 197 с.
7. Сляднев, А.П. Комплексный способ выращивания сосновых насаждений / А.П. Сляднев. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 105 с.
8. Шумаков, В.С. Динамика массы и химического состава живого напочвенного покрова и лесной подстилки после внесения удобрений в сосняке черничнике / В.С. Шумаков, В.Г. Орфанитская, В.А. Шестакова // Агрехимия. – 1974. – № 10. – С. 100–105.
9. Шутов, И.В. Лесные плантации (ускоренное выращивание ели и сосны) / И.В. Шутов, Е.Л. Маслаков, И.А. Маркова и др. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 248 с.
10. Haywood J.D., Thill R.E. Long-term responses of understorey vegetation on a highly erosive Louisiana soil to fertilization asheville (N.C.), 1995. – 6p.

## ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОДМОСКОВНОЙ МЕЩЕРЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЦИНКА (МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

Т.В. РЫКОВА, младший науч. сотр. отдела экологии леса ВНИИЛМ

Техногенное химическое загрязнение является одним из наиболее масштабных и серьезных по глубине возможных последствий антропогенных факторов, которые оказывают ощутимое воздействие на состояние, видовое разнообразие и продуктивность природных экосистем. Среди химического воздействия особо выделяется загрязнение природной среды выбросами промышленных предприятий и транспорта, регистрируемое во многих странах мира. По разным оценкам, техногенные выбросы веществ в атмосферу достигают 1–4 млрд т в год [1].

Промышленные выбросы способны существенно изменять естественный облик лесных экосистем, часто формируя выраженные очаги поражения лесов вокруг источников загрязнения. Такие очаги включают лесную территорию, в пределах которой визуальное состояние насаждений отличается от здоровых, имеющих аналогичный возраст и произрастающих в идентичных условиях за пределами техногенного воздействия. В зависимости от результирующего эффекта взаимодействия разных факторов территория очага может дифференцироваться на зоны, объединяю-

щие лесные массивы с близкой степенью поражения. Размеры таких очагов, динамика их развития и характер поражения насаждений обуславливаются, с одной стороны, объемом и режимом выбросов, с другой – спецификой. Поэтому эффективная система мероприятий, направленных на сохранение и восстановление лесов, должна базироваться на оптимальном сочетании уровня воздействия загрязнителей и всего цикла выращивания насаждений. Но поскольку толерантность сообществ как биологических систем можно управлять только в определенных интервалах техногенной нагрузки и сдвига их фактического состояния от нормы, то главным в системе лесохозяйственных мер является нормирование степени внешнего воздействия (в данном случае загрязнения среды). Это особенно важно для очагов с высокой долей погибших и деградирующих фитоценозов, в которых токсикологическая роль загрязнителей особенно ощутима.

Для упорядочения и развития системы экологического нормирования Госкомэкологией России в 1999 г. была принята «Концепция экологического нормирования в Российской Федерации».



**Предварительные нормативы ПДК тяжелых металлов для дерново-подзолистых окультуренных почв (в мг/кг воздушно-сухой почвы)**

№ п/п	Химический элемент	ПДК, мг/кг
1	Кадмий	30
2	Кобальт	80
3	Никель	90
4	Медь	50–80
5	Свинец	80–100
6	Цинк	80–100

Применительно к лесным экосистемам целью экологического нормирования, в нашем понимании, является количественное определение допустимых объемов, поступающих в лесные экосистемы загрязняющих веществ, которые не приводят к нарушению естественного их состояния и потере устойчивости к воздействию других факторов.

Для решения вопросов по нормированию тяжелых металлов для лесных почв с учетом состояния лесов в середине 90-х гг. во ВНИИЛМ начались экспериментальные работы по изучению фитотоксичности меди, цинка, никеля, свинца, кобальта и кадмия для хвойных пород. Исследования проводились в лабораторно-тепличных условиях на примере дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, в которую высаживались 4–5-летние саженцы сосны и ели [2, 3]. Отрицательное воздействие металлов на древесные растения оценивалось по изменению показателей роста (прирост побегов, размер хвои, изменение биомассы растений) и нарушению некоторых биохимических процессов (содержание хлорофилла, накопление металлов в органах растения, активность ферментов).

Установлено, что избыток загрязнителей в почве модельных опытов (250 мг/кг почвы и более) существенно подавляет рост и развитие саженцев, вызывает расстройства физиологически важных функций в растительном организме. Фитотоксичность металлов для саженцев хвойных пород возрастала в следующем порядке: свинец < цинк < медь. На основании исследований по изучению влияния различных доз соединений металлов на биометрические характеристики и химический состав древесных растений установлены предельно допустимые концентрации этих токсикантов в дерново-подзолистых почвах, при которых продуктивность саженцев не снижается более, чем на 10 % (табл. 1). Из данных табл. 1 видно, что полученные ПДК для древесных растений в несколько раз выше, чем существующие санитарно-гигиенические нормативы (например, по меди – в 26 раз, по цинку – в 4 раза, по свинцу – в 3 раза).

В дальнейшем программа исследований фитотоксичности тяжелых металлов была продолжена испытаниями влияния загрязнителей при почвенном внесении в сосновые экосистемы различного возраста. Судя по литературным данным, токсическое действие загрязнителей в лесных экосистемах в полевых условиях не изучалось.

Целью наших исследований явилось изучение параметров сосновых экосистем для диагностики их состояния под влиянием загрязнителей.

**Объекты и методика исследований**

Работы по оценке влияния цинка на насаждения сосны разного возраста проводились на постоянных пробных площадях Воскресенского стационара (Московская обл.). Из группы тяжелых металлов был выбран цинк как высокоподвижный биофильный и технофильный элемент широкого диапазона действия на живые организмы [4, 5], что и делает актуальным изучение его поведения в лесных экосистемах. Обзор литературы показал, что единое мнение относительно нормального содержания цинка в растениях отсутствует [6, 7].

Экспериментальные работы по изучению фитотоксичности соли азотнокислого цинка  $Zn(NO_3)_2$  были начаты в 1999 г.

Соль цинка вносилась (1999) в 15-летние культуры сосны в дозах: 23 мг/кг (ПДК); 100; 300; 500; 750; 1000 мг/кг почвы.

В 55-летние культуры сосны цинк вносился (август 2000 г.) в дозах: 23 мг/кг (ПДК); 100; 500; 1000; 2000 мг/кг. На участках площадью 35–50 м<sup>2</sup> – в однократной повторности.

В спелых древостоях сосны (120 лет) цинк вносился на участках площадью от 40 до 110 м<sup>2</sup> в дозах: 23 мг/кг; 500; 750; 1000; 2000; 3000 мг/кг.

Все насаждения сосны на опытных участках характеризуются типом леса сосняк-зеленомошник – почвы подзолистые, мелкодерновые поверхностно-подзолистые псевдофибровые на слоистом рыхлом тонкозернистом водно-ледниковом песке.

При расположении вариантов внесения цинка в различных дозах применялся метод рендомизации.

Для обнаружения реакций сосновых экосистем на техногенное загрязнение использовали следующие параметры:

- древостой (индекс состояния, величину отпада, прирост по высоте в молодняках сосны, радиальный прирост, степень пожелтения хвои, биометрические показатели хвои);
- напочвенный покров (видовой состав, степень проективного покрытия);
- возобновление сосной и другими породами количества и качества самосева и подроста.

Состояние древостоев оценивалось на постоянных пробных площадях по учетным деревьям I–III классов Крафта, по интегральному показателю – индексом состояния.

При изучении видового состава и проективного покрытия напочвенного покрова ценозов на участках с внесением различных доз цинка закладывали по диагонали каждого участка 5 учетных площадок размером 1 × 1 м, проводили учет видов травяного и мохового покровов, отмечали их состояние, фазы развития. По результатам исследований формировали гербарий. Состояние возобновления сосны определялось на опытных площадках по вариантам и повторностям при внесении в почву соли азотнокислого цинка.

Соль азотнокислого цинка вносили вручную, разбрасывая по поверхности почвы. Дозу рассчитывали на пахотный слой почвы глубиной 20 см в зависимости от возраста насаждения. На объектах 1–2 раза за вегетационный сезон отбирали пробы почвы в 5-кратной повторности по слоям (0–5; 5–10; 10–20; 20–40 и 40–60 см) для изучения перераспределения цинка по профилю почвы.

В средневозрастных насаждениях на участках с разными дозами внесенного цинка в почву на глубину 40 см устанавливали лизиметры конструкции Шиловой, что позволило оценить миграцию цинка с почвенными водами.

Отбор воды из лизиметров проводился 1 раз в год после схода снегового покрова.

Ежегодно проводилась оценка древостоев сосны по методике ВНИИЛМ [8] с учетом возрастных особенностей насаждений в конце вегетационного периода (сентябрь–октябрь). Состояние молодняков характеризовалось:

- формой кроны;
- продолжительностью жизни хвои (лет);
- степенью охвоения побегов (2–4 года).

Состояние приспевающих и спелых насаждений характеризовалось:

- формой кроны;
- размерами и охвоением побегов;
- размерами и пожелтением хвои.

С верхней части кроны деревьев молодняков (3–4 мутовки, побеги второго порядка) отбирались образцы хвои для оценки ее биометрических показателей и проведения химических анализов.

Содержание подвижной формы цинка в почвенных и растительных образцах определялось на атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ-Z.ЭТА».

Пробоподготовка и анализ образцов велись по Методическим указаниям ЦИНАО [9]. Для экстракции подвижной формы цинка в почве использовалась 1М HNO<sub>3</sub>.

Изучение радиального прироста проводилось для определения закономерностей нарушения роста деревьев в зависимости от степени их ослабления [8]. С помощью приростного бурава отбирались керны древесины стволов на высоте груди в направлении четырех основных румбов для устранения возможной систематической ошибки. Величину радиального прироста на кернах изучали с помощью микроскопа МБС-9. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью общепринятых статистических программ для персональных компьютеров.

#### **Реакция сосновых фитоценозов на внесение в почву различных доз цинка**

Динамика состояния сосновых насаждений разного возраста приведена в табл. 2.

Следует отметить, что до определенного уровня накопление тяжелых металлов в вегетативных органах может не вызывать существенных негативных последствий.

По данным исследователей, изучающих влияние высоких доз цинка на элементарный состав растений, выявлен антагонистический характер взаимодействия между Ni и Zn, Zn и Fe, Zn и Mn. Как правило, высокие дозы цинка вызывают снижение содержания Fe в органах растений, что способствует развитию в них хлороза [10].

В наших опытах поражение хвои хлорозом наблюдалось в молодняках при дозах 500 мг/кг и 1000 мг/кг и составляло 10 % и 20 % деревьев соответственно. На участках проведены таксационные и биометрические измерения деревьев. Анализируя биометрические исследования хвои, можно отметить значительное снижение длины и массы хвоинок: при дозе 1000 мг/кг

длина хвоинок составляет 63 %, масса – 42 % от контроля.

Анализ оценки визуального состояния древостоев (табл. 2.) свидетельствует, что в молодняках в среднем (за 5 лет наблюдения) снижение индекса состояния (ИС) имеет место при дозе 500 мг/кг на 1,4 балла, а при дозах 750 мг/кг, 1000 мг/кг – на 2,2; 3,2 балла соответственно (рис. 1). В средневозрастных насаждениях (за 4 года наблюдения) понижение индекса состояния существенно при дозе 750 мг/кг на 0,6 балла, а при дозах 1000 мг/кг, 2000 мг/кг – на 1,41 и 1,42 балла соответственно

(рис. 2). В спелых насаждениях (за 3 года наблюдений) среднее понижение индекса состояния значительно лишь при дозах 2000; 3000 мг/кг и снижено на 0,8 и 2,0 балла соответственно (рис. 3).

Отпад в молодняках начался на второй год внесения цинка при дозах 750–1000 мг/кг и составил 50–68 % количества учетных деревьев; на 4-й год наблюдений отпад деревьев был равен при дозе 500 мг/кг 3,3 %, при дозе 750 мг/кг – 50,1 %, при дозе 1000 мг/кг – 68 %. В средневозрастных сосняках при дозе 2000 мг/кг не отмечался отпад деревьев.

Т а б л и ц а 2

Динамика состояния сосновых насаждений разного возраста

Молодняки								Средневозрастные								Спелые					
Доза мг/кг	Годы						Среднее	Доза мг/кг	Годы						Среднее	Доза мг/кг	Годы				Среднее
	1999	2000	2001	2002	2003	2004			2000	2001	2002	2003	2004	2001			2002	2003	2004		
Конт- роль	1,4	1,4	1,7	1,6	1,6	1,5	1,53	Конт- роль	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,22	Конт- роль	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
23	1,1	1,3	1,5	1,5	1,5	1,4	1,38	23	1,6	1,9	2,0	2,0	1,8	1,87	23	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
100	1,2	1,4	1,9	1,9	1,9	1,9	1,66	100	2,1	2,1	2,3	2,3	2,3	2,2	500	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2
300	1,1	1,7	1,9	1,9	1,8	1,8	1,68	500	1,5	1,8	1,8	1,9	1,8	1,75	750	1,1	1,1	1,2	1,18	1,18	1,18
500	1,2	1,7	2,0	2,1	2,67	2,4	2,01	750	–	1,9	2,0	2,5	2,6	2,13	1000	1,2	1,3	1,3	1,3	1,29	1,29
750	–	–	1,3	3,45	3,5	3,5	2,75	1000	1,25	2,4	3,4	3,6	3,8	2,66	2000	1,25	1,4	2,0	2,1	1,55	1,55
1000	1,2	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	3,61	2000	2,2	3,5	4,3	4,5	4,5	3,62	3000	1,15	1,4	3,2	4,2	1,92	1,92

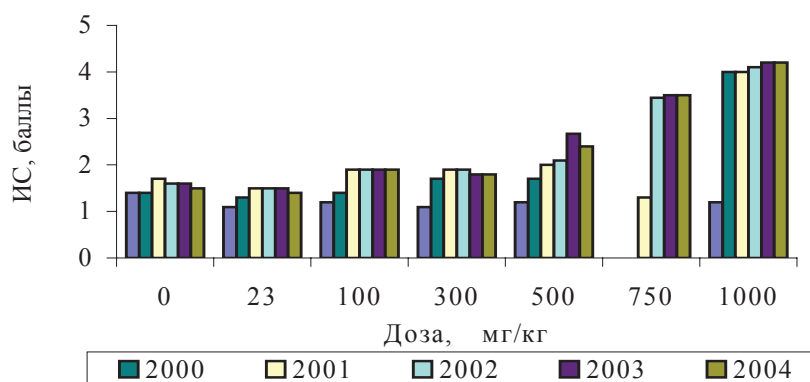


Рис. 1. Динамика изменения индекса состояния в молодняках сосны при разных дозах внесения цинка в почву

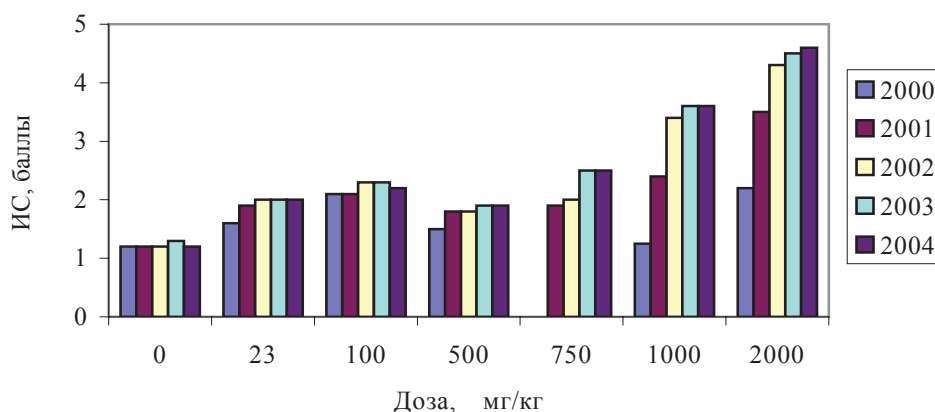


Рис. 2. Динамика изменения индекса состояния в средневозрастных древостоях сосны при разных дозах внесения цинка в почву

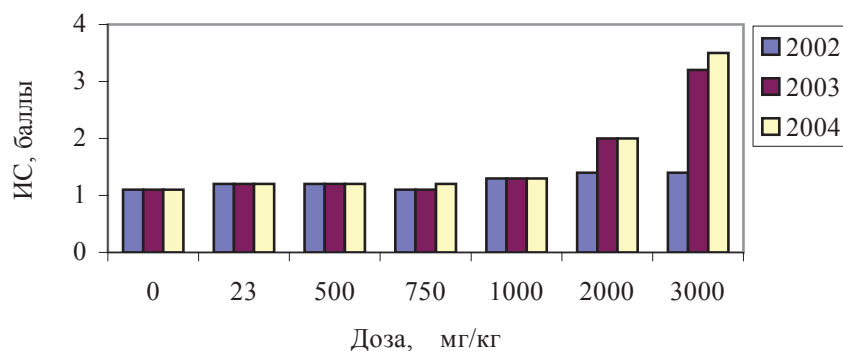


Рис. 3. Динамика изменения индекса состояния сосны в спелых насаждениях при разных дозах внесения цинка в почву

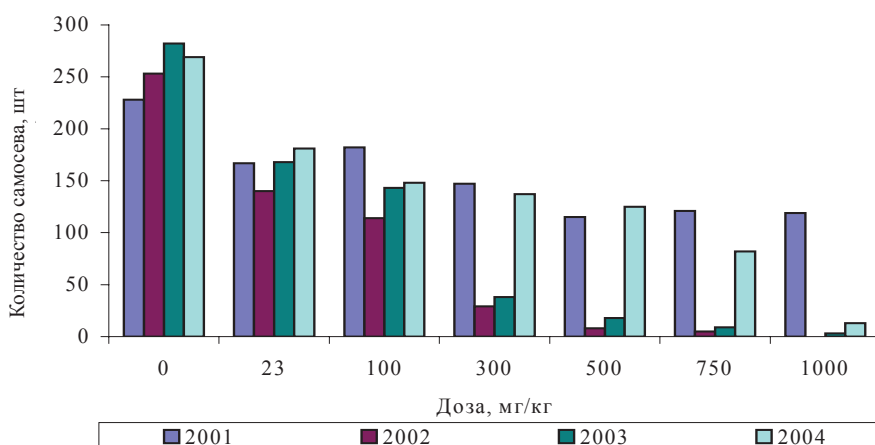


Рис. 4. Динамика изменения количества самосева в зависимости от дозы цинка

### Влияние различных доз цинка азотнокислого на состояние и развитие самосева и подроста сосны обыкновенной

В августе 2000 г. под пологом 60-летних насаждений сосны (Ильинское лесничество) были заложены пробные площадки размером 2 × 2 м в двукратной повторности, цинк вносился в виде соли азотнокислого цинка  $Zn(NO_3)_2$  в следующих количествах (в расчете на 20 см слоя почвы): 23 мг/кг (ПДК); 100; 300; 500; 750 и 1000 мг/кг почвы. Участки с возобновлением сосны на время закладки эксперимента характеризовались удовлетворительным состоянием.

По результатам пересчета самосева можно сделать следующие выводы: за период наблюдения сохранилась тенденция постепенного снижения количества самосева при дозах свыше 300 мг/кг  $Zn(NO_3)_2$  от 183 шт. (2001) до 146 шт. (2003), вместе с тем на участках с дозой воздействия 100 и 300 мг/кг отмечено появление самосева текущего года (от 8 до 15 шт. на каждой учетной площадке). На третьем году наблюдения отмечено появление самосева текущего года на участках с максимальной дозой воздействия

(1000 мг/кг), в то время как в 2002 г. здесь отмечалась его полная гибель.

### Влияние различных доз цинка на видовой состав и проективное покрытие напочвенного покрова сосняков-зеленомошников

Эксперимент проводился в культурах сосны обыкновенной среднего (60 лет) и спелого возраста (120 лет). Растительный покров представлен зелеными мхами (*Polytrichum commune*, *Pleurozium Schreberi*, *Hypnum cupressarium*, *Dicranum scoparium*); травянистой растительностью, расположенной отдельными куртинами: вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), белоус торчащий (*Nardus strikta*), черника (*Vaccinium myrtillus*), костяника (*Rubus saxatilis*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*). Встречается самосев сосны 1–2 года жизни.

Цинк азотнокислый  $Zn(NO_3)_2$  вносился под кроны деревьев в дозах, обеспечивающих уровень загрязнения 23 мг/кг, 500 мг/кг, 750 мг/кг, 1000 мг/кг, 2000 мг/кг и 3000 мг/кг. Площадь участков различна, что обусловлено неравномерным размещением деревьев, и колебалась в пределах от 40 м<sup>2</sup> до 112 м<sup>2</sup>, составляя в среднем 70 м<sup>2</sup>.



**Результаты перече́та самосева и подро́ста сосны на учетных площадках при разной дозе внесения цинка в почву**

№ вар.	Повторность	Год пере́чета	Распределение по высоте, шт.					Всего на учетной площадке шт.	Среднее по варианту, шт. (2003)
			До 5 см	6–10 см	10–20 см	20–30 см	Свыше 30 см		
1	Контроль	2001 год	95	34	60	39	–	228	282
		2002 год	97	28	64	44	20	253	
		2003 год	199	9	12	47	15	282	
2	2–1	2001 год	31	8	15	24	19	186	181
		2002 год	50	8	15	25	20	97	
		2003 год	117	7	5	18	20	150	
	2–2	2001 год	45	12	22	18	3	148	
		2002 год	29	26	35	10	1	183	
		2003 год	86	14	24	8	2	134	
3	3–1	2001 год	67	42	55	14	–	178	152
		2002 год	26	28	30	17	1	102	
		2003 год	68	10	8	10	6	102	
	3–2	2001 год	67	41	69	9	–	186	
		2002 год	34	26	47	19	–	126	
		2003 год	125	10	19	30	5	189	
4	4–1	2001 год	32	39	18	23	11	123	38
		2002 год	7	2	3	1	3	16	
		2003 год	17	3	9	3	3	35	
	4–2	2001 год	60	53	52	6	2	171	
		2002 год	15	15	9	3	–	42	
		2003 год	30	4	5	2	–	41	
5	5–1	2001 год	34	32	36	13	–	115	18
		2002 год	6	3	–	–	–	9	
		2003 год	10	–	–	–	–	10	
	5–2	2001 год	42	20	18	30	5	115	
		2002 год	5	1	1	–	–	7	
		2003 год	23	1	2	1	–	27	
6	6–1	2001 год	63	29	26	15	3	139	10
		2002 год	2	–	2	–	–	4	
		2003 год	5	–	3	–	–	8	
	6–2	2001 год	3	3	–	–	–	103	
		2002 год	3	3	–	–	–	6	
		2003 год	10	2	–	–	–	12	
7	7–1	2001 год	23	19	47	24	2	115	13
		2002 год	–	–	–	–	–	–	
		2003 год	2	–	–	–	–	–	
	7–2	2001 год	37	31	41	14	–	123	
		2002 год	–	–	–	–	–	–	
		2003 год	5	–	–	–	–	–	

Из полученных данных видно, что самосев сосны обыкновенной, березы бородавчатой и рябины обыкновенной оказался устойчивым к более низким дозам внесенного цинка азотнокислого, при дозе 2000 мг/кг он выпадает из ценоза.

Из полукустарничков наиболее чувствительной оказалась черника, которая полностью исчезает из ценоза при 1000 мг/кг и 2000 мг/кг цинка. Для брусники и костяники такая реакция не свойственна, хотя данный вывод недостаточ-

но надежный из-за эпизодической встречаемости этих видов на учетных площадках.

При более низких дозах цинка различий между числом видов до и после внесения не наблюдалось. Следует отметить, что злаки отличаются по сравнению с другими группами травянистых растений повышенной устойчивостью к загрязнению почвы солями цинка (более ошутимое изменение числа видов злаков установлено при дозе 1000 мг/кг).

Моховой ярус, представленный *Polytrichum commune*, *Pleurozium Schreberi*, *Hypnum cupressarium*, *Dicranum scoparium*, наиболее чувствительный к данному виду загрязнения. На второй год после внесения соли цинка отмечалось пожелтение (изменение окраски) 80 % проективного покрытия мхов при минимальной дозе 23 мг/кг. Степень повреждения мхов возрастает с увеличением дозы цинка и достигает 100 % пожелтения при 2000 мг/кг.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлена зависимость состояния сосновых фитоценозов при токсическом действии цинка от возраста деревьев, а точнее, от их биомассы.

Анализ оценки визуального состояния насаждений на участках с внесением солей цинка показывает, что в молодняках в среднем (за 5 лет наблюдения) снижение индекса состояния имеет место при дозе 500 мг/кг на 1,4 балла, а при дозах 750 мг/кг и 1000 мг/кг – на 2,2 и 3,2 балла соответственно. Устойчивое снижение среднего прироста по высоте в молодняках сосны отмечается при дозе 500 мг/кг на 22 % по сравнению с контролем. В средневозрастных насаждениях (за 4 года наблюдения) существенное понижение индекса состояния (на 0,6 балла) наблюдается при дозе 750 мг/кг, при дозе 2000 мг/кг ухудшение состояния возрастает на 1,4 балла. В спелых насаждениях (за 3 года наблюдений) среднее снижение индекса состояния незначительно и наблюдается лишь при дозах 2000 и 3000 мг/кг на 0,5 и 1,0 балла соответственно.

За период наблюдений сохранилась тенденция постепенного снижения количества самосева при дозах свыше 300 мг/кг Zn (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> от 183 шт.(2001) до 146 шт. (2004). На третьем году наблюдения отмечено появление самосева текущего года на участках с максимальной дозой воздействия (1000 мг/кг), в то время, как в 2002 г. здесь отмечалась его полная гибель. Вместе с тем, на участках с дозой воздействия более 750 мг/кг жизнеспособным оказывается лишь самосев текущего года.

Загрязнение почв тяжелыми металлами приводит к изменению видового травяного и мохового покрова, эпигейной лишайнофлоры. По-

ражение полукустарничкового яруса (особенно черники) начинает отмечаться при дозе 500 мг/кг, самосева сосны – 750 мг/кг, некоторых эпигейных лишайников – 1000 мг/кг, всходов рябины обыкновенной – свыше 1000 мг/кг. Загрязнение почвы цинком наряду с изменением состояния растений вызывает сокращение видового состава сообществ. В частности, при дозе 500 мг/кг внесенного цинка уменьшение числа видов в травяном покрове достигает 38 %, при 1000 мг/кг – 71 %, при 2000 мг/кг – 73 %. Дозы в 1000 – 2000 мг/кг приводят к полному исчезновению из состава ценозов черники.

Расчеты величины допустимой дозы цинка при почвенном загрязнении показывают, что устойчивое снижение индекса состояния и прироста происходит: в молодняках при дозе 500 мг/кг, средневозрастных – при дозе 750 мг/кг, спелых – при дозе свыше 1000 мг/кг.

### Библиографический список

1. Николаевский, В.С. Влияние промышленных газов на растительность / В.С. Николаевский // Региональный экологический мониторинг. – М.: Наука, 1983. – С. 202–222.
2. Ромашкевич, Е.В. Фитотоксичность соединений тяжелых металлов в почве для древесных растений / Е.В. Ромашкевич, Ю.Б. Боронин // Экология леса и охраны природы: сб. науч. тр. – М.: ВНИИЛМ, 1993. – С. 78–83.
3. Нормирование техногенного воздействия на лесные экосистемы / А.А. Мартынюк, Ю.Б. Боронин, А.В. Костенко и др. // Лесное хозяйство. – 1998. – № 1. – С. 25–27.
4. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Эмсли, Дж. Элементы / Дж. Эмсли. – М.: Мир, 1993. – 255 с.
6. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1987 – 142 с.
7. Тяжелые металлы в окружающей среде: материалы Международного симпозиума, Пушкино, 15–18 октября 1996. – Пушкино: ОНТИ, НЦБИ, 1997. – 321 с.
8. Временная методика по учету сосновых насаждений, подверженных влиянию промышленных выбросов (для опытно-производственной проверки) / Н.А. Воронков, В.М. Жирин, В.Д. Касимов и др. – М.: ВНИИЛМ, 1986. – 36 с.
9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства – ЦИНАО. – М., 1992. – С. 22–37.
10. Степанюк, В.В. Влияние высоких доз цинка на элементарный состав растений / В.В. Степанюк, С.П. Голенецкий // Агрохимия. – 1991. – № 7. – 7 с.

## МЕТАЛЛЫ И ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ

И.Е. АВТУХОВИЧ, докторант каф. лесоводства МГУЛ, канд. биол. наук,  
Е.В. АВТУХОВИЧ, доц. каф. кибернетики РГАУ-МСХА, канд. с.-х. наук

Целью работы явилось изучение возможностей применения древесных растений в качестве зеленых биофильтров в антропогенной зоне для очистки окружающей среды на основе использования и повышения их природных способностей к детоксикации почв и вод, содержащих тяжелые металлы, а также повышения устойчивости и качества посадочного материала, предназначенного для условий загрязнения.

### Объекты и методика

Объектами исследований явились: лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель обыкновенная (*Picea excelsa* Link.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), клен остролистный (*Acer plantanoides* L.), конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.).

Почвы объектов исследования – дерново-подзолистые. Отбор почвенных образцов производился по методике S. Clegg (1996), выделение отдельных компонентов почвы – по методике G.R. Gobran (1999). Разделение почвенных металлов на фракции осуществлялось по методике A. Alriksson (1998) с последующим их определением на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Perkin-Elmer». Анализ почвы и растительного материала производился по методикам Б.А. Ягодина и др. (1987), И.С. Кауричева и др. (1986), и др., физиологические исследования были проведены по методикам, описанным С.С. Баславской и О.М. Трубецковой (1964), Б.П. Плешковым (1985), Н.Н. Третьяковым (1990) и др.

### Результаты и обсуждение

Для изучения индуцированной фитозектракции кадмия из загрязненных почв был проведен трехлетний вегетационный эксперимент над сеянцами-однолетками пяти древесных пород: лиственницы сибирской, сосны обыкновенной, ели обыкновенной, ясеня обыкновенного и дуба черешчатого на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с низким плодородием, изначально не загрязненной тяжелыми металлами. Экспери-

мент состоял из 10 вариантов и четырехкратной повторности. В соответствии со схемой опыта Cd вносился в сосуды с почвой в концентрациях: 2,5; 5; 10 и 20 мг/кг. Внесение ЭДТА осуществлялось в дозе 1 ммоль/кг почвы.

Параллельно данному эксперименту был заложен и проведен опыт по изучению роли различных органических кислот: ЭДТА, щавелевой и лимонной в усилении экстракции свинца из водного раствора.

Объектами исследований явились четырехлетние сеянцы лиственницы сибирской. Pb вносился в сосуды в концентрациях 5 и 50 мг/л, и органические кислоты – в дозах 1 ммоль/л раствора по схеме, состоящей из 8 вариантов и восьмикратной повторности.

На основании проведенных исследований разработан и обоснован сравнительно недорогой и относительно безвредный метод очистки почв и вод, загрязненных тяжелыми металлами, с использованием древесных растений, базирующийся на индукции поглощения и выноса поллютантов растениями, и путем применения органических хелатообразующих кислот, в частности ЭДТА. Установлено, что препарат ЭДТА повышает подвижность металлов в почве и их доступность для растений, а также значительно увеличивает накопление металлов в их надземных органах, что способствует максимальному выносу поллютантов из почвы. При этом применение хелатообразующих агентов уменьшает токсическое влияние металлов на растения и повышает содержание необходимых элементов в них, в результате чего увеличивается интенсивность физиологических процессов, повышается активность ферментов, ростовые и весовые характеристики растений.

В рамках темы данной работы был также проведен эксперимент, посвященный изучению характера питания растений цинком в зависимости от особенностей почвенно-корневого взаимодействия в условиях различного содержания цинка в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с низким содержанием как доступного, так и общего Zn, соответственно 0,30 и 13,09 мг/кг. Данный эксперимент состоял из 27 вариантов и 4-кратной

повторности. Концентрации вносимого Zn в почву каждого из вариантов отличались одна от другой на 5 мг/кг. Для связывания Zn в почве нами был выдержан 7-летний инкубационный период, после чего в почву каждого из вариантов высеяны семена клена остролистного. Через 2 вегетационных сезона растения были извлечены из почвы для определения накопления Zn в их корнях. Почва сеянцев разделена на компоненты: ПКП – слой почвы, непосредственно прилегающий к корням толщиной 0,5–1 мм; Р – ризосферная почвенная компонента: слой почвы толщиной 4,5 мм, накладывающийся на предыдущий; общая масса почвы ОМП – слой почвы, наиболее удаленный от корней по сравнению с ПКП и Р. ОМП – проанализирована на pH и содержание различных фракций цинка по методике G.R. Gobran (1999).

В результате проведенных нами многолетних исследований, направленных на изучение поведения цинка, внесенного в почву, за длительный временной период установлено значительное снижение его доступности и повышение фиксации органическим веществом, полуторными оксидами и глинистыми минералами почвы. При этом наиболее интенсивная фиксация цинка отмечена в первые годы после внесения и в меньшей степени в последующие годы. Прочность связывания металлов определялась временем инкубации и свойствами почвы.

Нами выявлена взаимосвязь между накоплением Zn корнями растений и характером его распределения по почвенным компонентам: ПКП, Р и ОМП. На основании данной взаимосвязи выделено 4 зоны обеспеченности цинком сеянцев клена остролистного. Так, в зоне 1 – острого дефицита – происходит обеднение данной почвенной компоненты обменным цинком по сравнению с Р и ОМП, вызванное очень высокой потребностью растений в Zn. При этом содержание цинка изменяется следующим образом:  $ПКП < Р < ОМП$ . Вышеуказанной области графика соответствует низкий рост и физиологические показатели сеянцев. В зоне 2 – сглаживания дефицита Zn – содержание обменного Zn в почве изменяется следующим образом:  $ПКП \geq Р \geq ОМП$ . Этому отрезку кривой соответствует значительное улучшение ростовых и физиологических показателей сеянцев в результате покрытия дефицита Zn. В зоне 3 – насыщения растений Zn – потребности сеянцев в этом элементе полностью удовлетворены. Распределение обменного Zn в почве следующее:  $ПКП > Р > ОМП$ .

В этой зоне рост растений стабилизируется. Зоне 4 – перенасыщения растений Zn – соответствует не контролируемое растениями пассивное поглощение этого элемента, связанное с нарушением работы мембранного механизма в ответ на поступление в растения слишком большого количества металла. Распределение металлов в почве следующее:  $ПКП \gg Р \gg ОМП$ . В этой зоне отмечены самые низкие ростовые и физиологические показатели сеянцев.

Разработан способ диагностики обеспеченности почв микроэлементами и установления потребности растений в них, суть которого заключается в оценке характера распределения элементов по почвенным компонентам: ПКП, Р и ОМП. Пользуясь данным способом, мы можем наиболее объективно оценить питание растений с целью последующей коррекции, что имеет большое значение для успешного выращивания высококачественных сеянцев и саженцев в лесных питомниках.

Предложено использование уравнения Михаэлиса-Ментен для прогнозирования питания растений микроэлементами

$$I_n = I_{\max} (C_n - C_{\min}) / (K_m + C_n - C_{\min}),$$

где  $I_n$  – накопление элемента корнями растения;

$I_{\max}$  – наиболее высокая концентрация элемента в корнях растения при его максимальном насыщении элементом;

$C_n$  – концентрация элемента в доступной форме в ПКП и  $I_n$  – соответствующая ей концентрация данного элемента в корнях растения;

$C_{\min}$  – концентрация элемента в доступной форме в ПКП, при которой его концентрация в растении близка к нулю;

$K_m$  – константа Михаэлиса, представляющая собой концентрацию элемента в доступной для растения форме в ПКП, соответствующая концентрации этого элемента в корнях растения, равной  $1/2$  его максимальной концентрации ( $I_{\max}$ ), при этом константой Михаэлиса является такая концентрация доступного элемента в почвенной компоненте ПКП, после которой меняется его распределение с  $ПКП < Р < ОМП$  на  $ПКП \geq Р \geq ОМП$ .

Применение этого уравнения позволяет экономить денежные средства на проведение анализов образцов почвенного и растительного материала за счет их сокращения.

Для изучения влияния некорневой подкормки солями микроэлементов Mn, Co и Zn на



саженцы лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и сеянцы каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) на фоне основного удобрения NPK и без фона нами было проведено два эксперимента в питомнике ЛОД ТСХА. Трехлетний эксперимент с 2-летними саженцами лиственницы был заложен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, в которую было высажено 1020 экземпляров данных растений. Опыт состоял из 8 вариантов 4-кратной повторности.

Эксперимент, проведенный с сеянцами каштана, продолжался 2 вегетационных сезона с использованием аналогичных вариантов, что и в опыте с саженцами лиственницы, и состоял из 3-кратной повторности. Число сеянцев в начале эксперимента составляло 188 экземпляров.

Основное удобрение NPK в качестве фона и микроэлементы в концентрации 0,1 % вносились ежегодно, 3-кратно за вегетационный сезон.

На базе проведения полевых экспериментов над саженцами лиственницы сибирской и сеянцами конского каштана обыкновенного установлена эффективность применения метода некорневой подкормки микроэлементами, выражающаяся в повышении их приживаемости, улучшении физиологических, ростовых и весовых характеристик, следствием чего явилось обогащение почвы ризосферы растений органическим веществом и повышение продукции корневых выделений. Это определило усиление фиксации почвой металлов-поллютантов: Pb, Cd, Ni, Cu и Fe, уже содержащихся в ней до закладки эксперимента.

Для решения вопросов, связанных с реабилитацией почв, загрязненных тяжелыми металлами, необходимо всестороннее понимание экологической роли ризосферы. Эксперимент по изучению поведения тяжелых металлов в ризосфере древесных растений был заложен нами на ЛОД МСХА. Объектами исследований явились лиственница сибирская, сосна обыкновенная и береза повислая в возрасте 70–110 лет, произрастающие вдоль одного источника загрязнения – автодороги. Эксперимент проводился на дерново-подзолистой почве на двух расстояниях: 5–25 м и 50–70 м от автодороги в трех почвенных горизонтах – A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> и B. Почва была разделена на компоненты: ПКП, Пу ОМП по методике G.R. Gobran (1999) и проанализирована на pH<sub>KCl</sub>, содержание органического углерода, азота, фосфора и калия и 13 металлов: Cu, Zn, Ni, Co, Fe, Al, Mn, Mg, Na, Ca, Cr, Cd и Pb в их различных фракциях: Me<sub>обм.</sub>, Me<sub>+ов</sub>, Me<sub>+п/о</sub>, Me<sub>пр.</sub>, Me<sub>общ.р.</sub> и Me<sub>общ.э.</sub>

На основании обобщения материалов многолетних исследований, проведенных нами в лесопарковой зоне ЛОД ТСХА Москвы, выявлены и сформулированы основные экологические функции ризосферы древесных растений: *фитоадсорбционная*, *фитоэкстракционная* и *фитостабилизационная*, играющие важную роль в снижении токсичности почвенных поллютантов. Изучение степени проявления экологических функций дает информацию о питании растений в разных условиях, их реакции на загрязнение почвы и позволяет, ориентируясь на распределение металлов по различным фракциям почвенных компонентов (ПКП, Р и ОМП), осуществлять выбор древесных пород, наиболее эффективных в детоксикации почв.

Для изучения степени влияния тяжелых металлов на жизненное состояние и рост лиственницы сибирской и конского каштана обыкновенного были проведены многолетние исследования в условиях различной антропогенной нагрузки на территории Северного, Южного и Юго-Западного округов Москвы и в Подмосковье в аллеиных, массивных, групповых и одиночных посадках. Для исследований были выбраны молодые – 25–35-летние и старовозрастные – 90–135-летние посадки. Территории объектов исследований были разделены на 3 категории загрязненности. К первой категории относились посадки деревьев, непосредственно примыкающие к автодорогам, – зона интенсивного транспортного влияния (на расстоянии от 1 до 50 м от источника загрязнения). Ко второй категории – посадки относительно слабой загрязненности, расстояние от автодороги 50–500 м. И к третьей категории посадки на значительной удаленности от источника эмиссии, 500 м и более. Анализ почвы и листьев проводился по классическим методикам.

Был проведен анализ многолетних комплексных мониторинговых исследований по изучению состояния древесных растений на территории Северного, Юго-Западного и Южного округов Москвы и в Подмосковье на разных расстояниях от источников загрязнения – автодорог, в различных типах молодых и старовозрастных посадок: аллеиных, групповых, массивных и одиночных. Для оценки состояния здоровья насаждений использовались почвенные, экотоксикологические, физиологические, дендрохронологические и лесоводственные показатели. Установлено, что в условиях интенсивного загрязнения почвы объектов исследований отличались более высокими значениями pH, содержанием органического углерода, а также

значительным накоплением свинца, кадмия, калия, никеля, меди, цинка и железа. В этих условиях в листовом аппарате изучаемых древесных растений также зарегистрировано более высокое содержание поллютантов при снижении накопления биогенных элементов. При повышенном влиянии автотранспорта отмечено угнетение интенсивности фотосинтеза, снижение содержания хлорофиллов и активности каталазы в листьях древесных растений. Однако такие физиологические характеристики, как интенсивность дыхания и активность пероксидазы, напротив, оказались выше в этих условиях. Коэффициенты, выражающие отношения Fe/Mn и Pb/Ni, а также коэффициент угнетенности имели более высокие значения для листьев всех изучаемых древесных пород вблизи автодороги, в то время как коэффициенты Mn/Pb и Mn/Cr приняли большие значения на удалении от нее. Высота, диаметр и годичный прирост древесины изучаемых древесных растений оказались наиболее высокими в зоне наименьшего загрязнения.

#### Рекомендации

Применение метода индуцированной фитоэкстракции целесообразно сочетать с еже-

годным сбором опада и отпада и проведением мелиоративных мероприятий по организации водосбора с очищаемых участков в специальные резервуары, врытые в почву, в которые для очистки смываемых после обильных осадков вод, содержащих тяжелые металлы, могут быть помещены быстрорастущие малоценные для озеленения древесные растения с высоким коэффициентом биологического поглощения.

Внесение микроудобрений целесообразно осуществлять с учетом уровня обеспеченности почвы необходимыми микроэлементами и потребности растений в них. Наиболее объективная информация об этом может быть получена на основе изучения характера распределения металлов разных фракций по почвенным компонентам: ПКП, Р и ОМП.

Для условий, где проведение индуцированной фитоэкстракции загрязненных почв затруднено, предлагается использование детоксицирующей способности древесных растений, заложенной природой, осуществляя выбор пород с наибольшей степенью выраженности фитостабилизационной функции в их ризосфере.

## ПОПЕРЕЧНЫЙ НАДЛОМОВИДНЫЙ РАК ДУБА И ЕГО РОЛЬ В ДЕГРАДАЦИИ ПОРОСЛЕВЫХ ДУБРАВ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. КАЛУГИНА, *асп. ВГЛТА*

Под названием «рак» А.Т. Вакин [1] подразумевает «... довольно разнообразные ненормальные образования у дуба, вызванные различными причинами». В данную группу болезней относят прежде всего прогрессирующие раны с наплывами по краям – *открытый рак* и наплывы (опухоли), закрывающие рану полностью или частично и имеющие неровную поверхность – *закрытый рак*. Иногда рак сопровождается более или менее значительным гниlostным поражением древесины. Течение болезни в зависимости от ее происхождения может быть то медленным, то быстрым. Многие виды рака у дуба мало влияют на жизнеспособность дерева, и оно, будучи пораженным, живет много лет.

Видом открытого (иногда закрытого) рака у дуба является поперечный раковый наплыв, который «провоцируется» поселением пестрой дубовой тли (*Lachnus roboris* L.) и вызывается бактерией *Pseudomonas guercus Schem.* Полное название этой болезни – «поперечный надломо-

видный рак дуба». Болезнь встречается повсеместно в насаждениях разного возраста, но главным образом – в порослевых дубравах. Чаще поражаются загущенные молодняки на сухих, бедных почвах по надпойменным террасам. Повышенное распространение болезни (до 60–80 %) А.И. Воронцов [2] объясняет систематическим порослевым возобновлением дуба. Болезнь также широко распространена в защитных лесополосах вдоль железных и шоссейных дорог [3]. Поперечный надломовидный рак поражает все виды дуба, но наиболее интенсивно – дуб черешчатый; устойчивым к болезни считается дуб северный.

Возникает заболевание на молодых дубках, его развитие продолжается много лет. Вызывающая болезнь бактерия проникает в камбий стволиков и ветвей в области тонкой и переходной коры через повреждения пестрой дубовой тли. Заражению способствуют также различные механические повреждения, возникающие в процессе проводимых рубок ухода, в местах постоянного

прогона скота, повреждения, наносимые дикими копытными животными. Быстро развивающаяся поросль дуба имеет на большом протяжении стволиков тонкую, легкопроницаемую и ранимую кору, поэтому поражение болезнью бывает более значительным.

Молодые насаждения дуба (культуры) в возрасте 10–20 лет по видам повреждений имеют близкие характеристики. При этом следует лишь отметить, что отпад деревьев в 10-летнем возрасте выделяется несколько большей интенсивностью за счет механических повреждений (ошмыги, повреждения грызунами, копытными). Зараженность деревьев поперечным надломовидным раком в 10–20-летнем возрасте сохраняется на одном уровне. Это обстоятельство указывает на то, что заражение болезнью в данном возрастном периоде не имеет тесной связи с зафиксированными механическими повреждениями. В местах раковых язв отмечаются массовые следы присутствия кокцид.

На молодых стволиках и побегах в местах поражения образуются небольшие вздутия; разрастаясь, они принимают вид округлых образований. Кора на первичных вздутиях бывает гладкая или слегка шероховатая, как и на поверхностных частях стволика. Затем на вздутии образуется поперечная трещина, расположенная всегда поперек стволика. В дальнейшем рост первичного вздутия, по-видимому, уже не происходит. Разрастание тканей идет по внутренним стенкам и краям постепенно увеличивающейся трещины. Нередко, когда стволик дуба достигает на высоте 1,5 м толщины 4–6 см, открытая рана охватывает половину или более половины его окружности. На дне постоянно углубляющейся раны образуется участок отмершей коры, последняя со временем отслаивается, обнажая древесину. Возникшие параллельные рубцы со вздутыми краями покрываются наростами неправильной формы. В месте разрастающейся раковой раны, вдоль ее краев, ствол утолщается, образуя наплыв, простирающийся даже на противоположную от нее сторону. Ниже и выше раковой раны вследствие

падения прироста по диаметру образуются продольные впадины. Подобная деформация ствола делает его подверженным слому.

С увеличением возраста дерева возможны и иные пути развития раковых новообразований. В этих случаях первичная опухоль продолжает расти, а отмирание коры в верхней ее части происходит позднее. По краям ее образуются новые наросты древесины, покрытые комковатыми кусками коры, а сама опухоль постепенно заглубляется в древесину. При этом открытая рана не образуется, а разрастание опухоли сопровождается только поверхностным растрескиванием коры, покрывающейся комковатыми кусками. Нередко активный процесс разрушения локализуется в самом начале заболевания, вследствие чего существенных изменений древесины не происходит, а по пораженному месту разрастаются только очень крупные слоистые куски коры, и новообразование приобретает друзовидную форму. Развитие заболевания может сопровождаться новообразованием кольцевых выпуклостей с закрытой трещиной, иногда со следами трещины или вообще без нее. Возможна и муфтообразная форма поперечного надломовидного рака дуба, возникающая в случае близкого расположения друг от друга нескольких кольцевых выпуклостей. С ростом дерева отдельные из них замыкаются по окружности, а впадины между ними заплывают (зарастают). На молодых деревьях муфтообразные утолщения приобретают волнообразную форму. На старовозрастных деревьях муфтообразное утолщение может опоясывать ствол по всему диаметру.

Средняя зараженность поперечным надломовидным раком порослевых приспевающих древостоев в условиях  $D_2$  составляет 2,2 %,  $C_2$  – 3,0 %. Из этого можно предположить, что какая-то часть пораженных болезнью деревьев в молодом и среднем возрасте переходит в отпад.

В спелых древостоях зараженность поперечным надломовидным раком дуба составляет: в условиях  $D_2$  – 8,2 %,  $C_2$  – 17,0 %,  $D_1$  – 8,2 %, что в 4–5 раз выше, чем в приспевающих древостоях порослевого дуба.

Т а б л и ц а

**Сравнительная оценка молодых древостоев дуба по видам повреждений**

Возраст древостоя (лет)	Распределение деревьев по видам повреждений									
	здоровые		рак		мех. повреж.		отмершие		всего	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
10	1926	69,9	95	3,4	206	7,5	530	19,2	2757	100
20	784	75,6	34	3,3	56	5,4	163	15,7	1037	100

Из этого следует, что зараженность болезнью не ограничивается периодом молодняков и, вероятно, связана также с развитием спящих почек в зоне зарастания гнилевых сучьев в средневозрастных древостоях.

Во всех типах лесорастительных условий опухолевые язвы рака преобладают на жизнеспособных деревьях. Обычно более широко представлены закрытые формы опухолей (друзовидная, муфтообразная). В спелых свежих дубравах и судубравах опухолевые язвы концентрируются по стволу в зоне до 1,5 м. В сухой дубраве фиксируется более высокое по стволу расположение язв: 2–3,5 м (66,7 %), 4–10 м (26,7 %). Именно в этой зоне обнаруживаются массовые наросты на месте заросших гнилевых сучьев.

Зараженность поперечным надломовидным раком в перестойных порослевых дубравах составляет: в условиях  $D_2$  – 1,1 %,  $C_2$  – 12,1 %,  $D_1$  – 6,1 %. Здесь также преобладают закрытые

формы рака, расположенные высоко по стволу. Таким образом, вопрос о природе, например, друзовидной формы рака, а точнее, о ее связи с поперечным надломовидным раком, остается открытым. Очевидно, что в этом отношении требуются специальные морфо-анатомические исследования.

Поперечный надломовидный рак широко представлен в порослевых дубравах региона; наивысшего своего распространения болезнь достигает в суборевых типах лесорастительных условий и может служить индикатором деградационных процессов.

#### Библиографический список

1. Вакин, А.Т. Фитопатологическое состояние дубрав Теллермановского леса / А.Т. Вакин // Тр. ин-та АН СССР. – Т. XVI. – 1954. – С. 5–109.
2. Воронцов, А.И. Патология леса / А.И. Воронцов. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 270 с.
3. Федоров, Н.И. Лесная фитопатология / Н.И. Федоров. – Минск.: Высшая школа, 1987. – 128 с.

## ОСОБЕННОСТИ СУКЦЕССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОСЛЕВЫХ ДУБРАВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

С.В. КАЛУГИНА, *асп. ВГЛТА*,  
Е.Е. МЕЛЬНИКОВ, *студент ВГЛТА*

Сукцессия – последовательная смена во времени сообществ биоты на определенном участке земной поверхности. В результате формируется климаксное (терминальное), т.е. относительно стабильное растительное сообщество, завершающее сукцессию. В отличие от циклической (вековой) и автогенной сукцессии, в порослевых деградирующих дубравах формируется демутиационная форма сукцессий, отражающая смену растительности, происходящую после ее нарушения.

В условиях свежей дубравы ( $D_2$ ) смена состава древесных пород находится в прямой зависимости от возраста древостоя. В приспевающих и спелых порослевых дубравах в основном полог обычно преобладает дуб. В перестойных древостоях за счет интенсивного отмирания фауных, потерявших жизнеспособность, деревьев дуба состав древесных пород усложняется прежде всего за счет клена остролистного и липы мелколистной (8Д 1Кл 1Лп). В 100-летних древостоях усложнения породного состава происходит также за счет единичных деревьев вяза мелколистного и груши лесной. В старовозрастных древостоях (180 лет) наблюдается резкое сниже-

ние доли дуба и увеличение доли ясеня, кленов, вяза; липа, груша, черешня представлены единично. В молодых и средневозрастных культурах при отсутствии лесохозяйственного ухода отмечена массовая гибель дуба семенного происхождения (поражение опенком) и, как результат этого, появление в насаждении поросли дуба, липы, клена остролистного, вяза и корневых отпрысков осины. В подобных случаях наиболее массово бывает представлен ясень порослевого происхождения.

В условиях сухой дубравы сукцессионные процессы в порослевых древостоях также проявляются по мере их старения, но менее выражены. Породный состав деревьев дубравного комплекса по сравнению с условиями  $D_2$  обеднен, происходит сильное развитие напочвенного травяного покрова. Древостои в условиях сухой дубравы отличаются меньшей фауностью, а следовательно, более высокой жизнеспособностью дуба и его долговечностью.

В свежей судубраве на более легких и бедных почвах усложнения породного состава дубравного комплекса с возрастом древостоя не происходит.



**Динамика состава древесных пород порослевых дубрав в зависимости от возраста древостоев и типа лесорастительных условий**

№ п/п	ТЛУ	Возраст (лет)	Соотношение древесных пород в насаждениях, шт./%								Состав древесных растений
			дуб	ясень	клен остролист.	липа	вяз	осина	груша	черешня	
1	Д <sub>2</sub>	40	57 36,2	50 36,2	12 8,7	8 5,8	6 4,4	5 3,6	–	–	4Д4Яс1Кл1Лп
2	Д <sub>2</sub>	50	223 100	–	–	–	–	–	–	–	10Д
3	Д <sub>2</sub>	85	97 82,9	–	8 7,0	14 12,0	–	–	–	–	8Д1Кл1Лп
4	Д <sub>2</sub>	100	87 82,9	–	4 3,8	11 0,5	2 1,8	–	1 1,0	–	8Д1Лп1Кл
5	Д <sub>2</sub>	180	27 18,0	42 28,0	68 45,0	1 0,7	10 7,0	–	1 0,7	1 0,6	2Д3Яс5Кл
6	Д <sub>1</sub>	85	183 82,1	31 13,9	8 3,6	1 0,4	–	–	–	–	8Д2Яс
7	Д <sub>1</sub>	100	181 90,0	16 8,0	–	4 2,0	–	–	–	–	9Д1Яс
8	С <sub>2</sub>	65	100 100	–	–	–	–	–	–	–	10Д
9	С <sub>2</sub>	80	106 100	–	–	–	–	–	–	–	10Д
10	С <sub>2</sub>	120	74 100	–	–	–	–	–	–	–	10Д

При снижении полноты древостоя появляется массовый самосев сосны с возможным дальнейшим формированием породного состава суборевого типа. Процесс выпадения дуба, как показывают наблюдения, по своей интенсивности неоднозначен. Доля его деревьев, сохраняющих относительную жизнеспособность, колеблется в пределах 18,4–73,7 %, а ограниченно жизнеспособные (15,8–38,7 %) и нежизнеспособные (9,1–32,7 %) деревья остаются массовыми. При этом жизнеспособность липы (68,8–82,0 %) и клена остролистного (62,1–88,8 %) существенно выше: среди них выпадают, как правило, деревья угнетенные и имеющие механические повреждения (ошмыги, снеголом).

В пределах формирующегося древесного сообщества выделяются три возрастные группы: 1) деревья, достигшие основного полога (порослевого и корнеотпрыскового поколения); 2) подрост, составляющий второй ярус; 3) самосев последних 2–3 лет. Подрост состоит из липы мелколистной, кленов остролистного и полевого; его высота – 1–2,5 м, диаметр – 0,8–2,4 см, состояние благополучное. Самосев обильный, среднее его количество на 1 м<sup>2</sup> составляет: дуб – 2,3 шт., липа – 0,5 шт., клен остролистный – 35,1 шт., ясень – 1,0 шт., осина – 0,2 шт. Характерно, что самосев дуба не переходит в состояние подроста и после серии перевершинивания превращается в торчки и гибнет.

Подлесок на данной фазе сукцессии сохраняет свой состав и плотность.

### Выводы

1. В порослевых дубравах региона преобладает демутационная форма сукцессии. Дубравный тип древостоя наиболее стабилен в условиях сухой дубравы; в условиях свежей дубравы сукцессионные процессы выражены сильнее.

2. Развитие сукцессионных процессов в порослевых древостоях дуба находится в прямой зависимости от их возраста. В средневозрастных, припевающих и спелых древостоях в основном пологом преобладает дуб. В перестойных древостоях вследствие интенсивного отпада потерявших жизнеспособность деревьев дуба породный состав усложняется преимущественно за счет липы, клена остролистного и ясеня.

3. В пределах формирующегося древесного сообщества выделяются три возрастные группы: деревья спутников дуба порослевого и корнеотпрыскового поколения, достигшие основного полога; подрост, входящий во второй ярус; самосев последних лет.

4. Подлесок и напочвенный травяной покров в ходе интенсивного развития демутационной формы сукцессии в общих чертах сохраняют свой состав и плотность.

5. В культурах дуба семенного происхождения сукцессионные процессы могут быть вызваны несвоевременностью или отсутствием лесохозяйственного ухода, развитием очагов массового размножения вредителей и болезней.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОСВЯЗЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

А.А. МОРДАСЬ, *ст. науч. сотр. Института леса Карельского НЦ РАН, канд. с.-х. наук,*

Б.В. РАЕВСКИЙ, *ст. науч. сотр. Института леса Карельского НЦ РАН, канд. с.-х. наук,*

Е.В. ДАНИЛОВА, *инженер Института леса Карельского НЦ РАН*

Использование при создании лесных культур посевного или посадочного материала с наследственно обусловленным быстрым ростом способно существенно повысить эффективность искусственного лесовосстановления. Как известно, генетическая оценка плюсовых деревьев или их клонов возможна в испытательных культурах в течение сравнительно длительного периода или при помощи методов ранней диагностики. Под ранней диагностикой наследственных свойств понимается научно обоснованное прогнозирование будущих параметров взрослой особи на основе ранее выявленных для данного вида статистически достоверных корреляций морфобιологических признаков семян и сеянцев с ростом этих же растений в последующие годы [1]. В процессе многолетних исследований в условиях подзоны средней тайги Карелии на клоновой лесосеменной плантации (ЛСП) Олонецкого лесхоза были составлены подробные морфологические портреты и дана селекционная оценка группы (39 шт.) клонов сосны различного географического происхождения, в том числе и с учетом данных, полученных в испытательных культурах 8–15-летнего возраста [2].

В настоящей работе, кроме решения других задач, была предпринята попытка провести оценку полусибовых семей вышеупомянутых хорошо изученных клонов одним из методов ранней диагностики по числу семядолей, разработанным СевНИИЛХ [3, 4]. Он основан на закономерностях расщепления потомства отдельных деревьев и популяций сосны по числу семядолей у всходов (семян) и роста этого потомства в течение первых 10 лет жизни растений. Как отмечают авторы, интенсивность роста деревьев сосны возрастает от 4-х к 8-семядольной линии, при этом лучшей энергией роста обладают деревья 6–8-семядольных линий. В 20–29-летнем возрасте они превосходят деревья 4–5-семядольных линий по объему ствола на 12–38 %.

По признаку количества семядолей в Южно-Сахалинском пединституте были разработаны схемы селекции сосны и ели для выращи-

вания устойчивых и продуктивных насаждений с заданными параметрами качества [5]. Этот же признак учитывался у сеянцев сосны Банкса при изучении ее ландшафтной генетической структуры в Мексике. Перспективность признака семядольности для ранней диагностики энергии роста сеянцев сосны разного географического происхождения подчеркивается в публикации Е.Г. Орленко и З.С. Поджаровой [6].

В то же время в ряде публикаций высказывается мнение, что однолетние всходы сосны с повышенным количеством семядолей не имеют преимущества в росте в сравнении со средними данными по опыту [7]. Исследованиями, проведенными Паалем в Эстонии, было показано, что число семядолей неприменимо при идентификации клонов сосны. У ели этот признак также не имел раннедиагностического значения [8]. По данным исследований, проведенных в Австрии, число семядолей у всходов ели не может служить определяющим признаком для установления генотипа клонов или насаждений.

В нашем эксперименте изучались одно- и двухлетние сеянцы сосны, выращенные в условиях контролируемой среды (в теплице) по ранее разработанной технологии [9]. Опытные посеы были произведены весной 2002 г. Для целей фенотипического анализа 39 клоновых потомств были сгруппированы в 8 условных «популяций», представляющих разные лесосеменные районы Карелии, а также Московскую обл., где, как известно, находится физико-географический оптимум сосны обыкновенной. Всего было заложено 40 вариантов площадью по 2 м<sup>2</sup> каждый. Контролем служил образец семян общего сбора с ЛСП Олонецкого лесхоза.

В однолетних посевах определяли гнотовую всхожесть семян как отношение числа высеянных семян к числу появившихся всходов в 10-кратной повторности. Количество семядолей подсчитывалось у 30–50 всходов в каждом варианте. В конце второго вегетационного периода из каждого варианта были отобраны образцы сеянцев в количестве 100 шт. для последующего

анализа. В лабораторных условиях определяли параметры, характеризующие количественные и качественные признаки посадочного материала различного происхождения, такие, как:

- высота;
- диаметр у корневой шейки;
- количество верхушечных почек;
- количество боковых побегов;
- длина максимального бокового побега;
- длина хвои;
- наличие треххвойных брахибластов;
- абсолютно сухая масса хвои;
- абсолютно сухая масса стволиков.

Полученные данные обрабатывались общепринятыми методами математической статистики с определением основных характеристик изменчивости количественных признаков.

Опыт показал, что полусибовые потомства клонов различного происхождения по числу семядолей различались незначительно (табл. 1). Судя по среднегрупповым данным, все они имеют потенциальную возможность быстрого роста, т.к. суммарная доля 6–8-семядольных линий в подавляющем большинстве групп превышает 80 %. Однако встречаются клоны, в потомстве которых эта доля составляет 90 % и более при коэффициенте вариации ниже среднего по группе. Этот момент, в принципе, может быть использован в качестве одного из дополнительных критериев при селекционно-генетической оценке плюсовых деревьев или их клонов. Следует также отметить и тот факт, что количество наиболее перспективных 7–8-семядольных особей среди всех полуси-

бовых потомств не превышало 30 %, а основная масса всходов (около 60 %) относилась к 6-семядольной линии (рисунок).

Низкий уровень коэффициента вариации данного признака свидетельствует о том, что он достаточно консервативен и как видовой признак жестко генетически контролируется. В нашем случае из 39 вариантов только 6, у которых среднее число семядолей было 6,4 и более, имели с контролем статистически достоверную разность. Здесь и далее по тексту статистическая достоверность дана по первому порогу вероятности безошибочных прогнозов ( $P = 0,95$ ). При сравнении на уровне популяций (групп) ни одна из них не имела достоверной разности с контролем. Важно и то, что среднегрупповые величины по числу семядолей никак не отражали ранжирование этих групп клонов по скорости роста, установленного на основе длительных наблюдений. На основании многолетних данных известно, что московские клоны являются, относительно остальных, самыми быстрорастущими, а по числу семядолей они ничем не выделяются. То же самое можно сказать и в отношении клонов группы «Север», хотя они растут медленнее всех. Полусибовые потомства клонов популяции «Ругозеро» в испытательных культурах существенно уступают потомствам клонов популяции «Олонец 1» по росту в высоту, а по среднему числу семядолей между ними разницы нет. В целом просматривается явная выравниваемость многих изученных показателей у полусибовых потомств, что свидетельствует о высоком уровне перекрестного опыления в пределах ЛСП.

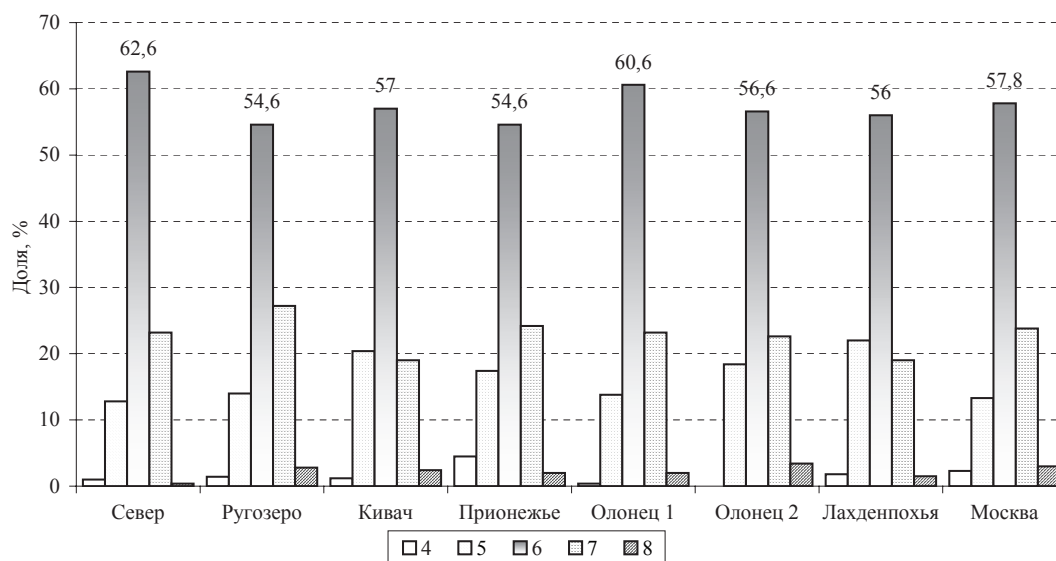


Рисунок. Распределение сеянцев (%) по количеству семядолей в популяциях

**Изменчивость числа семядолей и всхожести семян в потомствах клонов сосны  
различного происхождения (сбор шишек – 2001 г., посев – 2002 г.)**

Шифр клона	Масса 1000 шт. семян, г.	Средняя грунт. всхожесть, %	Число семядолей, шт			Суммарная доля 6,7,8-семядоль- ных растений, %
			$\bar{X} \pm m_x^*$	$P, \%^*$	$Cv, \%^*$	
Контроль	5,90	51,6	5,93 ± 0,11	1,8	9,8	87
Северно-карельский лесосеменной подрайон (64°30' – 66°40' с.ш.)						
674 Юшкозеро	6,52	43,2	6,10 ± 0,10	1,64	9,0	90
676 Юшкозеро.	5,38	68,9	6,12 ± 0,11	1,79	12,6	78
669 Калевала.	6,35	46,3	5,97 ± 0,10	1,70	9,3	83
216 Кестеньга.	7,37	51,4	6,23 ± 0,11	1,83	10,0	90
217 Кестеньга.	6,83	49,0	6,17 ± 0,13	2,07	11,3	90
Север	6,49	51,9	6,12 ± 0,05	0,83	10,8	86
Центрально-карельский лесосеменной подрайон (63°00' – 64°30' с.ш.)						
1 Ругозеро	6,60	25,3	6,60 ± 0,40	2,1	11,7	93
3 Ругозеро	5,37	59,6	6,23 ± 0,10	1,7	9,1	97
7 Ругозеро	6,02	51,8	6,17 ± 0,14	2,3	12,4	80
20 Ругозеро	6,05	31,8	6,13 ± 0,12	2	11,1	83
22 Ругозеро	5,52	54,2	5,67 ± 0,12	2,1	11,7	70
Ругозеро	5,91	45,3	6,16 ± 0,06	1,0	12,1	85
Южно-карельский лесосеменной район (63°00' – 60°40' с.ш.)						
7 Кивач	6,91	57,8	6,15 ± 0,10	1,6	11,7	72
10 Кивач	6,52	35,4	6,08 ± 0,10	1,6	11,0	84
14 Кивач	7,08	64,0	6,62 ± 0,11	1,6	11,4	98
15 Кивач	4,97	61,0	5,82 ± 0,09	1,5	10,8	70
18 Кивач	5,93	72,8	5,70 ± 0,09	1,6	11,3	68
Кивач	6,28	58,2	6,01 ± 0,05	0,8	12,5	78
644 Прионежье	7,79	44,3	6,58 ± 0,08	1,2	8,2	100
649 Прионежье	6,86	51,8	6,03 ± 0,12	2,0	11,1	83
582 Петрозводск	6,40	67,0	6,00 ± 0,11	1,8	12,6	78
584 Петрозводск	5,69	47,9	5,93 ± 0,18	3,0	16,5	73
132 Шуйско-Виданский	6,27	60,0	5,87 ± 0,12	2,1	11,6	70
Прионежье	6,60	55,0	6,13 ± 0,06	0,9	12,5	81
2 Олонец	5,89	69,6	6,02 ± 0,10	1,6	11,2	79
3 Олонец	7,72	66,3	6,46 ± 0,10	1,5	10,9	94
5 Олонец	5,89	56,6	6,14 ± 0,12	1,9	13,3	82
8 Олонец	5,56	37,6	6,10 ± 0,08	1,3	9,5	88
9 Олонец	6,25	22,4	5,90 ± 0,08	1,3	6,9	86
Олонец (1)	6,26	51,5	6,15 ± 0,05	0,7	11,2	86
10 Олонец	6,42	52,2	6,20 ± 0,10	1,6	8,9	93
12 Олонец	5,22	59,0	5,80 ± 0,11	1,9	10,2	73
13 Олонец	6,86	55,2	5,97 ± 0,14	2,3	12,8	73
14 Олонец	7,63	50,0	6,73 ± 0,14	2,0	11,0	97
17 Олонец	5,06	42,0	5,90 ± 0,10	1,7	9,3	80
Олонец (2)	6,24	51,7	6,12 ± 0,06	1,0	11,7	82
27 Лахденпохья	5,93	32,4	5,93 ± 0,13	2,1	11,7	73
28 Лахденпохья	5,38	51,8	5,70 ± 0,14	2,4	13,2	64
36 Лахденпохья	5,65	55,8	6,23 ± 0,11	1,8	9,6	90
45 Лахденпохья	5,88	32,0	5,80 ± 0,14	2,4	13,1	67
51 Лахденпохья	5,02	65,6	6,10 ± 0,13	2,1	11,7	87
Лахденпохья	5,57	47,5	5,93 ± 0,06	1,0	12,1	76
Центральный (Московский) лесосеменной район						
1 Москва	7,26	46,8	6,08 ± 0,10	1,6	11,3	86
2 Москва	7,54	35,5	6,00 ± 0,11	1,8	10,0	83
3 Москва	8,56	54,6	6,45 ± 0,13	2,1	11,3	93
4 Москва	5,96	58,8	5,80 ± 0,16	2,7	14,9	76
Москва	7,33	51,3	6,09 ± 0,06	1,0	12,1	85

Примечание:  $\bar{X} \pm m_x$  – среднее и его ошибка;  $P, \%$  – точность определения среднего;  $Cv, \%$  – коэффициент вариации



**Изменчивость биометрических показателей 2-летних тепличных сеянцев сосны,  
выращенных из семян разного происхождения**

Вариант	Густота, шт./м <sup>2</sup>	Высота, см		Диаметр, мм		Длина хвои в подпочечной зоне, см	
		$\bar{X} \pm m_x$	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm m_x$	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm m_x$	$C_v, \%$
Контроль	516	13,8 ± 0,5	34,3	2,29 ± 0,09	38,73	9,5 ± 0,2	26,1
Северно-карельский лесосеменной подрайон ( 64°30' – 66°40' с.ш. )							
674 Юшкозеро	432	15,7 ± 0,4	26,6	2,2 ± 0,07	29,6	9,4 ± 0,2	16,8
676 Юшкозеро	686	19,0 ± 0,4	22,0	2,5 ± 0,07	29,7	9,3 ± 0,2	19,0
669 Калевала	463	13,6 ± 0,3	24,7	2,0 ± 0,06	29,6	9,9 ± 0,2	20,2
216 Кестеньга	520	14,1 ± 0,4	23,8	2,0 ± 0,06	28,2	9,2 ± 0,2	19,0
217 Кестеньга	490	14,1 ± 0,3	22,7	2,1 ± 0,05	22,4	8,7 ± 0,2	19,8
Север	518	15,3 ± 0,4	24,0	2,2 ± 0,06	27,1	9,3 ± 0,2	18,9
Центрально-карельский лесосеменной подрайон ( 63°00' – 64°30' с.ш. )							
1 Ругозеро	550	14,2 ± 0,4	27,5	2,1 ± 0,07	32,3	9,6 ± 0,2	21,5
3 Ругозеро	596	14,5 ± 0,4	26,3	2,4 ± 0,07	30,4	9,5 ± 0,2	20,0
7 Ругозеро	518	14,4 ± 0,4	25,7	2,3 ± 0,07	29,2	10,1 ± 0,2	18,5
20 Ругозеро	560	14,1 ± 0,4	28,0	2,2 ± 0,07	30,0	9,7 ± 0,2	22,0
22 Ругозеро	542	13,9 ± 0,4	29,0	2,1 ± 0,08	36,4	9,6 ± 0,3	25,4
Ругозеро	553	14,3 ± 0,4	27,0	2,2 ± 0,07	31,97	9,7 ± 0,2	21,3
Южно-карельский лесосеменной район ( 63°00' – 60°40' с.ш. )							
7 Кивач	578	14,8 ± 0,4	30,1	2,31 ± 0,07	30,2	10,1 ± 0,2	15,9
10 Кивач	534	15,3 ± 0,5	28,6	2,56 ± 0,09	35,0	9,9 ± 0,2	18,4
14 Кивач	640	15,6 ± 0,4	27,0	2,18 ± 0,07	34,1	8,5 ± 0,2	24,1
15 Кивач	610	14,9 ± 0,4	25,9	2,06 ± 0,05	23,0	9,2 ± 0,2	18,2
18 Кивач	726	16,0 ± 0,3	19,1	2,31 ± 0,06	23,9	9,3 ± 0,2	18,9
Кивач	618	15,3 ± 0,4	26,1	2,30 ± 0,07	29,2	9,4 ± 0,2	19,1
644 Прионежье	565	14,0 ± 0,3	23,1	2,2 ± 0,05	27,1	10,0 ± 0,2	18,0
649 Прионежье	518	15,0 ± 0,4	26,2	2,3 ± 0,06	28,4	10,0 ± 0,2	21,4
582 Петрозаводск	670	13,1 ± 0,2	17,3	2,0 ± 0,05	25,3	10,5 ± 0,2	15,5
584 Петрозаводск	476	15,2 ± 0,4	24,0	2,3 ± 0,06	25,0	8,4 ± 0,2	19,4
132 Шуйско-Виданский	600	13,7 ± 0,3	22,8	2,1 ± 0,06	27,4	9,9 ± 0,1	13,8
Прионеж.	566	14,3 ± 0,3	22,6	2,2 ± 0,06	26,5	9,7 ± 0,2	17,5
2 Олонец	696	15,0 ± 0,4	24,3	2,2 ± 0,06	27,71	10,0 ± 0,2	17,4
3 Олонец	663	15,5 ± 0,4	27,5	2,5 ± 0,07	29,63	10,7 ± 0,2	19,9
5 Олонец	586	16,6 ± 0,4	24,5	2,4 ± 0,07	27,51	9,3 ± 0,2	21,9
8 Олонец	376	17,1 ± 0,5	29,2	2,9 ± 0,08	26,42	8,7 ± 0,2	21,3
9 Олонец	579	16,3 ± 0,5	26,5	2,4 ± 0,07	27,8	9,6 ± 0,2	21,0
Олонец (1)	580	16,0 ± 0,4	26,4	2,50 ± 0,07	27,82	9,7 ± 0,2	20,1
10 Олонец	582	12,8 ± 0,3	25,6	2,2 ± 0,06	26,4	9,1 ± 0,2	18,2
12 Олонец	567	13,2 ± 0,3	26,2	2,2 ± 0,07	27,3	9,4 ± 0,2	19,5
13 Олонец	523	11,3 ± 0,3	24,7	2,0 ± 0,07	25,9	10,4 ± 0,2	20,8
14 Олонец	621	15,6 ± 0,4	28,9	2,3 ± 0,07	24,9	8,7 ± 0,2	21,0
17 Олонец	650	13,2 ± 0,3	28,5	2,2 ± 0,08	28,9	9,4 ± 0,2	21,2
Олонец(2)	587	13,2 ± 0,3	26,8	2,2 ± 0,07	26,7	9,4 ± 0,2	20,1
27 Лахденпохья	324	14,9 ± 0,4	23,6	2,25 ± 0,07	28,5	9,3 ± 0,2	16,2
28 Лахденпохья	516	14,6 ± 0,4	27,3	2,23 ± 0,07	32,87	10,4 ± 0,2	20,1
36 Лахденпохья	558	14,1 ± 0,3	22,6	2,20 ± 0,05	24,74	10,7 ± 0,2	19,9
45 Лахденпохья	320	15,5 ± 0,4	25,8	2,62 ± 0,06	22,37	9,0 ± 0,2	17,5
51 Лахденпохья	656	20,4 ± 0,5	23,3	2,48 ± 0,07	28,32	9,6 ± 0,2	19,9
Лахденпохья	475	15,9 ± 0,4	24,5	2,36 ± 0,07	27,36	9,8 ± 0,2	18,7
Южно-кар. р-он		15,4 ± 0,2	28,7	2,33 ± 0,03	31,2	9,6 ± 0,1	23,1
Центральный (Московский) лесосеменной район							
1 Москва	576	19,0 ± 0,5	26,5	2,5 ± 0,07	31,0	9,4 ± 0,2	20,0
2 Москва	560	19,1 ± 0,7	32,0	2,6 ± 0,08	30,0	9,5 ± 0,2	19,8
3 Москва	546	20,0 ± 0,5	25,3	2,5 ± 0,07	29,36	9,9 ± 0,2	19,5
24 Москва	588	18,2 ± 0,6	32,3	2,6 ± 0,08	31,29	9,1 ± 0,2	20,1
Москва	568	19,1 ± 0,6	28,8	2,6 ± 0,08	30,32	9,5 ± 0,2	19,8

**Биомасса надземной части 2-летних тепличных сеянцев сосны в абсолютно сухом состоянии в зависимости от исходной высоты**

Класс высоты, см	Масса 100 сеянцев, %			H, см	D, мм	D <sup>2</sup> H	%
	хвоя	ствол.	отношение хвои/ствол.				
4–7	67,8	32,2	2,1/1	6,3	1,3	0,12	100,00
7–10	68,4	31,6	2,2/1	9,3	1,6	0,24	98,10
10–13	67,3	32,7	2,1/1	12,1	1,9	0,47	86,30
13–16	68,7	31,3	2,2/1	15,0	2,3	0,82	64,23
16–19	64	36	1,8/1	17,8	2,6	1,28	35,89
19–22	60,6	39,4	1,5/1	20,6	2,9	1,85	17,91
22–25	60,0	40,0	1,5/1	23,9	3,4	2,79	5,33
25–28	60,6	39,4	1,5/1	26,8	3,5	3,40	2,02
28–31	60,4	39,6	1,5/1	30,0	3,7	4,25	0,59
31–34	57,6	42,4	1,4/1	33,4	4,1	5,84	0,19
34–37	54,2	45,8	1,2/1	35,0	3,6	4,54	0,03

Средняя грунтовая всхожесть семян большинства клонов оказалась сравнительно высокой – 51–58 %. Несколько ниже она была у клонов из популяций «Ругозеро» и «Лахденпохья» (45–48 %). В ряде случаев наблюдались значительные отклонения этого параметра от среднего. Это, однако, связано не с генетическими различиями клонов, а с неравномерностью полива в период прорастания семян, обусловленного несовершенством поливной системы.

Исходя из данных табл. 2 уровни изменчивости двухлетних сеянцев сосны по высоте и диаметру во всех вариантах оцениваются как повышенные ( $C = 21 \div 30$  %), а по длине хвои в большинстве случаев как средние ( $C = 13 \div 20$  %).

Из 39 испытанных потомств 19, из 8 популяций – 5 (со средней высотой 15,0 см и более), т.е. примерно половина, статистически достоверно превосходили контроль по высоте. В число десяти самых быстрорастущих потомств вошли представители всех изучаемых популяций, кроме «Ругозеро». Полусибовые потомства разных лет репродукции большинства из перечисленных в табл. 2 клонов неоднократно высеивались в теплице Олонцкого лесхоза. Посев 2002 г. в целом подтвердил ранее отмеченные закономерности. Потомства московских клонов всегда были самыми высокорослыми. Потомства ругозерской популяции и на этапе питомника, и в испытательных культурах статистически существенно уступали популяциям Южно-Карельского семенного района. Характерно, что у полусибовых потомств северных клонов не проявляется закономерность сравнительно медленного роста северных экотипов при перемещении их к югу, столь характерная для многих вегетативных потомств. Никакой связи меж-

ду количеством семядолей и биометрическими показателями двухлетних сеянцев сосны не было выявлено. Отмечена только средней тесноты корреляция ( $r = 0,6$ ) среднего числа семядолей с массой 1000 шт. семян. Таким образом, раннедиагностическое значение числа семядолей на данном экспериментальном материале не подтвердилось.

Повышенный уровень изменчивости по высоте и диаметру предполагает возможность разделения сеянцев на фракции по крупности и одновременно по биомассе, т.к. линейные параметры (высота, диаметр) тесно коррелируют с биомассой надземной части (табл. 3).

Важнейшими показателями, характеризующими степень развития структурно-функциональных органов сеянцев, являются их высота, диаметр у корневой шейки и биомасса. Весьма эффективным для отбора деревьев-лидеров ряд авторов [10] считает производный показатель  $D^2H$  (диаметр в квадрате, умноженный на высоту). Как видно из табл. 3, чем мельче сеянцы, тем большую часть их биомассы составляет ассимилирующий орган – хвоя. В изменении этого показателя по классам высоты в нашем примере просматриваются качественные скачки, позволяющие разделить растения на три группы: I – сеянцы с высотой 4–16 см; II – 16–31 см; III – 31–37 см. С этой группировкой хорошо совмещаются такие параметры, как диаметр и  $D^2H$ . Отбраковка группы I оставила бы в нашем распоряжении около 36 % наиболее гармонично развитых сеянцев. Такая дифференциация двухлетних сеянцев по биометрическим показателям в загущенных посевах, естественно, является некоторым итогом конкурентных отношений на грядке, где распределение важнейших экологических факторов (влаги и питательных веществ)

неидеально равномерны. Однако есть все основания предположить, что основной вклад в результат этого внутривидового соревнования вносится наследственностью. Поэтому, как отмечал Е.Л. Маслаков, сортировка сеянцев перед посадкой на лесокультурную площадь по категориям крупности может быть одним из эффективных методов ранней диагностики посадочного материала по скорости роста. Справедливости ради надо отметить, что размеры этого вклада остаются математически не определенными, поскольку если общая оценка вклада генотипа в наблюдаемое фенотипическое разнообразие с использованием статистических процедур на клонных ЛСП не представляет собой особой сложности, то во всех иных случаях возникают серьезные проблемы.

Среди других признаков, характеризующих качество посадочного материала, учитывались длина главного корня, количество верхушечных почек и боковых побегов, длина максимального бокового побега, наличие треххвойных брахибластов (табл. 4). Данные о длине главного корня характеризуют глубину копки сеянцев, которая для всех вариантов была примерно одинаковой – около 18 см.

Усредненные показатели количества верхушечных почек колеблются в узких пределах – от 2,7 до 3,5 шт. Среди рассматриваемых групп заметно выделяются потомства популяций «Лахденпохья», «Москва» и «Олонец-1» как по среднему количеству почек, так и по количеству сеянцев с 6-ю и 7-ю почками. Это создает им после пересадки преимущество по числу ветвей в первой мутовке и охвоенности.

Количество сеянцев с боковыми побегами и их размеры в целом характеризуют степень развития вегетативных органов сеянцев до посадки в школу или на лесокультурную площадь. Этому показателю всегда придавалось существенное значение как предпосылке хорошей приживаемости и сохранности культур. Среди рассматриваемых вариантов можно выделить потомства клонов 676 Юшкозеро, 3 и 7 Ругозеро, 10 и 18 Кивач, 649 Прионежье, 5, 8 и 14 Олонец, 27 и 45 Лахденпохья, 3 и 24 Москва, как имеющих долю сеянцев с боковыми побегами, равную 50 % и выше. Только в этих потомствах встречались сеянцы с 5–8-ю побегами.

Дополнительно к методу ранней диагностики по числу семядолей при оценке потомств плюсовых деревьев был использован признак треххвойности. Он также считается признаком

ранней диагностики для отбора семенных деревьев на продуктивность потомства. Полагают, что деревья с устойчивым признаком треххвойности растут быстрее остальных [1].

В табл. 5 приводится перечень биометрических показателей и морфологических признаков, теснота связи между которыми оценивается как статистически достоверная ( $P = 0,95$ ) с коэффициентами корреляции от 0,5 и выше. Связь между биометрическими показателями сеянцев и долей особей с треххвойными пучками характеризовалась как средняя по тесноте с коэффициентами корреляции от 0,52 до 0,63. Надо отметить, что среди всех изученных признаков сеянцев признак треххвойности был единственным достоверно коррелирующим ( $r = 0,46$ ) с приростом материнского клона в высоту.

В целом, оценивая результаты раннедиагностических тестов на этапе выращивания селекционного посадочного материала сосны, нужно отметить следующее.

Просматривается выравненность изучаемых потомств по среднему числу семядолей. Ни один из вариантов не отклоняется существенно от контроля. Популяции «Север» и «Москва» совершенно не отличаются по данному параметру. Наблюдается средней тесноты ( $r = 0,62$ ) положительная связь между массой тысячи семян и средним количеством семядолей. Известно, что крупность семян положительно сказывается на размерах сеянцев и имеет некоторый эффект в первые годы роста на лесокультурной площади. В дальнейшем различия сглаживаются, так что данный тест по семядолям вряд ли имеет перспективы в селекционной работе с сосной. Закономерность сравнительно медленного роста северных происхождений при перемещении их к югу, выявленная наблюдениями за вегетативным потомством (клонами), в их семенном потомстве (двухлетние сеянцы) не подтверждается. Тем не менее, сеянцы московских клонов были самыми высокорослыми и имели наибольший процент особей с признаком треххвойности. У популяции «Север» этот параметр находился в минимуме. Поскольку выявлена достоверная положительная корреляция (0,52–0,63) между биометрическими показателями варианта и количеством особей с треххвойными пучками, а также положительная связь между долей таких особей в потомстве и скоростью роста материнского клона ( $r = 0,46$ ), то этот тест заслуживает дальнейшей проверки.

**Биометрические показатели 2-летних тепличных сеянцев сосны,  
выращенных из семян разного происхождения**

Клон	Высота, см	Диаметр, мм	Длина главн. корня, см	Кол-во вер- хуш. почек, шт.	Кол-во боко- вых побегов, шт.	Длина макс. бок. побега, см	Длина хвои в подпочеч. зоне, см	Доля сеянц. с треххв. пучками, %
Контроль	13,8	2,29	19,1	2,9	0,9	6,1	9,5	9,0
Северно-карельский лесосеменной подрайон (64°30' – 66°40')								
674 Юшкозеро	15,7	2,2	16,4	2,9	0,3	5,6	9,4	1
676 Юшкозеро	19,0	2,5	18,8	3,1	1,7	4,5	9,3	6
669 Калевала	13,9	2,0	19,3	2,8	0,2	5,6	9,9	4
216 Кестеньга	14,0	2,0	18,0	2,7	0,4	5,7	9,2	2
217 Кестеньга.	14,1	2,1	18,6	2,7	0,6	5,9	8,7	1
Север	15,7	2,2	18,3	2,8	0,6	5,5	9,3	3,0
Центрально-карельский лесосеменной подрайон (63°00' – 64°30')								
1 Ругозеро	14,3	2,3	17,5	3,0	1,2	4,8	9,7	4
3 Ругозеро.	14,5	2,41	18,2	3,2	1,7	4,1	9,5	3
7 Ругозеро	14,4	2,33	17,0	3,0	1,0	5,4	10,1	9
20 Ругозеро	14,2	2,3	17,0	3,0	1,2	4,8	9,7	4
22 Ругозеро	13,9	2,08	16,9	2,9	1,0	4,9	9,6	1
Ругозеро	14,3	2,3	17,4	3,0	1,2	4,8	9,7	4,3
Южно-карельский лесосеменной район (63°00' – 60°40')								
7 Кивач	14,8	2,31	17,2	3,0	0,6	5,7	10,1	7
10 Кивач	15,3	2,56	18,4	3,0	1,0	7,2	9,9	2
14 Кивач	15,6	2,18	17,3	2,6	0,5	6,7	8,5	3
15 Кивач	14,9	2,16	18,3	2,8	0,5	6,2	9,2	13
18 Кивач	16,0	2,31	18,7	3,2	1,4	3,4	9,3	6
Кивач	15,3	2,3	18,0	2,9	0,8	5,8	9,4	6,2
644 Прионежье	14,0	2,2	18,0	2,8	0,5	5,2	9,7	6
649 Прионежье	15,0	2,3	18,5	2,9	1,2	4,5	10,0	7
582 Петрозаводск	13,1	2,0	18,5	2,6	0,4	5,4	10,5	8
584 Петрозаводск	15,2	2,3	18,6	3,0	0,3	5,2	8,4	5
132 Шуйско-Видан.	13,7	2,1	16,2	2,9	0,2	5,6	9,9	2
Прионежье	14,3	2,2	17,9	2,8	0,5	5,2	9,7	5,5
2 Олонец	15,0	2,2	19,4	3,0	1,0	3,1	10,0	10
3 Олонец	15,4	2,5	17,7	3,0	0,4	4,8	10,7	10
5 Олонец	16,6	2,4	16,9	2,8	1,9	3,9	9,3	8
8 Олонец	17,1	2,9	17,8	3,4	2,3	5,1	8,7	18
9 Олонец	16,0	2,5	18,2	3,0	1,5	4,3	9,8	12
Олонец (1)	16,0	2,5	18,0	3,0	1,4	4,2	9,7	11,5
10 Олонец	12,8	2,2	19,3	2,8	0,4	5,4	9,1	1
12 Олонец	13,1	2,2	18,0	2,9	0,7	5,4	9,4	3
13 Олонец	11,3	2,02	16,1	3,0	0,4	4,3	10,4	4
14 Олонец	15,6	2,3	17,8	2,8	1,2	6,5	8,7	5
17 Олонец	13,3	2,3	17,9	2,9	0,6	5,5	9,2	3
Олонец (2)	13,2	2,2	17,7	2,8	0,6	5,4	9,4	3,3
27 Лахденпохья	14,9	2,25	18,0	3,2	1,7	4,8	9,3	5
28 Лахденпохья	14,6	2,23	16,5	3,1	0,5	5,8	10,4	1
36 Лахденпохья	14,1	2,20	17,4	3,4	0,4	4,8	10,7	10
45 Лахденпохья	15,5	2,62	17,5	3,5	2,0	4,9	9,0	21
51 Лахденпохья	20,4	2,48	18,1	3,2	0,6	8,3	9,6	1
Лахденпохья.	15,9	2,4	17,5	3,3	1,0	5,7	9,8	7,6
Южно-Кар. р-он	14,9	2,3	17,8	3,0	0,9	5,3	9,6	7,4
Центральный (Московский) лесосеменной район								
1 Москва	19,0	2,5	17,8	3,3	1,9	5,4	9,4	27
2 Москва	19,1	2,6	18,0	3,4	2,0	5,5	9,5	28
3 Москва	20,0	2,5	17,0	3,4	1,5	6,0	9,9	39
24 Москва	18,2	2,6	18,8	3,4	2,5	5,1	9,1	17
Москва	19,1	2,6	17,9	3,4	2,0	5,5	9,5	28



Т а б л и ц а 5

**Корреляция биометрических показателей и морфологических признаков семян**

Признак	Коррелирующий признак	r
Высота семян, см	биомасса хвоинок+стволиков, гр.	1,00
	диаметр у корневой шейки, мм	0,73
	наличие треххвойных пучков, %	0,52
	кол-во боковых побегов, шт.	0,58
	кол-во верхушечных почек, шт.	0,55
Диаметр у корневой шейки, мм	кол-во боковых побегов, шт.	0,76
	высота семян, см	0,73
	кол-во верхушечных почек, шт.	0,73
	биомасса хвоинок+стволиков, гр.	0,72
	наличие треххвойных пучков, %	0,63
Кол-во верхушечных почек, шт.	длина шишки, см	0,57
	диаметр у корневой шейки, мм	0,73
	кол-во боковых побегов, шт.	0,66
	наличие треххвойных пучков, %	0,62
	биомасса хвоинок+стволиков, гр.	0,56
Кол-во боковых побегов, шт.	высота семян, см	0,55
	диаметр у корневой шейки, мм	0,76
	кол-во верхушечных почек, шт.	0,66
	высота семян, см	0,58
	наличие треххвойных пучков, %	0,63
Наличие треххвойных пучков, %	биомасса хвоинок+стволиков, гр.	0,57
	кол-во верхушечных почек, шт.	0,63
	высота семян, см	0,61
	биомасса хвоинок+стволиков, гр.	0,61
	диаметр у корневой шейки, мм	0,60
Биомасса хвоинок+стволиков, гр.	кол-во боковых побегов, шт.	0,57
	кол-во верхушечных почек, шт.	0,56
	диаметр у корневой шейки, мм	0,72
	наличие треххвойных пучков, %	0,61
	кол-во боковых побегов, шт.	0,57
Кол-во семян, шт.	доля 6–9 семян, %	0,86
	масса 1 тыс. семян, гр.	0,62
Доля 6–9 семян, %	кол-во семян, шт.	0,86
	кол-во семян, шт.	0,52

Возможно, здесь мы имеем дело с проявлением географической или какой-то иной формы наследственной изменчивости.

Сосна обыкновенная – это относительно долгоживущий вид со сравнительно поздним наступлением этапов количественной, технической и естественной спелости. Поэтому для реализации заложенной в растении генетической информации требуется существенный промежуток времени. Крайне проблематичной остается возможность дать надежную селекционную оценку тому или иному конкретному клону на основании только 1–2-летних испытаний в питомнике, руководствуясь известными методами ранней диагностики. В настоящем опыте примерно половина из испытанных полусибовых потомств имели преимущество перед контрольными по высоте. Но это еще мало что доказывает. Для достижения определенности требуется испытание потомств данного набора

клонов из семян не менее, чем трех репродукций в течение 5–7 лет в испытательных культурах. Выполнение всех условий ведет к резкому увеличению стоимости и продолжительности эксперимента. Многолетними опытами показано, что неравномерность полива и прочие нарушения способны свести на нет любые генетические достоинства любого самого выдающегося варианта. На этапе питомника определяющее значение имеет соблюдение технологии выращивания посадочного материала. Тем не менее, отбор лучших потомств, имеющих статистически достоверное преимущество перед контролем, с последующей механической сортировкой семян по высоте стволика, т.е. применение двухступенчатого массового отбора, был бы очень полезным стартовым мероприятием при закладке лесосырьевых плантаций с коротким оборотом рубки.

**Библиографический список**

1. Попов, В.Я. Создание плантаций сосны обыкновенной семенного происхождения на селекционной основе / В.Я. Попов. – Архангельск, 2001. – 24 с.
2. Мордась, А.А. Рост и развитие полусибовых потомств сосны обыкновенной на ранних этапах онтогенеза / А.А. Мордась, Б.В. Раевский, Е.В. Акимова // Научные основы селекции древесных растений Севера. – Петрозаводск, 1998. – С. 43–50.
3. Попов, В.Я. Методы отбора и ранней диагностики наследственных свойств плюсовых деревьев сосны и ели: методические рекомендации / В.Я. Попов, В.М. Жариков. – Архангельск: АИЛ и ЛХ, 1973. – 40 с.
4. Попов, В.Я. Рекомендации по созданию постоянных лесосеменных участков сосны на селекционной основе (для опытно-производственной проверки) / В.Я. Попов, В.М. Жариков. Архангельск: АИЛ и ЛХ, 1977. – 12 с.
5. Ковалев, Л.С. Адаптация разносемядольных растений сосны и ели к внешним условиям среды / Л.С. Ковалев, М.С. Ковалев, Г.Б. Рябова. – Южно-Сахалинск, 1992. – 26с. Деп. в ВИНТИ 17.03.92. – № 895-В92.
6. Орленко, Е.Г. Ранняя диагностика энергии роста семян сосны обыкновенной разного географического происхождения / Е.Г. Орленко, З.С. Поджарова // Лесоведение и лесное хозяйство. – 1980. – Вып. 15. – С. 39–43.
7. Статкус, В. Анализ однолетнего потомства различных форм сосны обыкновенной. Охрана и рациональное использование генофонда древесных пород и недревесной растительности леса / В. Статкус. – Каунас, Гирионис. – Т. 1. – 1985. – С. 75–78.
8. Паль, Х. Число семян у сосны и ели в Эстонской ССР / Х. Паль // Лесоводственные исследования. – Таллин, 1989. – Вып. 23. – С. 39–51.
9. Мордась, А.А. Выращивание семян хвойных пород в теплице с полиэтиленовым покрытием: методические рекомендации / А.А. Мордась. – Л., 1983. – 34 с.
10. Маслаков, Е.Л. О возможности ранней диагностики быстрорастущих деревьев-лидеров / Е.Л. Маслаков, И.А. Маркова, Т.А. Шестакова // Лесоведение. – 2001. – № 1. – С. 25–31.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАВЛЕНОГО ФОСФОРНО-МАГНИЕВОГО УДОБРЕНИЯ ПФМУ-2 ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

Е.В. РОБОНЕН, *Институт леса КарНЦ РАН,*  
М.И. ЗАЙЦЕВА, *ПетрГУ,*  
Н.П. ЧЕРНОБРОВКИНА, *Институт леса КарНЦ РАН,*  
Г.А. ЛЕБЕДЕВА, *Институт геологии КарНЦ РАН,*  
Г.П. ОЗЕРОВА, *Институт геологии КарНЦ РАН*

**В**ыращивание качественного посадочного материала необходимо для проведения работ по созданию лесных культур. Положительные результаты при этом могут быть достигнуты путем внедрения в производство современных технологий [1]. В процессе выращивания посадочного материала древесных пород почвы питомников нуждаются в восстановлении и повышении их плодородия [2]. Сеянцы выращивают на минеральной почве с внесением органических и минеральных удобрений на различных видах субстратов. Успех выращивания посадочного материала древесных растений в полиэтиленовых теплицах в значительной степени определяется выбором субстрата.

Наиболее подходящим для выращивания сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой (ЗКС) в настоящее время считается субстрат, приготовленный из верхового сфагнового торфа [3]. Благодаря наличию большого количества крупных и мелких пор он обеспечивает благоприятный для корней растений водно-воздушный режим. Верховой сфагновый торф обладает антисептическими свойствами, в нем отсутствуют возбудители опасных грибковых заболеваний, таких, как фузариоз [4]. Вместе с тем сфагновый торф беден питательными веществами, имеет высокую кислотность. Он нуждается во внесении известковых материалов и минеральных удобрений для создания оптимальной кислотности и уровня минерального питания. Чрезмерная кислотность торфа сильно тормозит нитрификацию, растения страдают также и от недостатка кальция, магния и других элементов питания. Усвоение микроэлементов, за исключением молибдена, напротив, лучше происходит в слабокислой среде и затруднено в щелочной. Количество необходимого известкового материала для нейтрализации кислотности верхового торфа зависит от нескольких факторов: исходного значения рН торфа, степени разложения, химических свойств и степени размельчения

известкового материала. Кроме того, доза известкового материала определяется в зависимости от применяемых для обогащения верхового торфа видов минеральных удобрений. Резкое повышение рН торфа происходит уже в течение первого дня после смешения торфа с известковыми материалами. Менее обожженные или необожженные материалы, содержащие большую часть кальция и магния в виде карбонатов, действуют медленнее, чем сильнообожженные [3]. Доза и соотношение элементов питания в субстрате должны соответствовать требованиям вида, особенностям субстрата, условиям выращивания.

Для питания растений доступны только те питательные вещества, которые находятся в почве в форме соединений, растворимых в воде и слабых кислотах, а также в обменно-поглощенном состоянии. Мобилизация питательных веществ, переход труднорастворимых соединений в усвояемую форму постоянно происходит в почве под влиянием биологических, физико-химических и химических процессов [5]. Поглощение веществ растениями из почвы зависит от фактора интенсивности – концентрации или активности ионов в водной фазе почвы и фактора пополнения. Именно последний определяет стабильность обеспеченности растений тем или иным элементом питания во времени [6]. Избыток минерального питания может привести к повышенному осмотическому давлению почвенного раствора, уменьшению поглощения воды, усилению дефицита воды в листьях, повреждению тканей от подсыхания в дни, когда погодные условия вызывают сильную транспирацию. Высокие концентрации солей в почве могут вызывать повреждение корней путем плазмолиза. На сеянцах нежелательное действие избытка удобрений может проявляться в виде чрезмерного верхушечного роста, приводящего к низким величинам соотношения подземной и надземной частей, в результате чего растения часто плохо приживаются после пересадки [7].

Основное количество питательных веществ, необходимых для нормального роста и развития, поглощается корневой системой. Элементы питания могут включаться в биосинтез растений также и в случае их поступления через поверхность листьев и стеблей. Питательные вещества удобрений, внесенных при внекорневой подкормке, используются растениями полнее, чем внесенные в почву [8]. Способ внекорневых подкормок используется в настоящее время при выращивании сеянцев древесных растений. Финская технология выращивания сеянцев древесных растений с закрытой корневой системой в условиях защищенного грунта, внедренная в лесопитомнических комплексах Карелии, предусматривает активное использование внекорневых подкормок. Повышение уровня обеспеченности растений питательными веществами при использовании метода внекорневых подкормок происходит не только благодаря удобрениям, внесенным в растворенном виде на поверхность листьев, но и за счет питательных веществ, которые дополнительно вбирают корни растений из почвы. Высказывалось предположение, что, минуя почву, можно применять меньшие дозы питательных веществ, достигая того же действия их на растение, что и при внесении обычным путем более высоких норм. Но постепенно выяснилось, что, по крайней мере, для фосфора некорневое питание культур может быть лишь дополнительным к корневому, а отнюдь не основным [9]. Нормальный синтез фосфорсодержащих органических соединений в растении обеспечивается только при поступлении фосфорно-кислых минеральных солей через корни [10]. Применение способа внекорневых подкормок не означает, что внесение основной заправки удобрений при приготовлении субстрата уже не требуется.

Для выращивания сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой по финской технологии в четырех лесопитомнических комплексах Карелии ранее ежегодно закупались за рубежом все необходимые расходные материалы – готовый субстрат, удобрения для подкормок. С введением в эксплуатацию в лесопитомнике Петрозаводского лесхоза линии по приготовлению субстрата появилась возможность отказаться от приобретения субстрата за рубежом. Однако удобрение для основной заправки по-прежнему закупается. Возникла необходимость отработки методики приготовления субстрата с использованием удобрений отечественного производства. Прежде всего это каса-

ется фосфора, необходимого в корневом питании. Все растения крайне чувствительны к фосфатному голоданию в самом раннем возрасте, когда усваивающая способность их неразвитой еще корневой системы весьма слабая. Фосфорное голодание растения приводит к слабому использованию им азота и других питательных элементов. Потребность в дополнительном снабжении хорошо усвояемым фосфором особенно остро может проявляться у мелкосеменных видов с их весьма скромным запасом фосфатов, обычно недостаточным для энергичного начального роста [9]. Использование в качестве основной заправки суперфосфата как источника фосфорного питания осложняется химическим поглощением фосфора почвенным поглощающим комплексом, обусловленным образованием нерастворимых и труднорастворимых в воде соединений в результате химических реакций между отдельными растворимыми солями в почве (ионами в почвенном растворе). При внесении суперфосфата, содержащего фосфор в виде водорастворимой соли  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$  – однозамещенного фосфата кальция, в почве происходит интенсивное химическое связывание фосфора. Химическое поглощение (фиксация) фосфора обуславливает слабую подвижность его в почве и снижает доступность для растений. Суперфосфат не обладает достаточной сыпучестью для того, чтобы можно было обеспечить его равномерное внесение в торф с использованием дозатора на линии по приготовлению субстрата. Необходимо также учитывать, что при внесении в торф водорастворимых удобрений в результате интенсивных поливов значительная часть их вымывается, что приводит к неоправданным расходам [11].

В отличие от них, плавненное фосфорно-магниевое удобрение (ПФМУ) обладает хорошими физическими свойствами, негигроскопично, обладает хорошей сыпучестью. Оно не слеживается, выдерживает длительное хранение без изменения качественных показателей [12]. Это удобрение не вымывается из почвы, что особенно важно при выращивании растений с закрытой корневой системой. Содержащиеся в нем компоненты растворяются в почве со скоростью, соизмеримой со скоростью усвоения питательных веществ растениями. ПФМУ обладают пролонгированным сроком действия и не аккумулируются в почвах до токсичных концентраций [12]. Содержащийся в них кальций способствует подщелачиванию кислых почв. [13]. Производство плавненного маг-

ниевое фосфата не требует применения серной кислоты, позволяет использовать низкопроцентные природные фосфаты без предварительного обогащения [14]. Институтом геологии Карельского научного центра РАН выполнены работы по получению ПФМУ на основе минерального сырья Карелии [1, 13]. В результате агрономических испытаний, проведенных Институтом биологии Карельского научного центра РАН, показана эффективность действия ПФМУ в качестве сложного удобрения на основных сельскохозяйственных культурах.

Изучение возможности использования плавленного фосфорно-магниевое удобрения ПФМУ-2 в качестве основной заправки для выращивания сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой было целью исследования.

### Материалы и методы

Испытание плавленного фосфорно-магниевое удобрения проводили на опытной партии ПФМУ-2, полученной в НКТБ «Кристалл» (Санкт-Петербург) в результате плавления при 1450 °С шихты, состоящей из апатитового концентрата (Ковдор) и талькохлоритового сланца (Карелия, Сегозеро). Стеклогранулят, полученный при закалке расплава под струей воды, содержал: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 19,2 %, MgO – 15,5 %, CaO – 25 %. Содержание усвояемого лимоннокислого P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> составило 90 % от общего содержания пентоксида фосфора. Удобрения ПФМУ-2 крупного (от 0,25 до 1 мм) и мелкого (менее 0,25 мм) помола испытывали отдельно.

Эксперимент проводили в лесопитомнике Петрозаводского лесхоза в условиях защищенного грунта. Сеянцы сосны обыкновенной с закры-

той корневой системой выращивали в жестких пластмассовых кассетах типа «Plantek 121». В качестве сырья для приготовления субстрата использовали верховой сфагновый торф, заправленный доломитовой мукой (2 г/л). В первой серии опытов удобрения ПФМУ-2 крупного (вариант 1) и мелкого (вариант 2) помола вносили в торф в разных дозах в диапазоне от 0,1 до 10 г на литр на фоне азотного и калийного удобрений. Во второй серии опытов удобрения ПФМУ-2 крупного и мелкого помола вносили в торф в таких же дозах, но без фонового внесения азота и калия. В качестве азотного удобрения использовали аммиачную селитру, калийного – калий хлористый. Аммиачную селитру вносили в количестве 0,28 г/л (по д.в.), калий хлористый – 0,29 г/л (по д.в.).

В июне кассеты, наполненные приготовленным субстратом и засеянные семенами сосны обыкновенной, выставляли в теплицу, где был обеспечен полив и подкормка жидкими удобрениями типа «Suprex» финского производства, согласно стандартной технологии выращивания. В августе сеянцы были извлечены из ячеек кассет, корни отмыты от торфа и определен сухой вес сеянцев.

### Результаты и обсуждение

В первой серии опытов, проведенной на фоне азотного и калийного удобрений, наблюдали значительный положительный эффект при внесении удобрения ПФМУ-2 как крупного, так и мелкого помола. В варианте с внесением ПФМУ-2 крупного помола при увеличении дозы внесения удобрения от 0 до 2 г/л наблюдали увеличение сухой массы одного сеянца (рис. 1).

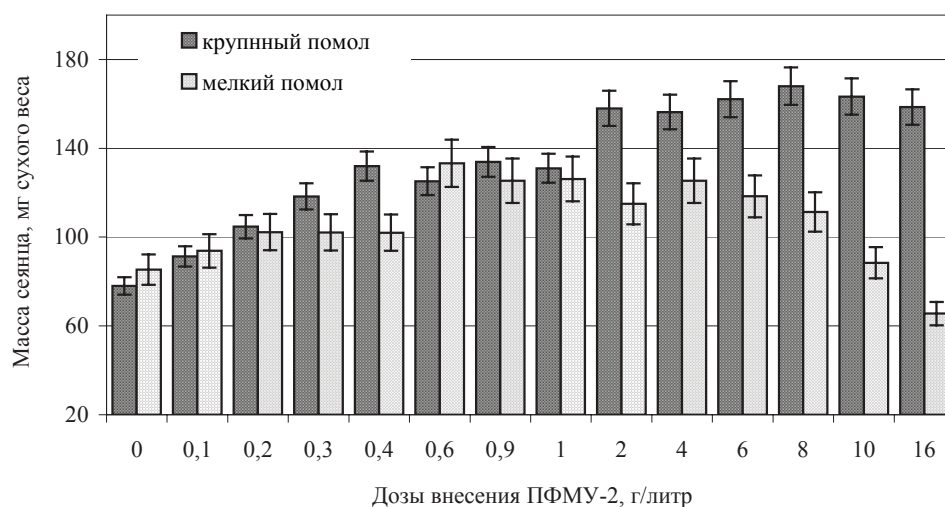


Рис. 1. Влияние внесения в торфяной субстрат удобрения ПФМУ-2 в различных дозах на фоне азотных и калийных удобрений на биомассу сеянцев сосны обыкновенной



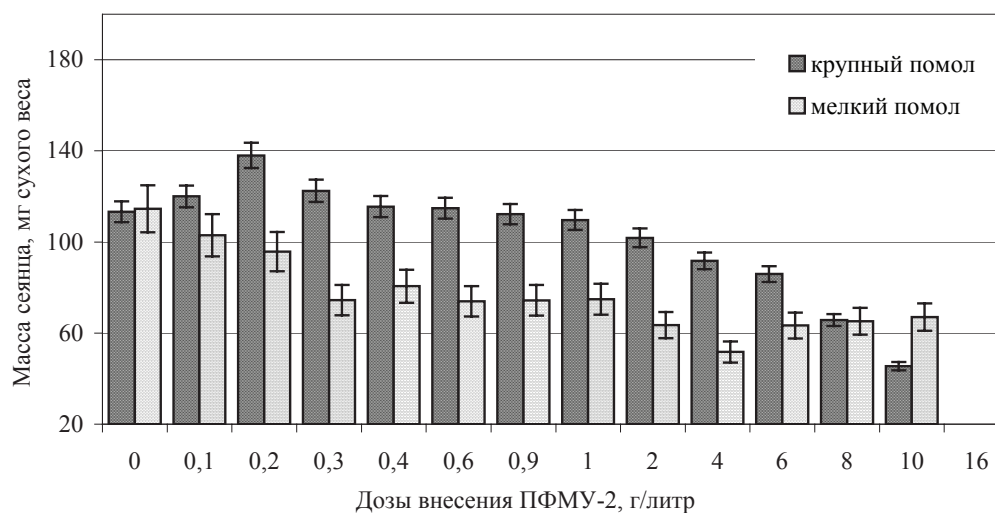


Рис. 2. Влияние внесения в торфяной субстрат удобрения ПФМУ-2 в различных дозах без фонового внесения азотных и калийных удобрений на биомассу сеянцев сосны обыкновенной

При дозе 2 г/л она составила 128 мг по сравнению с 78 мг при нулевой дозе. Дальнейшее увеличение дозы внесения удобрения до 16 г/л не приводило к заметному изменению массы сеянцев, которая составила в среднем  $162 \pm 4$  мг. В варианте с внесением ПФМУ-2 мелкого помола на фоне азотного и калийного удобрений при увеличении дозы внесения удобрения от 0 до 0,6 г/л масса сеянцев увеличивалась от 85 до 133 мг. При увеличении дозы внесения удобрения от 0,6 до 4 г/л масса сеянцев практически не изменялись и составила  $123 \pm 7$  мг. Внесение удобрения в дозах, превышающих 4 мг/л, приводило к постепенному уменьшению массы сеянца, которая составила 65,6 мг при дозе 16 г/л.

ПФМУ-2 крупного помола не оказывало токсического действия на сеянцы сосны даже при дозе внесения 16 г/л, в то время как при мелком помоле повышенные дозы оказывали ингибирующее действие на рост сеянцев. Видимо, это объясняется подщелачивающим действием удобрения, содержащего, кроме фосфора, кальций и магний. При мелком помоле интенсивность их поступления в почвенный раствор значительно выше и подщелачивающее действие проявляется при меньших дозах внесения. Поскольку в эксперименте использовали торф, предварительно заправленный доломитовой мукой и имеющий оптимальную для роста сеянцев сосны реакцию среды (рН 4,8–5,3), внесение удобрения, обладающего подщелачивающим действием, могло привести к нежелательным последствиям. Известно, что излишнее известкование отрицательно

сказывается на развитии сеянцев хвойных пород, особенно сосны обыкновенной [15]. Перенасыщенность почвы известью следует считать более опасным, чем ее дефицит. Завышение доз извести приводит к ухудшению агрохимических свойств почвы, в результате чего растения страдают от ее избытка [16].

Надо отметить, что в первой серии опытов подщелачивающее действие удобрения ПФМУ-2 могло несколько компенсироваться физиологически кислыми азотным и калийным удобрениями.

Во второй серии опытов, проведенных без фонового внесения азота и калия, положительного влияния удобрения ПФМУ-2 на рост сеянцев сосны почти не наблюдали. Очевидно, что внесение фосфорного удобрения в верховой торф, практически лишенный элементов питания, приводило к значительному дисбалансу их содержания. Лишь внесение удобрений ПФМУ-2 крупного помола в дозе 0,2 г/л повышало массу сеянцев от 113 мг при нулевой дозе до 141 мг (рис. 2).

Увеличение дозы внесения удобрения от 0,3 до 1 г/л приводило к уменьшению массы сеянцев до исходного значения, соответствующего нулевой дозе. При увеличении дозы внесения удобрения свыше 1 г/л масса сеянцев была меньше, чем без внесения удобрения, а при дозе 10 г/л она составила всего 45,5 мг, т.е. 40 % от исходного значения. При внесении ПФМУ-2 мелкого помола уже с первой дозы внесения – 0,1 г/л – наблюдали постепенное уменьшение массы сеянцев от 114 мг при нулевой дозе до 51,7 мг при дозе 4 г/л. В этом варианте, видимо, сказался как дисбаланс содержания отдельных элементов

минерального питания, так и подщелачивающее действие удобрения. Для использования ПФМУ-2 мелкого помола при выращивании сеянцев сосны необходимо откорректировать дозу внесения известкующего материала.

Анализ полученных результатов показал, что использование удобрения ПФМУ-2 в качестве основной заправки субстрата из верхового сфагнового торфа для выращивания сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой дает существенный положительный эффект при крупном помоле сплава на фоне внесения азотного и калийного удобрений. Удобрение ПФМУ-2 крупного помола не оказывает токсического действия на сеянцы сосны даже при дозе внесения 16 г/л, что позволяет не опасаться его передозировки в случае нестабильной работы дозирующего устройства или неравномерного поступления торфа на транспортер линии по приготовлению субстрата.

Без фонового внесения удобрений также наблюдался небольшой положительный эффект. В варианте с мелким помолом внесение только небольших доз ПФМУ-2 на фоне азотного и калийного удобрений положительно отразилось на увеличении биомассы сеянцев. Без фонового внесения удобрений внесение ПФМУ-2 мелкого помола привело к отрицательному результату даже в небольших дозах.

Эффективность ПФМУ зависит от размера частиц и фонового внесения азотных и калийных удобрений. Проведенные исследования дают основание рекомендовать удобрения ПФМУ-2 крупного помола (от 0,25 до 1 мм) для выращивания сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в качестве базовой или основной заправки субстрата, приготовленного из верхового торфа, заправленного доломитовой мукой, на фоне внесения азотного и калийного удобрений. Рекомендуемая доза внесения удобрения – от 2 до 8 г на 1 л субстрата, или 2–8 кг/м<sup>3</sup>.

### Библиографический список

1. Жигунов, А.В. Посадочный материал с закрытой корневой системой / А.В. Жигунов // Лесное хозяйство. – 1998. – № 5. – С. 33–36.
2. Выращивание и использование крупномерного посадочного материала хвойных пород в условиях Карелии / А.И. Соколов, А.А. Мордась, Т.И. Кривенко и др. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2002. – 44 с.
3. Ринькис, Г.Я. Оптимизация минерального питания полевых и тепличных культур / Г.Я. Ринькис, В.Ф. Ноллендорф. – Рига, 1977. – 168 с.
4. Жигунов, А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / А.В. Жигунов. – СПб., 2000. – 293 с.
5. Смирнов, П.М. Агрохимия / П.М. Смирнов, Э.А. Муравин. – М., Колос. 1977. – 240 с.
6. Снакин, В.В. Состав жидкой фазы почв / В.В. Снакин, А.А. Присяжная, О.В. Рухович. – М., РЭФИА, 1997. – 325 с.
7. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Е.Е. Козловский. – М., 1983. – 462 с.
8. Калашник, Д.И. Внекорневые подкормки растений / Д.И. Калашник. – Каменец-Подольск, 1978. – 92 с.
9. Петербургский, А.В. Агрохимия и физиология питания растений / А.В. Петербургский. – М., Россельхозиздат, 1981. – 184 с.
10. Туева, О.Ф. Фосфор в питании растений / О.Ф. Туева. – М.: Наука, 1966. – 296 с.
11. Применение минеральных удобрений при выращивании посадочного материала в теплицах: методические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1982. – 40 с.
12. Процюк, А.П. Плавленые фосфорно-магниевого удобрения / А.П. Процюк, П.Б. Громов, Л.П. Лебедева и др. // Фундаментальные науки – народному хозяйству. – М.: Наука, 1990. – С. 628–629.
13. Каменева, Е.Е. Перспективы использования минерального сырья Карелии для производства плавленых фосфорно-магниевого удобрений / Е.Е. Каменева, Г.А. Лебедева, Г.П. Озерова и др. // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Вып. 7. – Петрозаводск, 2004. – С. 163–170.
14. Справочник агрохимика. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 350 с.
15. Левкина, Т.И. К вопросу об отношении сеянцев древесных пород к реакции среды и известкованию почв лесных питомников / Т.И. Левкина. // Возобновление леса на вырубках и выращивание сеянцев в питомниках. – Петрозаводск: Карельское книжное издательство, 1964. – С. 201–211.
16. Яковлев, А.П. Известкование кислых почв в лесных питомниках / А.П. Яковлев, В.К. Куликова, Р.В. Леонтьева и др. // Лесное хозяйство. – 1983. – № 4. – С. 23–27.

## АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Н.Н. ЕГОРОВА, младший науч. сотр. лаб. лесоведения ИБ УНЦ РАН,  
А.А. КУЛАГИН, ст. науч. сотр. лаб. лесоведения ИБ УНЦ РАН

В условиях техногенного загрязнения окружающей среды растения приспосабливаются к постоянно меняющимся абиотическим и биоти-

ческим факторам. Любые изменения в росте и развитии растений можно рассматривать как адаптивную реакцию у лесобразующих видов, при этом

анализ изменчивости тканей является одним из широко используемых подходов в сравнительной морфологии и анатомии растений [5, 11].

Современная экологическая ситуация характеризуется интенсивностью воздействия техногенных факторов. Руководствуясь этими положениями в течение вегетационного периода, мы провели исследования анатомического строения хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при произрастании в экстремальных лесорастительных условиях.

### **Краткая характеристика лесорастительных условий**

*Отвалы Башкирского медно-серного комбината* (БМСК) (г. Сибай) расположены в подзоне южной лесостепи Зауралья. Леса представлены березовыми колками по понижениям рельефа и на теневых склонах возвышенностей. Широколиственные древесные породы отсутствуют. Рельеф региона равнинно-увалистый. Отвалы БМСК находятся в районе Башкирского горнорудного промышленного узла [12].

Климат района теплый, засушливый. Сумма эффективных температур в районе 2000–2200°C. Продолжительность периода активной вегетации составляет 127–136 дней, безморозного – 100–120 дней. За период вегетации выпадает 150–200 мм осадков. Высота снежного покрова к концу зимы редко превышает 20 см. Гидротермический коэффициент (ГТК, по Селянину) – 0,8–1,0. В почвенном покрове преобладают южные и солонцеватые черноземы и солонцы, на выходах плотных пород – маломощные грубоскелетные почвы [1].

*Отвалы Учалинского горно-обогатительного комбината* (УГОК) расположены на юго-восточной границе подзоны предлесостепных сосново-березовых лесов. Здесь преобладают сосновые и сосново-березовые леса, реже встречаются осинники, в заболоченных местах – березняки из березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.). Рельеф района низкогорный [1]. Отвалы УГОК находятся на территории Белорецкого промышленного узла.

Климат района средневлаженный, переходный от умереннотеплого к теплому. Сумма эффективных температур в районе 1500–1800°C. Продолжительность периода активной вегетации составляет 106–110 дней. Безморозный период длится 90–100 дней, в случае поздневесенних или раннеосенних заморозков сокращается на

30 дней. Осадков за период активной вегетации выпадает от 200 до 300 мм. Максимальная высота снежного покрова – около 50 см. ГТК изменяется от 1,2 до 1,8. Почвенный покров образуют различные лесостепные почвы, на западе участками встречаются горно-дерново-подзолистые, а на высоте – типичные высокогумусные обыкновенные черноземы [12].

Отвалы медноколчеданных месторождений УГОК и БМСК представлены скальными плохо выветривающимися кварцитами, порфиритами, пиритами и глинами. Почвогрунты на отвалах характеризуются малым содержанием гумуса и слабощелочной реакцией среды с высоким содержанием (особенно почвогрунты БМСК) поглощенных оснований. Кроме того, почвогрунты бедны азотом и в большинстве случаев – фосфором [1, 2].

*Отвалы Кумертауского бурогоугольного разреза* (КБР) (г. Кумертау). Отвалы бурогоугольных разработок характеризуются большой неоднородностью состава отсыпных пород. Коренные породы представлены конгломератами, пермскими и третичными глинами, известняками, песчаниками, древнеаллювиальными песками и галечниками. Породы различны и по реакции среды: кислые, слабокислые, щелочные (карбонатные). Техногенные почвогрунты и молодые почвы Кумертауских отвалов бедны азотом, подвижным фосфором и характеризуются сравнительно высоким количеством поглощенных оснований [1, 2].

Рельеф района равнинный, полого возвышенно-холмистый на юге и востоке. Климат характеризуется континентальностью и умеренным увлажнением. Сумма активных температур в районе 2200°–2300°C. Безморозный период длится 116–124 дня. За период активной вегетации в среднем выпадает около 200 мм осадков, максимальная высота снежного покрова 40 см. ГТК около 1,0 [1, 12].

*Стерлитамак (промышленная зона)*. Рельеф района представлен обширными низменными террасовыми полого-увалистыми равнинами. Большая часть территории района занята обширными степными пространствами, в настоящее время распаханными, и лишь небольшие участки заняты широколиственным лесом. К поймам рек приурочены осокоревые и ольховые леса с примесью дуба, липы и вяза. Почвенный покров характеризуется типичными и выщелочными черноземами, местами серыми и темно-серыми лесными почвами [1].

Климат региона характеризуется недостаточным увлажнением и континентальностью. Сумма активных температур составляет примерно 2300°C. Продолжительность периода с температурами выше 10°C – 139 дней, безморозного – 120–130 дней. Продолжительность вегетационного периода – 170 дней. Среднее годовое количество осадков – 350–450 мм. Средняя высота снежного покрова составляет 25 см, ГТК – от 0,8 до 1,0 [1, 12].

Общее количество выбросов загрязняющих веществ от передвижных и стационарных источников в атмосферу г. Стерлитамака в 2002 г. составил 97,2 тыс. т. Основными загрязнителями окружающей среды г. Стерлитамака являются предприятия химической промышленности: АО «Сода» и ЗАО «Каустик» (60 %) и предприятие электроэнергетики – Стерлитамакская ТЭЦ (34 %) [4].

*Уфимское плато* по природным условиям представляет собой северную лесостепь. Леса широколиственные и хвойные, на западе местами заболоченные. В растительном покрове преобладают елово-пихтовые леса со значительной примесью широколиственных пород. К вторичным лесам здесь относятся березовые, осиновые и липовые. На склонах встречаются лиственничные и сосновые леса. Рельеф увалисто-равнинный. Почвы дерново-подзолистые, светло- и темно-серые, местами оподзоленные и выщелочные черноземы [12].

Сумма эффективных температур находится в периоде от 1800 до 2000°C. Продолжительность его составляет 119–127 дней. Безморозный период длится 90–100 дней. Среднее годовое количество осадков – от 550 до 600 мм, за период с температурой выше 10°C выпадает 225–250 мм осадков. ГТК в пределах от 1,2 до 1,4. Средняя высота снежного покрова – 45–60 см [1, 12].

Многолетняя почвенная мерзлота на Уфимском плато впервые была открыта в начале 50-х гг. XX в. [9]. В 70-х гг. XX в. мерзлотность грунтов (на глубине 1–1,5 м) также была обнаружена при изучении зеленомошных ельников и сосняков [7]. Многолетнее промерзание элювиально-делювиальной толщи известняка, нижних почвенных и подпочвенных слоев в условиях Уфимского плато прослеживается на протяжении в 230 км по р. Уфе [3, 7, 8].

#### Материалы и методы исследований

Эксперименты проводились с хвоей сосны обыкновенной. Выбор объекта обусловлен

тем, что этот вид повсеместно встречается в Республике Башкортостан, часто используется в качестве тест-объекта и служит хорошей моделью для разнообразных исследований.

Было заложено пять пробных площадей в насаждениях сосны обыкновенной. Пробные площади располагаются в городе Сибее (на отвалах БМСК), в городе Учале (на отвалах УГОК), в городе Кумертау (на отвалах КБР), в городе Стерлитамаке (промышленная зона) и на Уфимском плато (многолетняя почвенная мерзлота). Возраст насаждений составлял 40–50 лет.

Хвою сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) отбирали со 100 растений из средней части кроны в течение вегетационного периода – июня, июля, августа. Собранные образцы фиксировались в этиловом спирте (96 %). Из средней части хвои готовили поперечные срезы для анатомических исследований. Все последующие работы мы проводили, опираясь на руководство по эксплуатации ОМТ-01.00.000РЭ [10]. После фиксации срезы помещали в водно-белковую смесь (дистиллированная вода с белком куриного яйца в соотношении 1 : 1), для дезинфицирования раствора добавляли тимол. Далее образец помещали в вертикальном направлении на рабочую площадь замораживающего столика (охладителя микротомы электрического ОМТ–28-02 «Е») для получения поперечных срезов. На основании среза пипеткой добавляли несколько капель дистиллированной воды для дополнительной фиксации. Образец промораживали при температуре –18°C в течение 1–3 мин, предварительно закрыв колпачком рабочую площадку замораживающего столика. Резку поперечных срезов толщиной 20 мкм производили санным микротомом (МС-2). Исследования хвои производили под микроскопом (JENAMED-2 Carl Zeiss) при 192-кратном увеличении. Статистическая обработка результатов проводилась общепринятыми методами [6] с использованием электронного пакета MS Excel 2000.

#### Результаты и их обсуждение

Результаты настоящих исследований показывают изменения значений толщины отдельных слоев хвои сосны обыкновенной и приведены на рис. 1–5.

Анализируя результаты исследований, следует отметить, что у сосны обыкновенной толщина отдельных слоев хвоинок увеличивается в



г. Кумертау, г. Стерлитамаке, г. Учалы и на Уфимском плато в течение всего вегетационного периода. Установлено, что ошибки средних параметров составили от 0 до 5,78 мкм. Каждый месяц вегетационного периода отличается друг от друга более значительным увеличением внешних слоев в г. Стерлитамаке, г. Учалы и на Уфимском плато.

Установлено, что у хвои сосны размеры **верхнего эпидермиса** изменяются в пределах от 1,47 до 2,36 мкм. У ряда образцов, собранных в начале вегетационного периода на отвалах БМСК, на верхнем эпидермисе хвои второго года имелся восковой налет толщиной 2,1 мкм. В середине ве-

гетации на хвое первого года толщина воскового налета составляет 0,84 мкм, хвое второго года – 2,1 мкм, хвое второго года в конце вегетации – 0,84 мкм. Края воскового налета во всех случаях неровные. В пересчете данных в процентных долях за 100 % берется начало вегетационного периода – июнь месяц. За период вегетации размер верхнего эпидермиса хвои первого года уменьшается на 11 %. В хвое второго года к середине вегетации верхний эпидермис увеличивается до 11 %, а к концу вегетации снижается до исходных данных начала вегетации. Размер верхнего эпидермиса хвои третьего года уменьшается на 27 %.

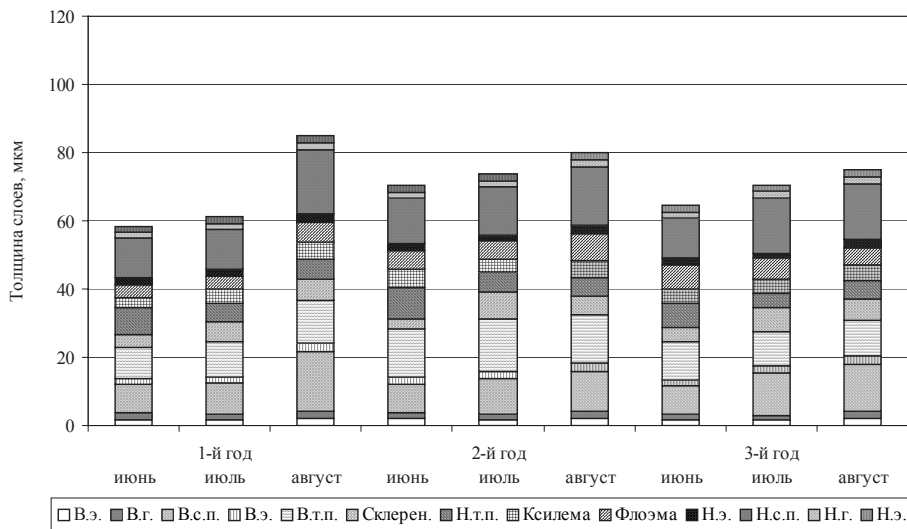


Рис. 1. Сезонная динамика изменчивости размеров тканей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при произрастании на отвалах Кумертауского буроугольного разреза. \* Здесь и на рис. 2-5: В.э. – верхний эпидермис, В.г. – верхняя гиподерма, В.с.п. – верхняя столбчатая паренхима, В.э. – верхняя эндодерма, В.т.п. – верхняя трансфузионная паренхима, Склерен. – склеренхима, Н.т.п. – нижняя трансфузионная паренхима, Н.э. – нижняя эндодерма, Н.с.п. – нижняя столбчатая паренхима, Н.г. – нижняя гиподерма, Н.э. – нижний эпидермис

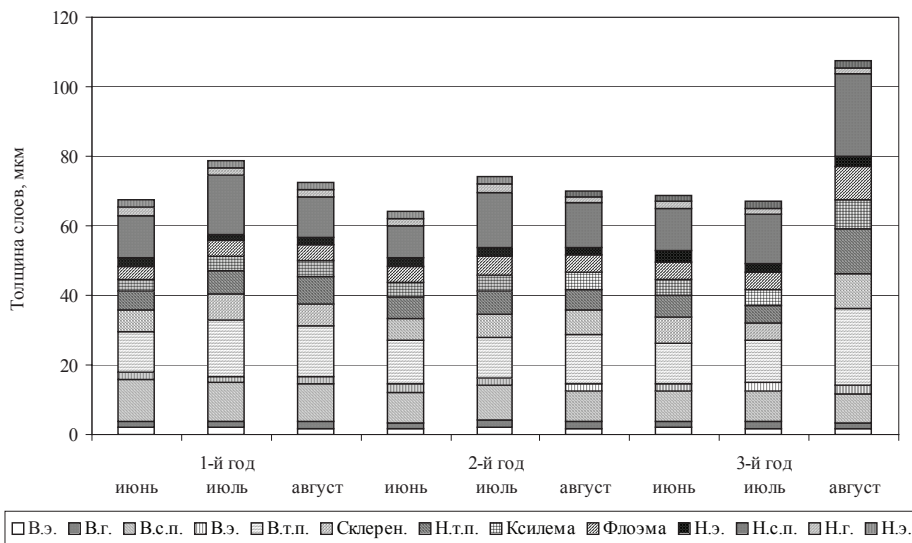


Рис. 2. Сезонная динамика изменчивости размеров тканей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при произрастании на отвалах Башкирского медно-серного комбината (г. Сибай)

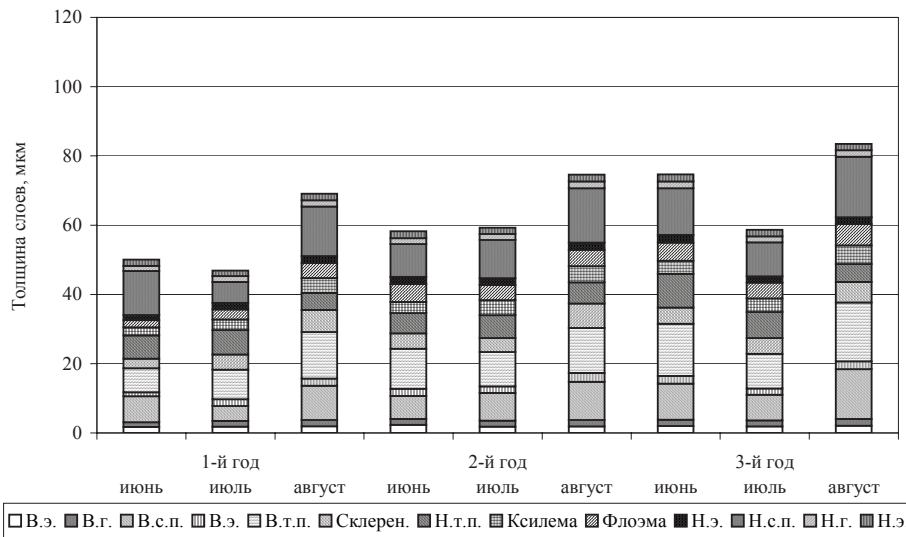


Рис. 3. Сезонная динамика изменчивости размеров тканей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при произрастании в условиях многолетней почвенной мерзлоты на Уфимском плато

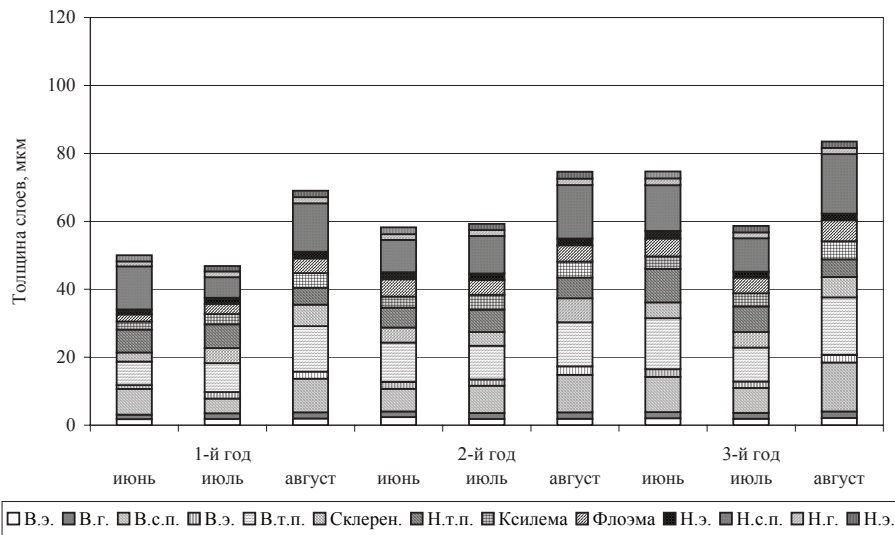


Рис. 4. Сезонная динамика изменчивости размеров тканей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при произрастании в промышленной зоне г. Стерлитамака

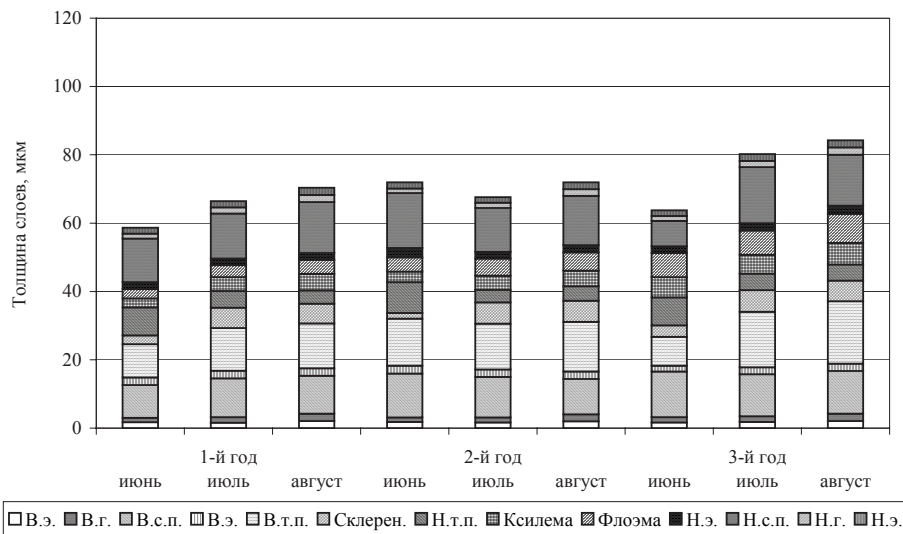


Рис. 5. Сезонная динамика изменчивости размеров тканей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при произрастании на отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината

На отвалах УГОК значения толщины верхнего эпидермиса в течение вегетационного периода увеличиваются до 21 % хвои первого года и до 12 % хвои второго года. Верхний эпидермис хвои третьего года увеличивается к концу вегетации до 25 %. Толщина воскового налета в начале вегетации на хвое первого года примерно 1,26 мкм, второго года – 1,26–2,52 мкм, третьего года – примерно 0,84 мкм.

Следует отметить, что у ряда образцов хвои первого и второго годов в середине вегетационного периода и в конце вегетации восковой налет отсутствует.

На отвалах КБР за период вегетации размеры толщины верхнего эпидермиса увеличиваются к концу вегетации до 15 %, до 11 % и до 24 % (хвоя первого, второго годов и третьего года соответственно). У ряда образцов только в начале вегетационного периода имелся восковой налет, слои были неровные. На хвое первого года толщина налета достигает 1,68 мкм, на хвое второго года – 0,84 мкм, а в образцах хвои третьего года восковой налет отсутствует.

На территории г. Стерлитамака верхний эпидермис хвои первого года за период вегетации увеличивается до 11 %. Значения толщины верхнего эпидермиса хвои второго года к концу вегетации уменьшаются на 20 %. За период вегетации значения верхнего эпидермиса хвои третьего года увеличиваются к концу вегетации до 4 %. У ряда образцов имелся восковой налет. В начале вегетации на хвое первого и второго годов толщина его составляет до 0,84 мкм, на хвое третьего года – до 1,26 мкм. В середине вегетационного периода восковой налет имеет хвоя второго года – от 0,42 мкм и хвои третьего года – от 0,84 до 2,1 мкм.

На Уфимском плато за период вегетации значения толщины верхнего эпидермиса увеличиваются на хвое первого года до 1 %, в хвое второго года – до 15 %, в хвое третьего года – до 2 %. Между верхним эпидермисом и верхней гиподермой четких границ не прослеживается. Также следует отметить, что только в середине вегетационного периода имелся восковой налет на хвое первого года толщиной до 0,84 мкм, на хвое второго года толщина воскового налета колеблется от 0,42 до 0,84 мкм.

**Верхняя гиподерма** изменяется в пределах от 1,29 до 2,10 мкм. На отвалах БМСК за период вегетации размеры верхней гиподермы хвои первого года не изменяются. В хвое второго года ее

размеры к концу вегетации увеличиваются до 7 %. В хвое третьего года верхняя гиподерма в июле месяце уменьшается на 5 %, а к концу вегетации увеличивается до исходных значений июня месяца.

На отвалах УГОК размеры толщины верхней гиподермы увеличиваются: хвои первого года до 63 %, второго года – до 46 %, третьего года до 35 %.

На отвалах КБР за период вегетации размеры толщины верхней гиподермы хвои первого года уменьшаются в июле месяце на 16 %, второго и третьего годов – на 4 %. Но к концу вегетации значения толщины увеличиваются: хвои первого года до 19 %, второго года – до 19 %, третьего года до 36 %.

В г. Стерлитамаке за период вегетации размеры толщины верхней гиподермы увеличиваются: хвои первого года до 36 %, второго года до 13 %, третьего года – до 6 %.

На Уфимском плато в течение всего вегетационного периода наблюдается тенденция к увеличению толщины верхней гиподермы хвои первого года до 25 %, второго года – до 31 % и третьего года – до 26 %.

**Верхняя складчатая паренхима** изменяется в пределах от 4,35 до 17,33 мкм. На отвалах БМСК за период вегетации толщина складчатой паренхимы хвои первого года уменьшается на 11 %. К середине вегетационного периода толщина складчатой паренхимы хвои второго года увеличивается до 16 %, хвои третьего года – до 1 %, а к концу вегетации уменьшается на 2 %.

На отвалах УГОК размеры толщины складчатой паренхимы хвои первого года увеличиваются к концу вегетации до 16 %. В течение вегетационного периода размеры складчатой паренхимы хвои второго года уменьшаются на 19 %. В хвое третьего года значения толщины складчатой паренхимы в июле месяце уменьшаются на 8 %, а к концу вегетации незначительно увеличиваются (до 2 %).

На отвалах КБР размеры толщины складчатой паренхимы за весь период вегетации увеличиваются в хвое первого года до 108 %, второго года до – 33 % и третьего года – до 67 %.

В г. Стерлитамаке в середине вегетации размеры складчатой паренхимы хвои первого года уменьшаются, но к концу вегетации увеличиваются до 31 %. В хвое второго года наблюдается тенденция к увеличению до 13 %. В хвое третьего года в середине вегетации значения складчатой

паренхимы уменьшаются, а к концу вегетации увеличиваются до 39 %.

На Уфимском плато в июле размеры складчатой паренхимы хвои первого и третьего годов увеличиваются: в хвое первого года до 116 %, в хвое третьего года – до 55 %. Размеры хвои второго года уменьшаются, но к концу вегетации увеличиваются до 4 %.

**Верхняя эндодерма** изменяется в пределах от 1,12 до 2,59 мкм. На отвалах БМСК за период вегетации толщина верхней эндодермы хвои первого года к концу вегетации увеличивается до 5 %. В хвое второго значения толщины верхней эндодермы в течение вегетационного периода уменьшаются на 13 %, а в хвое третьего года значения верхней эндодермы увеличиваются до 15 %.

На отвалах УГОК значения толщины верхней эндодермы хвои первого года увеличиваются к концу вегетации до 2 %. В хвое второго года значения верхней эндодермы в течение вегетационного периода уменьшаются на 9 %. В хвое третьего года значения верхней эндодермы в течение вегетационного периода увеличиваются до 32 %.

На отвалах КБР толщина верхней эндодермы за весь период вегетации увеличивается в хвое первого года до 32 %, хвое второго года – до 39 %, хвое третьего года до 18 %.

В г. Стерлитамаке в хвое первого года наблюдается тенденция к увеличению до 84 %. Толщина верхней эндодермы хвои второго и третьего годов в середине вегетации уменьшается, но к концу вегетации увеличивается до 22 % и до 1 % (хвоя второго и третьего годов соответственно).

На Уфимском плато значения толщины верхней эндодермы в середине вегетации в хвое первого года уменьшаются, но к концу вегетации увеличиваются до 16 %. В хвое второго и третьего годов верхняя эндодерма увеличивается в течение всего вегетационного периода: в хвое второго года до 26 %, а в хвое третьего года до 51 %.

**Верхняя трансфузионная паренхима** изменяется в пределах от 5,17 до 21,84 мкм. На отвалах БМСК за период вегетации толщина трансфузионной паренхимы хвои первого года увеличивается до 24 %. Значения толщины трансфузионной паренхимы хвои второго года к июлю уменьшаются, а к концу вегетации увеличиваются на 11 %. За период вегетации в хвое третьего года отмечается тенденция к увеличению толщины трансфузионной паренхимы до 87 %.

На отвалах УГОК значения толщины трансфузионной паренхимы хвои первого и третьего годов за период вегетации увеличиваются (до 35 % и до 115 % соответственно). В хвое второго года значения в июле месяце уменьшаются, а к концу вегетации увеличиваются до 18 %.

На отвалах КБР значения толщины трансфузионной паренхимы хвои первого и второго годов за весь период вегетации увеличиваются (до 36 % и до 101 % соответственно). В хвое третьего года значения за период вегетации уменьшаются на 4 %.

В г. Стерлитамаке значения толщины трансфузионной паренхимы за период вегетации хвои первого года увеличиваются до 93 %. Размеры трансфузионной паренхимы хвои второго и третьего годов в середине вегетации уменьшаются, а к концу вегетации увеличиваются в хвое второго года до 12 %, третьего года – до 13 %.

На Уфимском плато размеры трансфузионной паренхимы за период вегетации увеличиваются в хвое первого года до 75 %, в хвое второго года – до 96 %. Размеры трансфузионной паренхимы хвои третьего года уменьшаются на 16 %.

**Склеренхима** изменяется в пределах от 1,12 до 9,98 мкм. На отвалах БМСК в середине вегетационного периода толщина склеренхимы хвои первого года увеличивается до 15 %, а к концу вегетации уменьшается до исходных размеров июня месяца. Размеры склеренхимы хвои второго и третьего годов за весь период вегетации увеличиваются: в хвое второго года до 13 %, в хвое третьего года до 36 %.

На отвалах УГОК значения толщины склеренхимы хвои первого, второго и третьего годов за период вегетации увеличиваются до 127 %, 269 % и 78 %.

На отвалах КБР значения толщины склеренхимы хвои за весь период вегетации увеличиваются: первого года до 68 %, второго года до 78 %, третьего года до 42 %.

В г. Стерлитамаке значения толщины склеренхимы хвои за период вегетации увеличиваются: первого года до 133 %, второго года до 60 %, третьего года до 27 %.

На Уфимском плато значения толщины склеренхимы хвои за период вегетации увеличиваются: в хвое первого года до 280 %, второго года до 342 %, третьего года до 14 %.

**Ксилема** изменяется в пределах от 2,38 до 8,51 мкм. На отвалах БМСК толщина ксилемы



в течение вегетационного периода увеличивается: хвои первого года до 19 %, хвои второго года до 12 %, хвои третьего года до 84 %.

На отвалах УГОК размеры толщины ксилемы за период вегетации увеличиваются: хвои первого года до 84 %, второго года до 51 %, третьего года до 107 %.

На отвалах КБР размеры толщины ксилемы хвои первого года за весь период вегетации увеличиваются до 73 %, хвои второго года уменьшаются к концу вегетационного периода до 4 %. Размеры толщины ксилемы хвои третьего года в середине вегетационного периода уменьшаются на 4 %, а к концу вегетации увеличиваются до 8 %.

В г. Стерлитамаке в течение вегетации в хвое первого, второго и третьего годов наблюдается тенденция к увеличению толщины ксилемы: в хвое первого года до 82 %, второго года до 47 %, третьего года до 44 %.

На Уфимском плато толщина ксилемы за период вегетации хвои первого года увеличивается до 47 %. Размеры ксилемы в хвое второго и третьего годов к середине вегетационного периода уменьшаются: в хвое второго года на 10 %, третьего года на 2 %. А к концу вегетации размеры увеличиваются: хвои второго года до 24 %, хвои третьего года до 19 %.

**Флоэма** изменяется в пределах от 1,12 до 9,98 мкм. На отвалах БМСК толщина флоэмы в течение вегетационного периода хвои первого года увеличивается до 19 %. В хвое второго года в середине вегетации толщина слоя увеличивается к концу вегетации до 7 %. Размеры флоэмы хвои третьего года в середине вегетации уменьшаются на 2 %, а к августу увеличиваются до 80 %.

На отвалах УГОК размеры толщины флоэмы хвои за период вегетации увеличиваются: первого года до 51 %, второго года до 28 %, третьего года до 21 %.

На отвалах КБР значения толщины флоэмы хвои первого и второго годов за весь период вегетации увеличиваются, а в хвое третьего года уменьшаются: в хвое первого года до 62 %, в хвое второго года до 53 %, а в хвое третьего года на 31 %.

В г. Стерлитамаке размеры толщины флоэмы за период вегетации хвои первого и третьего года увеличиваются: в хвое первого года до 106 %, в хвое третьего года до 18 %. Толщина флоэмы хвои второго года за период вегетации уменьшается на 8 %.

На Уфимском плато за период вегетации размеры флоэмы хвои первого и второго годов увеличиваются (до 43 % и до 24 % соответственно). В хвое третьего года толщина флоэмы уменьшается на 19 %.

**Нижняя трансфузионная паренхима** изменяется в пределах от 3,07 до 13,02 мкм. На отвалах БМСК за период вегетации толщина трансфузионной паренхимы хвои первого года увеличивается до 56 %. В хвое второго года размеры трансфузионной паренхимы к июлю увеличиваются до 9 %, а к концу августа – до исходных значений июня месяца. В июле месяце толщина хвои третьего года уменьшается на 19 %, а к концу вегетации увеличивается до 114 %.

На отвалах УГОК размеры трансфузионной паренхимы хвои за период вегетации уменьшаются: первого и второго года на 53 %, третьего года на 42 %.

На отвалах КБР размеры толщины трансфузионной паренхимы хвои первого, второго и третьего годов за весь период вегетации уменьшаются (на 26 %, на 43 % и на 23 % соответственно).

В г. Стерлитамаке за период вегетации размеры толщины трансфузионной паренхимы хвои первого и третьего годов увеличиваются: в хвое первого года до 27 %, хвое третьего года до 47 %. Размеры трансфузионной паренхимы хвои второго года за период вегетации увеличиваются на 4 %.

На Уфимском плато толщина трансфузионной паренхимы хвои за период вегетации уменьшается: первого года на 16 %, второго года на 29 %, третьего года на 52 %.

**Нижняя эндодерма** изменяется в пределах от 1,37 до 3,03 мкм. На отвалах БМСК за период вегетации толщина нижней эндодермы уменьшается: в хвое первого года на 17 %, в хвое второго года на 5 %, в хвое третьего года – на 6 %.

На отвалах УГОК размеры нижней эндодермы хвои первого и второго годов уменьшаются к концу вегетации на 0,5 % (хвоя первого года) и на 23 % (хвоя второго года). Толщина нижней эндодермы хвои третьего года в течение вегетационного периода увеличивается до 21 %.

На отвалах КБР размеры толщины нижней эндодермы хвои первого, второго и третьего годов в середине вегетации уменьшаются, а в конце увеличиваются до 18 %, 5 % и 24 % соответственно.

В г. Стерлитамаке наблюдается тенденция к увеличению толщины слоя хвои первого года до

34 %. Размеры нижней эндодермы хвои второго и третьего годов в середине вегетации уменьшаются, а к концу вегетации увеличиваются: в хвое второго года до 1 %, в хвое третьего года – до 11 %.

На Уфимском плато в течение вегетационного периода нижняя эндодерма увеличивается в хвое первого года (до 9 %) и третьего года (до 61 %). Размеры нижней эндодермы в середине вегетации хвои второго года уменьшаются, но к концу вегетации увеличиваются до 9 %.

**Нижняя складчатая паренхима** изменяется в пределах от 6,05 до 23,63 мкм. На отвалах БМСК в июле месяце толщина складчатой паренхимы хвои первого года увеличивается, а к концу вегетации уменьшается на 4 %. Толщина складчатой паренхимы хвои второго года увеличивается до 37 %, а хвои третьего года – до 92 %.

На отвалах УГОК размеры толщины складчатой паренхимы за период вегетации увеличиваются до 16 % (хвоя первого года), у хвои второго года уменьшаются на 10 %, хвои третьего года увеличиваются до 100 %.

На отвалах КБР размеры толщины складчатой паренхимы хвои первого, второго и третьего годов за весь период вегетации увеличиваются до 60 %, 27 % и 37 % соответственно.

В г. Стерлитамаке в середине вегетации толщина складчатой паренхимы хвои первого и третьего годов уменьшается, но к концу вегетации увеличивается: в хвое первого года до 13 %, в хвое третьего года до 29 %. В хвое второго года наблюдается тенденция к увеличению толщины складчатой паренхимы до 66 %.

На Уфимском плато размеры складчатой паренхимы за период вегетации хвои первого, второго и третьего годов увеличиваются до 60 %, 27 % и 37 % соответственно.

**Нижняя гиподерма** изменяется в пределах от 1,37 до 2,21 мкм. На отвалах БМСК за период вегетации нижняя гиподерма хвои первого года уменьшается на 5 %. В хвое второго года толщина возрастает в июле до 5 %, но к августу снижается на 5 %. В хвое третьего года толщина нижней гиподермы не изменяется.

На отвалах УГОК размеры нижней гиподермы хвои увеличиваются: первого года до 49 %, второго года до 46 %, третьего года до 53 %.

На отвалах КБР за период вегетации размеры толщины нижней гиподермы хвои увеличиваются: первого года до 19 %, второго года до 27 %, третьего года до 20 %.

В г. Стерлитамаке нижняя гиподерма за период вегетации хвои первого и второго годов увеличивается: в хвое первого года до 23 %, в хвое второго года до 11 %. В хвое третьего года толщина нижней гиподермы за вегетационный период уменьшается на 6 %.

На Уфимском плато в хвое первого года в июле месяце размеры нижней гиподермы увеличиваются до 11 %, а к концу вегетации уменьшаются до исходных размеров июня месяца. За период вегетации размер нижней гиподермы хвои второго и третьего года увеличивается: в хвое второго года до 34 %, в хвое третьего года до 17 %.

**Нижний эпидермис** изменяется в пределах от 1,6 до 2,1 мкм. У ряда образцов, собранных на отвалах БМСК, имеется восковой налет: в начале вегетационного периода на хвое первого года толщиной до 3,36 мкм, на хвое второго года толщиной до 2,52 мкм, на хвое третьего года толщиной от 0,42 до 2,1 мкм. В середине вегетации на хвое второго года имеется восковой налет толщиной от 0,84 до 1,68 мкм, а на хвое третьего года – от 1,26 до 1,68 мкм. В конце вегетационного периода восковой налет имеется на хвое первого года (толщина от 1,26 до 2,52 мкм) и на хвое второго года (толщина до 2,1 мкм). Во всех случаях края слоя неровные. За период вегетации нижний эпидермис хвои первого года уменьшается на 5 %. К середине вегетации толщина нижнего эпидермиса хвои второго года увеличивается до 5 %, а к концу вегетации уменьшается на 16 %. В хвое третьего года наблюдается тенденция к увеличению нижнего эпидермиса, к концу вегетации он увеличивается до 12 %.

На отвалах УГОК размеры толщины нижнего эпидермиса хвои первого и третьего годов в течение вегетационного периода увеличиваются до 23 % и 25 % соответственно. Нижний эпидермис хвои второго года в июле месяце уменьшается на 8 %, к концу вегетации увеличивается до 12 %. Восковой налет прослеживался в начале вегетации на хвое первого года (толщина до 1,26 мкм), на хвое второго года (толщина от 0,84 до 1,26 мкм), на хвое третьего года (толщина до 1,26 мкм). В середине вегетации на хвое первого, второго и третьего годов толщина воскового налета – до 0,84 мкм. В конце вегетации восковой налет имелся только на хвое второго года (толщина от 1,26 до 1,68 мкм).

На отвалах КБР за период вегетации размеры толщины нижнего эпидермиса увеличиваются: хвои первого года до 25 %, хвои второго года до

14 %, хвои третьего года на 6 %. Восковой налет отмечается в начале вегетационного периода на хвое второго года (1,26 мкм), а в конце вегетации – на хвое второго и третьего годов (0,84 мкм).

В г. Стерлитамаке размер нижнего эпидермиса хвои первого и второго годов в середине вегетации уменьшается, а к концу вегетации увеличивается. В хвое первого года до 4 %, в хвое второго года до 2 %. За период вегетации размеры толщины нижнего эпидермиса хвои третьего года уменьшаются на 10 %. Толщина воскового налета в начале вегетационного периода на хвое первого года составляла до 1,26 мкм, на хвое второго года – от 0,42 до 0,84 мкм, на хвое третьего года – до 1,68 мкм. В середине вегетации на хвое первого и третьего годов толщина воскового налета была до 1,26 мкм, на хвое второго года – до 1,68 мкм, а в конце вегетации на хвое второго года – до 0,84 мкм, на хвое третьего года – до 1,26 мкм.

На Уфимском плато за период вегетации значения толщины нижнего эпидермиса хвои увеличиваются: первого года до 8 %, второго года до 18 %, третьего года до 10 %. Восковой налет наблюдается только в середине вегетационного периода на хвое первого (толщиной до 0,84 мкм) и на хвое третьего года (толщиной от 0,84 до 1,26 мкм).

Процентное соотношение **площади смоляных ходов** к площади поперечного среза хвои изменяется в пределах от 0,5 до 1,9 %. На отвалах БМСК процентное количество смоляных ходов хвои первого года к середине вегетации увеличивается до 0,9 %, а к концу вегетации снижается на 0,1 %. В середине вегетации процентное соотношение площади смоляных ходов хвои второго года уменьшается на 0,3 %, а к концу вегетации увеличивается до исходных значений июня месяца. В середине вегетационного периода отмечается увеличение процентного соотношения площади смоляных ходов хвои третьего года, а к концу вегетации уменьшение до исходных параметров июня месяца.

На отвалах УГОК процентное соотношение площади смоляных ходов к площади поперечного среза хвои первого года в течение вегетационного периода увеличивается до 0,7 %, а хвои второго и третьего годов в июле месяце увеличивается до 0,5 % и до 0,7 % соответственно. А к концу вегетации площадь смоляных ходов к площади поперечного среза уменьшается: в хвое второго года на 0,2 %, в хвое третьего года на 0,9 %.

На отвалах КБР за период вегетации процентное соотношение площади смоляных ходов

к площади поперечного среза увеличивается: в хвое первого года до 0,6 %, в хвое второго года до 0,3 %, в хвое третьего года на 0,6 %.

В городе Стерлитамаке в хвое первого года процентное соотношение площади смоляных ходов к площади поперечного среза за период вегетации не изменяется. Процентное соотношение площади смоляных ходов к площади поперечного среза в хвое второго года в середине вегетации уменьшается, а к концу вегетации увеличивается до 0,5 %. В хвое третьего года за период вегетации процентное соотношение площади смоляных ходов к площади поперечного среза постепенно увеличиваются до 0,4 %.

На Уфимском плато за период вегетации процентное соотношение площади смоляных ходов к площади поперечного среза хвои первого года увеличивается до 0,3 %, хвои второго года постепенно уменьшается на 1,2 %. В середине вегетации процентное соотношение площади смоляных ходов к площади поперечного среза хвои третьего года увеличивается, а к концу уменьшается на 0,1 %.

### Заключение

В результате проведенной работы подтверждено большое разнообразие в строении ассимиляционного аппарата у сосны. Показано, что характерной особенностью в анатомической организации хвои сосны обыкновенной наблюдается четкая закономерность утолщения слоев хвои первого, второго и третьего годов за весь период вегетации на всех пробных площадях – на отвалах БМСК (г. Сибай), на отвалах УГОК (г. Учалы), на отвалах КБР (г. Кумертау), в городе Стерлитамаке (промышленная зона) и на Уфимском плато (многолетняя почвенная мерзлота).

На отвалах БМСК (г. Сибай) наблюдается тенденция к увеличению следующих слоев: верхняя трансфузионная паренхима, склеренхима, нижняя трансфузионная паренхима, ксилема и флоэма. Также прослеживается уменьшение слоев: верхний эпидермис, верхняя складчатая паренхима, нижняя эндодерма, нижняя гиподерма и нижний эпидермис. Нижняя гиподерма и нижний эпидермис уменьшаются в хвое первого и второго годов.

На отвалах УГОК (г. Учалы) наблюдается тенденция к увеличению всех слоев, кроме верхней складчатой паренхимы (хвоя второго и третьего годов), верхней эндодермы (хвоя второго года), нижней эндодермы (хвоя первого и второго годов),

нижней складчатой паренхимы (хвоя второго года). Во всех случаях наблюдается уменьшение.

На отвалах КБР (г. Кумертау) наблюдается увеличение всех слоев, кроме верхней трансфузионной паренхимы хвои третьего года и ксилемы хвои второго года.

В г. Стерлитамаке (промышленная зона) идет увеличение всех слоев, кроме верхнего эпидермиса хвои второго года, нижней трансфузионной паренхимы хвои первого и третьего годов, флоэмы хвои второго года, нижней эндодермы хвои второго и третьего годов, нижней гиподермы и нижнего эпидермиса хвои третьего года.

На Уфимском плато (многолетняя почвенная мерзлота) прослеживается тенденция к увеличению всех слоев, кроме нижней трансфузионной паренхимы, здесь отмечается тенденция к уменьшению за весь период вегетации и во флоэме хвои третьего года.

Показано, что в экстремальных условиях произрастания в течение вегетационного периода процентное соотношение смоляных ходов увеличивается на отвалах: УГОК (г. Учалы), КБР (г. Кумертау), в городе Стерлитамаке (промышленная зона) и на многолетней почвенной мерзлоте (Уфимское плато) в хвое первого года. На отвалах БМСК (г. Сибай) процентное соотношение площади к площади поперечного среза смоляных ходов не изменяется.

Увеличение толщины отдельных слоев хвои происходит при действии на растения экстремальных экологических факторов, таких, например, как многолетняя почвенная мерзлота, избыточное содержание солей в растительном субстрате и хроническое аэротехногенное загрязнение окружающей среды. Следует отметить, что на поверхности эпидермиса хвои в качестве за-

щитного элемента появляется восковой налет, что также рассматривается как адаптивная реакция растений на ухудшение лесорастительных условий. Уменьшение толщины слоев хвои происходит при улучшении условий произрастания или при выработке механизмов приспособления, направленных на снижение ее биомассы.

Работа выполнена в рамках исследований, поддержанных РФФИ – гранты №№ 05-04-97901, 05-04-97903, 05-04-97906, 05-04-97922.

### Библиографический список

1. Агроклиматические ресурсы Башкирской АССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 236 с.
2. Баталов, А.А. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала / А.А. Баталов, Н.А. Мартьянов, А.Ю. Кулагин и др. – Уфа: БНЦ УрО СССР, 1989. – 140 с.
3. Баталов, А.А. Широколиственно-хвойные леса Уфимского плато: фитоценологическая характеристика и возобновление / А.А. Баталов, Н.А. Мартьянов, А.Ю. Кулагин. – Уфа: Гилем, 2002. – 222 с.
4. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Башкортостан в 2002 г. – Уфа, 2003. – 208 с.
5. Егоров, Ю.Е. Механизмы дивергенции / Ю.Е. Егоров. – М., 1968. – 15 с.
6. Зайцев, Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
7. Кулагин, Ю.З. О многолетней почвенной мерзлоте в Башкирском Предуралье / Ю.З. Кулагин // Экология, 1976. – № 2. – С. 24–29.
8. Кулагин, Ю.З. Экологические аспекты пород-лесообразователей в районе Уфимского плато / Ю.З. Кулагин // Лесоведение. – 1978. – № 5. – С. 11–14.
9. Лыкошин, А.Г. Многолетняя мерзлота в долине р. Уфы / А.Г. Лыкошин // Природа. – 1952. – № 1. – С. 115.
10. Руководство по эксплуатации ОМТ-01.00.000РЭ (ТУ 9443-001-322853843-99). – Екатеринбург, 1999. – 12 с.
11. Усманов, И.Ю. Экологическая физиология растений: учебник / И.Ю. Усманов, З.Ф. Рахманкулова, А.Ю. Кулагин. – М.: Логос, 2001. – 224 с.
12. Физико-географическое районирование Башкирской АССР (Репринтное издание). – Уфа, 2005. – 212 с.

## СОЧЕТАНИЕ ОХРАНЯЕМЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЛЕСОВ ПРИ ОСВОЕНИИ ЛЕСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ (НА ПРИМЕРЕ КАРЕЛИИ)

А.В. МАРКОВСКИЙ, *ст. преподаватель каф. физического воспитания ПетрГУ, канд. биол. наук*,  
 А.В. РОДИОНОВ, *ст. преподаватель каф. механизации с.-х. производства ПетрГУ, канд. техн. наук*,  
 А.М. ЦЫПУК, *проф. каф. технологии и оборудования лесного комплекса ПетрГУ, д-р техн. наук*

**П**ринцип непрерывности и неистощительности лесопользования, сформулированный русским ученым-лесоводом Г.Ф. Морозовым в начале XX в. [1], означает, что эксплуатация ресурсов леса должна обеспечивать производство многообразной лесной продукции для удовлетво-

рения общественных потребностей при сохранении продуктивных способностей леса, с учетом динамики развития этих потребностей.

Лесопользование как процесс преобразования лесных ресурсов в продукцию осуществляется во времени и в пространстве (природной



среде) с некоторым коэффициентом полезного действия, характеризующим уровень развития производительных сил человеческого общества. Следовательно, природная среда является основой существования общественного производства и самого общества [2].

Объектом воздействия технологии в лесопользовании является лесная площадь (ЛП). К лесным площадям относятся участки лесного фонда и др., на которых осуществляются процессы заготовки, восстановления, охраны и защиты лесных ресурсов.

В технологических процессах, осуществляемых на ЛП, задействованы различные виды сырья, значительно отличающиеся друг от друга по энергетическому уровню, например, растущие деревья при проведении рубок леса и саженцы при посадке леса.

Процессы, осуществляемые на ЛП, подчинены различным целям и разделены во времени – с периодом до 100 лет и более. В этих процессах задействованы различные виды сырья и полуфабрикатов, в десятки раз отличающиеся друг от друга по энергетическому уровню: растущие деревья при проведении рубок леса, сеянцы и саженцы при посадке леса и др. Полный цикл работ по освоению части ЛП в таежной зоне составляет 80–120 лет [1]. Чередование работ требует проведения подготовительно-заключительных операций, затраты на которые могут достигать 20 % от их общей стоимости [3].

Повысить эффективность освоения ЛП можно, преобразовав простую совокупность процессов заготовки, восстановления, охраны и защиты различных видов лесных ресурсов в систему – единый технологический процесс лесопользования. Для этого необходимо:

- 1) определить общую цель процесса лесопользования;
- 2) установить связи между различными работами на ЛП.

Решение этих задач возможно в рамках объектной концепции лесопользования, рассматривающей ЛП как земельный участок (аналог сырья), качество которого изменяется в результате технологических процессов. Основная продукция – та же ЛП, но со спелыми лесонасаждениями, наличие которых свидетельствует о завершении очередного цикла работ [4].

Согласно объектной концепции, древесина от рубок главного пользования и рубок ухода,

пневый осмол и другие продукты, заготавливаемые в период оборота рубки леса, образуют дополнительную продукцию. Стоимость этой продукции достаточно велика, чтобы компенсировать все затраты на ее заготовку и достижение главной цели технологии, однако стоимость основной продукции оказывается более высокой, если учесть стоимость земельных участков как недвижимого имущества.

Преобразование различных работ, выполняемых на одной площади, в единый технологический процесс комплексного освоения лесной площади (КОЛП) осуществляется на основе сети постоянно действующих технологических коридоров (ПДТК), которые впервые предложил профессор И.К. Иевинь для рубок ухода [4–6].

Сеть коридоров организуется на ЛП при проведении рубок главного пользования или рубок ухода, а после их завершения сохраняется и используется для проведения лесохозяйственных работ [5].

В технологическом процессе КОЛП преобразование ЛП в исходном состоянии (аналог сырья) в ЛП со спелыми насаждениями хозяйственно ценных пород (аналог продукции) осуществляется непрерывно с переменной интенсивностью, а все работы на площади имеют начало и конец, т.е. дискретны. Таким образом, КОЛП можно классифицировать как комбинированный процесс.

Процесс КОЛП предполагает, что все работы на лесной площади делятся на 6 этапов (рисунк):

- 1) подготовка лесной площади к освоению;
- 2) строительство дорог;
- 3) лесосечные работы;
- 4) лесовосстановительные работы;
- 5) работы в период роста леса;
- 6) формирование спелых насаждений хозяйственно ценных пород.

Разметку ПДТК проводят на 1-м этапе освоения площади, при этом расстояние между ними по осям устанавливается кратным ширине захвата агрегата, использование которого в качестве базового предполагается для работ в период роста леса (16–25 м – для современных и перспективных манипуляторных машин для лесосечных работ).

ПДТК формируют на 3-м этапе в процессе основных работ на лесной площади, выбирая ширину пасеки кратной расчетному расстоянию

между лентами культур. Оптимальная схема размещения ПДТК определяется при подготовке площади к освоению, т. е. на 1-м этапе процесса КОЛП.

Использование сетей ПДТК для освоения ЛП позволяет [7]:

1. Уменьшить степень воздействия на почву, живой напочвенный покров и жизнеспособный подрост путем организации движения лесосечных и лесохозяйственных машин только по коридорам. Исключение составляют лесохозяйственные машины, совершающие однократные проходы по пасакам с целью содействия естественному возобновлению (сдирание лесной подстилки и т. п.), посева или посадки леса, проведения осветлений и прочисток.

2. Повысить эффективность лесохозяйственного производства путем сокращения расходов на разметку и создание технологических коридоров для машин, выполняющих на ЛП работы по заготовке, восстановлению, охране и защите лесных ресурсов в период роста леса.

Использование сетей ПДТК позволяет также повысить транспортную доступность ЛП для проведения агротехнических уходов за подростом и/или культурами хозяйственно ценных пород (рыхление почвы, скашивание травы в рядах культур и пр.) в первые пять лет.

Известно, что многократные проходы машин по коридорам (волокам – на этапе лесосечных работ) изменяют условия для развития на них растений [8].

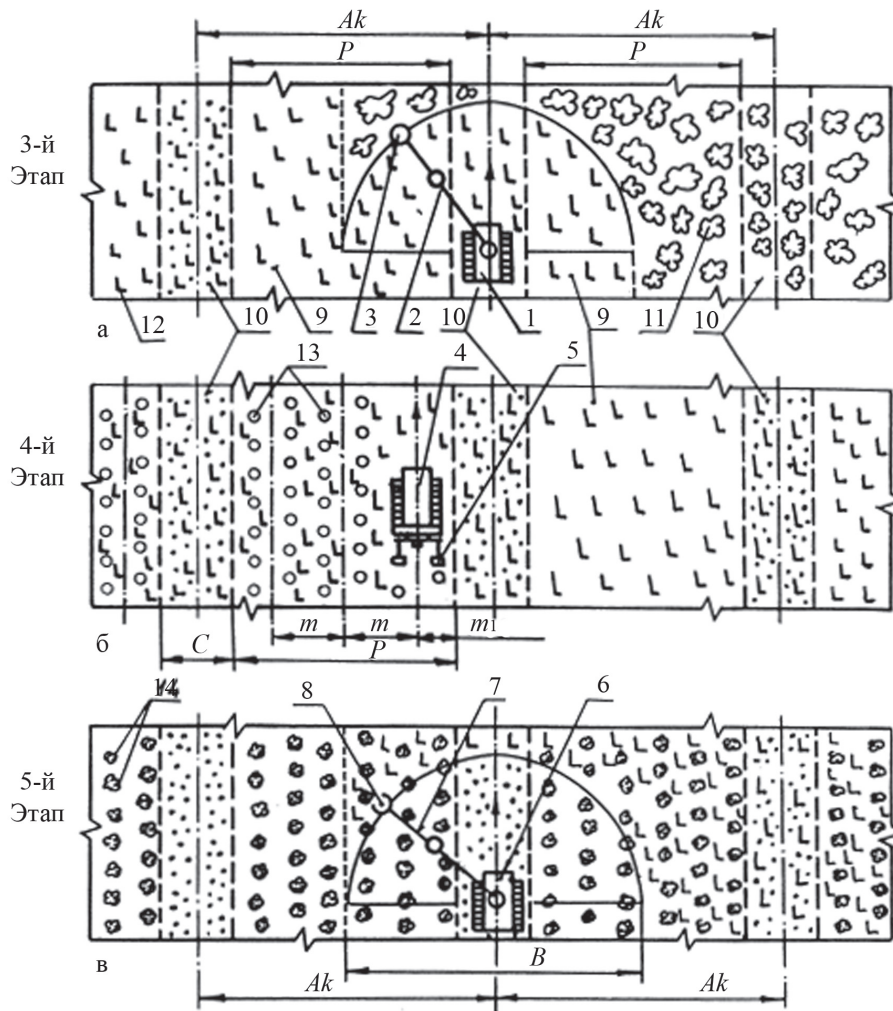


Рисунок. Схема технологического процесса КОЛП [4]: а – валка деревьев; б – посадка леса; в – заготовка пневого осмола; 1 – валочно-пакетирующая машина (ВПМ); 2 – манипулятор ВПМ; 3 – захватно-срезающее устройство ВПМ; 4 – агрегат для посадки леса; 5 – лункообразователь типа Л-2У; 6 – корчующий агрегат (КА); 7 – манипулятор КА; 8 – захватно-корчующее оборудование КА; 9 – пасака; 10 – ПДТК; 11 – спелые насаждения; 12 – пень; 13 – высаживаемые растения; 14 – молодняк лесных культур;  $A_k$  – расстояние между смежными ПДТК по осям, м;  $P$  – ширина пасаки, м;  $C$  – ширина ПДТК, м;  $m$  – среднее расстояние между лентами культур, м;  $m_1$  – среднее расстояние между осью крайнего прохода агрегата на пасаке и ПДТК, м;  $B$  – ширина захвата базового агрегата для работ в период роста леса, м

Площади волоков возобновляются в основном лиственными породами и кустарниковой растительностью, а не хозяйственно-ценными породами [8].

С точки зрения технологии КОЛП, зарастание ПДТК лиственными породами не является отрицательным. Появление на ЛП (особенно – на коридорах) лиственных пород позволяет [1, 7, 9]:

1) ускорить смыкание крон и восстановление лесного микроклимата, необходимого для развития подроста и/или культур хозяйственно-ценных пород, страдающих в первые годы своего развития на вырубках от снежного шютте, весенних заморозков, пониженной влажности воздуха;

2) повысить биологическое разнообразие выращиваемого насаждения, что в свою очередь позволяет снизить риск массового заражения ЛП вредителями и болезнями леса (дополнительный эффект возникает в случае гибели подроста и/или культур хозяйственно-ценных пород – оставшиеся лиственные породы обеспечат возобновление вырубки и перевод ее в покрытую лесом площадь);

3) предупредить подтопление вырубок грунтовыми водами (особенно – вблизи ПДТК, где машины образуют колеи глубиной до 50 см), возникающее после удаления растущего леса, интенсивно испаряющего влагу из почвы, и приводящее к гибели подроста и культур хозяйственно-ценных пород;

4) создать кормовую базу для лесных животных (лосей, зайцев), что в свою очередь позволяет снизить риск обгладывания подроста и культур хозяйственно-ценных пород этими животными;

5) повысить противопожарную стойкость насаждения за счет разделения площади с подростом и/или культурами хозяйственно-ценных хвойных пород на пасеки с помощью возобновившихся лиственными породами ПДТК, создающих естественное препятствие на пути распространения огня.

Поддержание ПДТК в период роста леса в состоянии, пригодном для передвижения по ним машин, может осуществляться проминкой их гусеничным трактором в агрегате с катком-осветлителем – при возрасте насаждения до 21 года; прорубкой мотокусторезами, бензиномоторными пилами или лесосечными машинами – при возрасте насаждения старше 21 года. Уход за ПДТК должен совмещаться с выполнением на площади лесоводственных уходов – осветлений, прочисток, прореживаний и проходных рубок.

В соответствии с вышесказанным по признаку вовлеченности в процесс лесопользования можно выделить два типа лесных массивов в регионе:

1. Эксплуатационный массив – совокупность ЛП, используемых для производства древесной и/или недревесной лесной продукции. Согласно объектной концепции часть этого массива, используемая для удовлетворения текущих потребностей в лесной продукции, должна быть обустроена сетью дорог и ПДТК. Другая часть массива, выведенная из эксплуатации их собственником до момента увеличения потребностей в лесной продукции либо недоступная по экономическим соображениям (удаленность от мест сбыта, не соответствующие спросу породно-размерные характеристики древостоев и т.п.), может не иметь сети дорог и ПДТК.

2. Неэксплуатационный массив – совокупность ЛП, все виды лесопользования в которых законодательно запрещены. Поддерживать запретность проще при отсутствии транспортной сети [10].

Согласно принципам международной лесной сертификации «Forest Stewardship Council (FSC)» к таким массивам относятся:

1. Малонарушенные естественные лесные сообщества (МЕЛС) – лесные массивы площадью более 50 тыс. га. Под определение «МЕЛС» попадают леса климаксовые и девственные (по ОСТ 56-108-98 «Лесоводство. Термины и определения»). Благодаря большой площади данные лесные территории способны переносить периодические катастрофические природные катаклизмы (крупные пожары, размножения вредителей) и возрастающее антропогенное воздействие. Примером МЕЛС в Республике Карелия является планируемый национальный парк (НП) «Калевальский».

2. Леса высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) – лесные массивы площадью от 10 га до 50 тыс. га. ЛВПЦ могут являться остатками от массивов МЕЛС, появившихся по причине фрагментации последних в результате антропогенной деятельности. Данные ЛВПЦ чаще встречаются в России. В Западной Европе ЛВПЦ могут являться восстановленными производными лесами, но с высоким уровнем биоразнообразия. Примером ЛВПЦ в Республике Карелия являются производные леса Заонежья (Медвежьегорский район).

3. Лесные ключевые местообитания (ЛКМ) – лесные участки до 10 га.

К ЛКМ относятся скальные разломы, окрайки болот, окрестности лесных озер и другие, характерно отличающиеся от окружающей местности, участки. К ЛКМ возможно относить не только территории, но и отдельные природные объекты (например, локальный выход коренных пород на поверхность, усохшее на корню дерево осины и т.п.).

ЛКМ являются хранилищами локального биоразнообразия на территории, однородной по другим признакам.

Следует заметить, что выделение ЛКМ зачастую связано с исключением из освоения неудобных для лесозаготовителей участков лесосек (заболоченные площади, ложбины) и отменой заготовки неликвидной древесины (крупные осины, старые деревья хвойных пород и т.п.).

Целью существования вышеуказанных неэксплуатационных массивов является сохранение особо ценных природных объектов региона и содействие устойчивому существованию природной среды в целом [11].

Таким образом, прежде чем планировать и осуществлять процесс КОЛП, необходимо убедиться, что ЛП не относится к неэксплуатационному массиву (особенно – к МЕЛС или ЛВПЦ). Для этого необходимо использовать соответствующую методику и критерии.

В РФ работы по выявлению МЕЛС и ЛВПЦ с помощью дистанционного зондирования (космических снимков поверхности Земли) ведутся, в частности, Институтом космических исследований Российской Академии наук при содействии Лесного клуба российских неправительственных организаций, «Гринпис-Россия» и других общественных организаций.

В Республике Карелия подобные исследования ведутся Институтом леса Карельского научного центра Российской Академии наук (КарНЦ РАН), «Гринпис-Россия» при участии региональной общественной природоохранной организации СПОК [10, 12–14].

Применяемые методики поиска МЕЛС и ЛВПЦ базируются на сочетании данных дистанционного зондирования и наземных обследований.

Используемые методики предусматривают три этапа:

1. Выделение крупных единых природных территорий, не разделенных элементами ан-

тропогенной инфраструктуры, имеющих площадь до 50 тыс. га и более и минимальный линейный размер не менее 10 км. В пределах территорий данного размера может устойчиво поддерживаться большинство природных ценностей и естественных механизмов самоорганизации таежных ландшафтов, в том числе [10, 11]:

- динамика мелкомасштабных (вываливание или гибель отдельных деревьев) и крупномасштабных (пожары, усыхание насаждений в результате воздействия насекомых-фитофагов или экстремальных погодных условий) случайных нарушений;

- самодостаточные популяции особо чувствительных к антропогенному воздействию видов животных и растений;

- эталонные, не затронутые хозяйственной деятельностью водосборные бассейны ручьев, озер, болот и малых рек;

- типичные для конкретных ландшафтов наборы и пространственные сочетания экосистем и типов местообитаний;

- редкие и уникальные экосистемы, уничтоженные или быстроисчезающие в условиях сильно фрагментированных и подверженных сильному антропогенному воздействию ландшафтов.

Работы могут выполняться на топографических бумажных или электронных картах масштаба 1:200 000 с использованием материалов лесоустройства и литературных источников.

2. Исключение нарушенных участков и определение границ территорий, потенциально относящихся к МЕЛС и ЛВПЦ.

Работы выполняются с использованием снимков поверхности Земли высокого разрешения (размер сцены не менее 183 × 183 км, разрешение не менее 30 м/пиксель), полученных с космических спутников в летний период. Подобные высококачественные снимки позволяют выявлять мелкие, свежие и рассеянные нарушения, которые невозможно обнаружить на снимках с меньшим разрешением.

Основным методом интерпретации снимков является интерактивное экспертное дешифрирование, проводимое в программе «ArcView», с одновременным использованием результатов первого этапа, перенесенных на электронную карту масштаба 1:200 000. Критерием исключения ЛП из категории МЕЛС или ЛВПЦ является наличие антропогенных нарушений (в частности, рубок



леса). Оставшиеся ЛП потенциально относятся к МЕЛС и ЛВПЦ, границы которых отмечаются на этой же карте.

3. Уточнение границ и площади МЕЛС и ЛВПЦ на основе результатов полевых наземных обследований. Обследования проводятся на территориях, потенциально относящихся к МЕЛС, маршрутно-рекогносцировочным методом с заложением пробных площадок (ПП). Количество, протяженность и направление маршрутов, а также количество ПП определяется заблаговременно по электронной карте масштаба 1:200 000 в «ArcView».

По результатам полевых обследований в программе «ArcView» составляется электронная карта масштаба 1:200 000 распределения МЕЛС по исследованной территории.

В результате исследований, проводившихся в 1997–2003 гг. Институтом леса КарНЦ РАН, «Гринпис-Россия» при участии региональной общественной природоохранной организации СПОК по описанным методикам, установлено, что МЕЛС и ЛВПЦ Карелии располагаются вдоль российско-финляндской границы, в Пудожском районе, на Карельской части побережья Белого моря и незначительные массивы – в центральной части республики [12, 13].

Выяснено, что суммарная площадь МЕЛС и наиболее крупных ЛВПЦ Карелии, не входящих в существующую сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ) с полным запретом рубок леса, составляет 7,5 % от общей площади лесного фонда республики, на их территории сосредоточено около 9,5 % корневого запаса карельских лесов.

Суммарная площадь ООПТ Карелии с полным запретом рубок леса составляет 2,1 % площади республики. К подобным ООПТ относятся территории НП «Паанаярви», карельской части НП «Водлозерский», заповедников «Костомукшский», «Кивач», а также на территории ряда заказников с режимом охраны, не допускающим заготовку древесины.

Таким образом, в соответствии с принципами лесной сертификации по системе FSC в Республике Карелия необходимо увеличить общую площадь строго охраняемых (т.е. с полным запретом всех видов рубок) лесов до 9,6 % площади республики.

Выделение МЕЛС и ЛВПЦ можно проводить силами подготовленных сотрудников ле-

соустроительных предприятий во время проведения лесоустройства или как дополнительную работу при проведении сертификации по системе FSC. Финансирование работ возможно осуществлять за счет лесопользователей, получивших лес в долгосрочную аренду, поскольку сертификация по системе FSC создает им дополнительные конкурентные преимущества на современном международном рынке лесопродукции.

Таким образом, на основании результатов исследований предлагается следующее распределение площади лесного фонда Республики Карелия по признаку вовлеченности в процесс лесопользования:

– 85 % – эксплуатационный массив – должен быть обустроен с помощью сети дорог и сетей ПДТК, с перспективой перехода к плантационному лесовыращиванию на основе технологии КОЛП, при соблюдении принципа непрерывного и неистощительного лесопользования [1];

– 15 % – неэксплуатационный массив – МЕЛС и ЛВПЦ Республики Карелия (9,6 % площади региона) и прочие леса, выполняющие природоохранные и средозащитные функции (максимально возможная часть этих лесов должна иметь режим заповедника, в другой части возможно развитие экологического туризма).

В заключение следует отметить следующее:

1) по признаку вовлеченности в процесс лесопользования в регионе можно выделить эксплуатационные и неэксплуатационные лесные массивы;

2) неистощительное лесопользование в эксплуатационных массивах лесов возможно на основе технологии комплексного освоения лесных площадей, предусматривающей организацию сети постоянно действующих технологических коридоров для передвижения людей и машин;

3) выделение неэксплуатационных массивов лесов возможно на основе методики, сочетающей данные дистанционного зондирования поверхности Земли и полевых наземных обследований.

#### Библиографический список

1. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе / Г. Ф. Морозов. – М.: Гослесбумиздат, 1949. – 456 с.
2. Маркс, К. Избранные произведения. В 3 т. / К. Маркс, Ф. Энгельс. – М.: Политиздат, 1986. – Т 1. – 635 с.
3. Виногоров, Г. К. Очистка лесосек в современном аспекте / Г. К. Виногоров // Проблемы технологии и механизации лесосечных работ: науч. тр. – Химки: ЦНИИМЭ, 1969. – № 96. – С. 3–58.

4. Цыпук, А.М. Повышение эффективности лесовосстановительных работ ресурсосберегающей технологией: автореф. дис. ... д-р техн. наук / А.М. Цыпук. – Петрозаводск: ПетрГУ, 1996. – 32 с.
5. Цыпук, А.М. Технология комплексного освоения лесных площадей / А.М. Цыпук, А.Э. Эгипти, И.Р. Шегельман // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: сб. научн. трудов. – Л.: ЛТА, 1989. – С. 43–46.
6. Иевинь, И.К. Проблемы технологии рубок ухода / И.К. Иевинь, А.Ф. Кажелка. – Рига: Зинатне, 1973. – 295 с.
7. Ярошенко, А.Ю. Об оставлении при сплошных рубках малоценных лиственных деревьев [Электронный ресурс]. Режим доступа к ст.: <http://forestforum.ru/phorum/viewtopic.php>
8. Бартнев, И.М. Оценка различных видов рубок главного пользования и лесовосстановления / И.М. Бартнев, В.И. Таранков, Г.А. Одноралов // Вестник Центрально-Черноземного регионального отделения наук о лесе Академии естественных наук. – Воронеж: ВГЛТА, 1999. – Вып. 2. – С. 16–24.
9. Куусела, К. Понятия и основы лесоустройства европейских северных хвойных лесов Финляндии и России / К. Куусела. – Ювяскюля: АО Гуммерус, 1998. – 96 с.
10. Ярошенко, А.Ю. Малонарушенные лесные территории Европейского Севера России / А.Ю. Ярошенко, П.В. Потапов, С.А. Турубанова. – М.: Гринпис-России, 2001. – 75 с.
11. Соколов, В.Е. Экология заповедных территорий / В.Е. Соколов, К.П. Филонов, Ю.Д. Нухимовская и др. – М.: Янус-К, 1997. – 575 с.
12. Громцев, А.Н. Программа инвентаризации и изучения биологического разнообразия в таежных ландшафтах Карелии: первые итоги / А.Н. Громцев, В.И. Крутов // Коренные леса таежной зоны Европы: современное состояние и проблемы сохранения: матер. Междунар. науч.-практ. конф. 6–8 июля, 1999, Петрозаводск. – Петрозаводск: СДВ-ОПТИМА, 1999. – С. 198–200.
13. Хохлова, Т.Ю. Особо охраняемые природные территории Карелии: науч. издание / Т.Ю. Хохлова, В.К. Антипин, П.Н. Токарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000 г. – 312 с.
14. Марковский, А.В. Экология и структура малонарушенных еловых лесов Карелии: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16, 03.00.05. / А.В. Марковский. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2000. – 26 с.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ОСНОВА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ

Е.В. РЫЖОВА, *НИИ космических систем*

Характерной чертой космической деятельности в XXI в. будет не только стремление к достижению новых количественных и качественных рубежей в развитии космических систем, но и создание новых высокотехнологичных космических средств и систем различного целевого назначения, затрагивающих и кардинально меняющих многие сферы человеческой деятельности [6].

Резкий рост уровня антропогенного воздействия на окружающую среду в сочетании с низкой эффективностью и разобщенностью природоохранных мероприятий привел за последние десятилетия к значительному ухудшению экологической обстановки в различных регионах Российской Федерации. Наиболее уязвимыми оказались промышленно развитые районы с высокой концентрацией промышленных производств топливно-энергетического, химического, металлургического и др. профилей, приведших к превышению уровней допустимой экологической нагрузки на природную среду, возникновению потенциально опасных чрезвычайных ситуаций. Компенсировать перечисленные последствия позволяют регуляторные способности биосферы, в основном растительности.

Негативное воздействие человека на окружающую среду делает чрезвычайно важным развитие космических средств и систем контроля

опасного антропогенного воздействия на среду обитания, высокооперативного выявления катастрофических явлений. Своевременному предупреждению о них, повышению оперативности и эффективности мер по ликвидации последствий этих опасных явлений на основе информации космических систем уделяется в настоящее время особое внимание.

Постановлением коллегии Федеральной службы лесного хозяйства России от 19 октября 1993 г. приняты основные положения лесного мониторинга в России [7]. Лесной мониторинг является составной частью Единой государственной системы экологического мониторинга в Российской Федерации. Однако органы управления лесным хозяйством России, особенно федерального и регионального уровней, испытывают значительные трудности в оперативном управлении лесами, т.к. при подготовке и обосновании принимаемых решений не обладают в настоящее время достоверной оперативной и систематизированной информацией о произошедших изменениях в состоянии лесного фонда, которую с успехом можно было бы получать с помощью космических средств наблюдения. Информация о лесном фонде обновляется лесоустройством один раз в 10 лет, но в последнее время этот срок увеличился. В результате не представляется возможным получать достоверную

информацию обо всех изменениях, происходящих в лесном фонде в течение этого периода. Так, по данным Канадской службы лесов, информация о лесном фонде территории устаревает на 10 % в год (Wulder, 2001). В настоящее время эту информацию дает инвентаризация лесов, однако она имеет ряд следующих недостатков:

- инвентаризация в разных регионах проводится по разным технологиям с различной дробностью и точностью работ;
- данные инвентаризации имеют существенные систематические ошибки;
- для данных инвентаризации как в целом по стране, так и в пределах отдельных крупных объектов РФ характерен широкий диапазон давности от нескольких лет до нескольких десятков лет.

Отсюда вывод о том, что существующие наземные методы получения природно-ресурсной и экологической информации не в полной мере обеспечивают потребности регионов в части осуществления экологического мониторинга. Необходим переход на качественно новый уровень получения информации.

Растительность является естественным биологическим индикатором степени экологического благополучия природного комплекса. Регулярные наблюдения индикаторных признаков дают возможность не только оценить текущее экологическое состояние, но и дать прогноз его дальнейшего изменения. Важнейшими из индикаторных признаков являются характеристики процессов продукции (т.е. приращения биологической массы) и распада растительной органики. Космические средства наблюдения обеспечивают новый подход к оценке экологического состояния лесов с использованием временных рядов биопродуктивности. Однако применение космических средств наблюдения в данном конкретном случае требует наличия:

- бортовой измерительной аппаратуры КА, обладающей соответствующими характеристиками;
- новых информационных технологий для определения функциональных зависимостей между спектральными характеристиками лесной растительности и их биопродуктивностью по космической информации.

Эффективное использование космических средств наблюдения возможно лишь на основе системного решения проблемы.

Дистанционно с использованием авиационных и космических средств ДЗЗ состояние леса определяют на основе результатов измерения его оптических характеристик. За последние 30–40 лет в отечественном лесоведении изучению спектральной отражательной способности древесной растительности были посвящены исследования С.В. Белова [1], Н.Г. Харина [8], Б.Ф. Виноградова [2], А.С. Исаева и Ф.И. Плешикова [5], Н.Н. Выгодской [3], В.М. Жирина [4] и др. Однако в данных работах динамика изменения оптических характеристик подстилающей растительности учитывается, на наш взгляд, недостаточно. В лучшем случае определяются линейные тренды характеристик, между тем для растений характерно периодическое изменение их характеристик. Сложность в определении этих характеристик с использованием космических средств обусловлена рядом ограничений, а именно:

- значительной вариацией спектральных характеристик объекта наблюдения в зависимости от вегетационного периода, климатических условий, рельефа местности;
- смешанным произрастанием лесной растительности;
- зависимостью качества данных об объекте наблюдения от метеорологической обстановки.

Следует учитывать очевидные на данном этапе экономические ограничения по созданию специализированной космической системы мониторинга состояния лесов, строительства отдельных пунктов приема космической информации и т.д. Выбор КА и его орбитальных параметров для экологического мониторинга должен осуществляться по «пригодности» из существующих типов КА ДЗЗ.

Основная доля поступающей от космических средств наблюдения информации лежит в видимом диапазоне длин волн или в ближнем ИК-диапазоне. В этом диапазоне функционирует целый ряд зарубежных спутников наблюдения, таких, как «SPOT», «LANDSAT» и др. Количество отечественных КА наблюдения, функционирующих на орбитах, ограничено. При этом используемая спектрально-бортовая измерительная аппаратура не в полной мере удовлетворяет решение целевой задачи. В нашей стране космическое наблюдение осуществляется с помощью КА оптико-электронного наблюдения типа «Ресурс-О1» и фотографического наблюдения «Ресурс-Ф». Опыт эксплуатации данных КА показал

ряд их недостатков, особенно с появлением новых задач, таких, как экологический мониторинг, контроль чрезвычайных ситуаций и др. В России имеется опыт использования информации космических средств наблюдения только для обнаружения техногенных и некоторых видов природных объектов, для которых характерны стабильные спектральные характеристики. Так, например, наиболее просто дистанционному обнаружению поддаются нарушения растительного покрова, обусловленные физическими воздействиями на него (лесные вырубки, гари, подтопления).

Для решения задач мониторинга состояния лесов в перспективе было бы достаточно двух-трех типов КА. Первый тип КА – геостационарный, позволяющий осуществлять контроль лесных пожаров. В настоящее время это достаточно успешно делается на основе информации, получаемой от КА типа NOAA (США). В 2006 г. ожидается запуск российского геостационарного КА ДЗЗ «Электро-Л», оснащенного многозональным сканером, работающим в 3 каналах видимого и 7–9 каналах ИК-диапазона. Причем этот КА должен быть выведен в точку стояния 76° в.д., откуда наилучшим образом обзревается вся территория России. Естественно было бы использовать этот КА в целях мониторинга лесных пожаров.

Второй и третий типы – соответственно низкоорбитальные (высота орбиты – 600–1000 км) КА оптико-электронного и радиолокационного наблюдения. В настоящее время на орбите находятся два российских КА ДЗЗ оптико-электронного наблюдения: метеорологический и природно-ресурсный КА «Метеор-3М» № 1 (ВД) и КА двойного назначения «Аркон-1» № 2 (ВД и ближний ИК-диапазон). Средств радиолокационного наблюдения в настоящее время у России нет.

В перспективе задачи мониторинга состояния лесов, возлагаемые на низкоорбитальные КА, могут решаться [6]:

- КА комплексной космической системы «Монитор» (запуск первого КА – 2005 г.), в составе которой должны быть КА как оптико-электронного, так и радиолокационного наблюдения;
- КА оптико-электронного наблюдения «Ресурс-ДК», запуск – июнь 2006 г.;
- КА радиолокационного наблюдения системы «Кондор-Э», запуск – конец 2003 – начало 2004 г.;
- КА радиолокационного наблюдения «Аркон-2» № 1, запуск – 2007 г.;

– малыми и микро- КА разработки ВНИИЭМ и ЦНИИМАШ.

Необходимо отметить, что в ближайшие несколько лет в ГКНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» будет создан КА «Ресурс-ДК1» № 2, дополнительно оснащенный радиолокационным комплексом высокого разрешения (ВРЛК), что позволит вести круглосуточное всепогодное наблюдение земной поверхности в видимом и сверхвысокочастотном диапазонах спектра. Кроме того, КА «Ресурс-ДК1» с радиолокационным комплексом сможет проводить синхронную съемку поверхности Земли одновременно в видимом и СВЧ-диапазонах электромагнитного спектра с высокими характеристиками пространственного разрешения. В этом случае КА второго и третьего рассматриваемых типов объединяются в один.

Таким образом, систему мониторинга состояния лесов в настоящее время можно было бы построить на базе информации ДЗЗ, получаемой с КА серии NOAA (США), а также – с КА «Метеор-3М» № 1 и «Аркон-1» № 2. В более отдаленной перспективе могут быть рассмотрены, на наш взгляд, три варианта:

1. NOAA + КА комплексной космической системы «Монитор».
2. NOAA + КА комплексной космической системы «Монитор» + КА системы «Кондор-Э».
3. «Электро-Л» + «Ресурс-ДК1» № 2.

### Библиографический список

1. Белов, С.В. Аэрофотосъемка лесов / С.В. Белов. – М.: АН СССР, 1959. – 256 с.
2. Виноградов, Б.Ф. Аэрокосмический мониторинг лесов / Б.Ф. Виноградов. – М.: Наука, 1984. – С. 161–170.
3. Выгодская, Н.Н. Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности / Н.Н. Выгодская, И.И. Горшкова. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
4. Жирин, В.М. Дистанционное зондирование при изучении динамики лесных экосистем за рубежом / В.М. Жирин // Обзор информ. (Лесоводство и лесоведение. Вып. 2) – М.: ВНИИЦлесресурс, 1993. – 40 с.
5. Исаев, А.С. Основные направления исследований лесных ресурсов Сибири с помощью аэрокосмических средств / А.С. Исаев, Ф.И. Плешиков // Исследование лесов аэрокосмическими методами. – Новосибирск: Наука, 1970. – С. 3–9.
6. Киселев, А.И. Космонавтика на рубеже тысячелетий: итоги и перспективы / А.И. Киселев, А.А. Медведев, В.А. Меньшиков. – М: Машиностроение – Полет, 2002. – С. 729.
7. Постановление коллегии Рослесхоза от 19 октября 1993 г. «Лесной мониторинг в России». – М., 1993.
8. Харин, Н.Г. Лесохозяйственное дешифрирование аэрофотоснимков / Н.Г. Харин. – М.: Наука, 1965. – 138 с.



## СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛЕСООХОТНИЧЬИХ ХОЗЯЙСТВАХ

А.Х. ЧОЧАЕВ, *проф., д-р экон. наук,*

М.А. ЖАШУЕВ, *асп. МГУЛ,*

О.А. ВОРОБЬЕВА, *асп. МГУЛ*

Одной из актуальных задач в области пользования лесными ресурсами является улучшение использования недревесной растительности, которая является источником многочисленных пищевых продуктов, играет важную роль в экономике комплексных лесных предприятий и воспроизводстве лесной фауны. Многие научные работники отмечают, что эколого-экономическое значение недревесной растительности на отдельных участках леса может превалировать над древесной. Человек на первых этапах развития использовал лес, главным образом, как ресурс недревесной продукции и только затем начал использовать его как ресурс древесины. Исконными промыслами древних народов являлись собирательство, переросшее затем в земледелие, охота – в звероводство, бортничество – в лесное пчеловодство. Лесопользование является частью системы природопользования. Многие проблемы лесопользования вытекают из общих проблем природопользования, между ними существуют причинно-следственные связи. Природопользование (включая лесопользование) представляет собой единство двух взаимозависимых производственных процессов, которые обеспечивают воспроизводство и эксплуатацию природных ресурсов. В условиях, когда леса все шире используются в качестве объекта организованного отдыха, лес становится важным стабилизирующим фактором окружающей среды, социальная функция лесной растительности превалирует над другими. При этом возрастает спрос на комфортабельные услуги в лесу, что способствует развитию рыночных отношений. В связи с повышением спроса на все компоненты лесных ресурсов во многих странах развивается многоцелевое использование лесов. Переход от одноцелевого к многоцелевому лесопользованию, знаменующий более высокую степень развития лесного хозяйства, по-новому представил проблему повышения продуктивности лесов, что означает расширенное воспроизводство не только древесины, но и всего комплекса продуктов и полезностей леса, на которые предъявляются потребности общества. Особое

место воспроизводству недревесных ресурсов и услуг леса уделяется в лесном хозяйстве Кабардино-Балкарии. Воспроизводство недревесных ресурсов и услуг леса, их комплексное использование – задача нынешнего и будущего развития лесного хозяйства.

Что касается воспроизводства фауны, то оно должно регулироваться так, чтобы не наносить ущерба лесному хозяйству. Лесохозяйства Кабардино-Балкарии собирают и заготавливают ресурсы биологического характера: плоды, лекарственные растения и т.д. Эта деятельность экономически перспективна и должна получить ускоренное развитие.

Характерной особенностью является то, что все исследования, проведенные в области лесохозяйства и охотохозяйства, использовались с целью определения полноты использования рекомендаций как лесохозяйства, так и охотохозяйства, опираясь на анализ прошлой деятельности. Положительным моментом проведенного лесохотохозяйства Нальчикского ГОЛОХ является использование методов типологии и бонитировки охотничьих угодий. Тип охотничьих угодий – это крупные участки территорий лесных и нелесных угодий, объединенных общностью охотохозяйственных признаков и имеющих определенный состав охотничьих животных.

Вместе с тем развитие лесного хозяйства Кабардино-Балкарии 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.

Решение этого вопроса возможно за счет использования в надлежащем объеме ранее не используемого должным образом потенциала недревесных ресурсов лесного фонда КБР, рекреационных и защитных услуг.

Назрела необходимость расширения сферы действия рыночных отношений в лесном 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. В этой связи на первый план в совершенствовании организационно-экономического механизма лесного хозяйства Кабардино-Балкарской республики выходит проблема стратегического планирования устойчивого развития и эффективного хозяйственного освоения лесного хозяйства республики в рыночных условиях для выхода его из кризиса и превращения лесного хозяйства из дотационного в доходный сектор экономики, формирования эффективного рынка продуктов и полезностей леса в регионе.

Устойчивое развитие лесохозяйственных хозяйств призвано, в первую очередь, обеспечивать высокую эффективность лесных экосистем. В этих условиях задачи и методы повышения продуктивности лесов сводятся:

- к доведению фактической продуктивности лесов до оптимальной (эффективной) при современном уровне технического прогресса;
- к доведению эффективной продуктивности до валовой путем разработки новых технологий по использованию органической массы;
- к повышению валовой продуктивности за счет использования прогрессивных методов селекции и гибридизации, внесения удобрений и т.п.

Продуктивность лесного хозяйства возрастет также за счет все более полного вовлечения в валовой оборот защитного и рекреационного лесопользования.

Проблемы организации устойчивого управления лесами при одновременном сохранении биоразнообразия многоаспектны, а их решение связано прежде всего с ходом экономической реформы России на данном переходном этапе. Поэтому проблему устойчивого управления лесами и устойчивого развития всего лесного сектора экономики страны нельзя решать без предварительной разработки стратегической лесной политики и выбора общефедеральных приоритетов. Этот этап должен предшествовать соответствующим программам на региональном и федеральном уровнях.

Решение проблемы экономической эффективности лесохозяйственного производства в большинстве случаев ограничивается оценкой отдельных лесохозяйственных мероприятий и не поднимается до уровня определения эффективности систем лесохозяйственных мероприятий в целом.

Возникает вопрос, каким образом изменить экономическую эффективность лесного хозяйства в целом, выработав систему показателей.

Кроме того, при переходе к многоцелевому лесопользованию для определения эффективности воспроизводства всего многообразия лесных ресурсов необходимо правильно определить продукцию лесного хозяйства и принять ее в качестве эффекта. Эффект от ведения лесного хозяйства так многогранен и применение его настолько широко, что до сих пор не существует методов его полного учета.

Лесозаконодательная наука пока не выработала методики интегральной оценки леса как саморегулируемой динамичной эколого-биологической системы и объекта многоцелевого использования. Поэтому лес рассматривается как совокупность отдельных ресурсов и свойств, использование каждого из которых обеспечивает получение определенного эффекта. Чем большим количеством полезных свойств обладает лес, тем он более качественный и удобный для эксплуатации, тем выше его ценность.

Особенностью лесного хозяйства является многоцелевое назначение используемых лесных ресурсов. В экономическом плане оно означает, что любое управленческое решение по использованию и воспроизводству лесных ресурсов надо оценивать по совокупности результатов, образующихся от использования древесных, недревесных и рекреационных полезностей леса. Необходимо сравнение различных направлений использования лесных ресурсов с различными вложениями труда и капитала, с различным доходом в зависимости от вида потребляемого ресурса.

Важно отметить большое влияние региональных факторов на принятие хозяйственных решений в лесном хозяйстве. Нельзя принимать решения, абстрагируясь от состояния лесов, региональных условий их воспроизводства, наличия транспортных путей, рынка сбыта лесопродукции, ресурсов трудоспособного населения в районе. Каждое решение должно исходить из приоритета региональных интересов, сбалансированных с общенациональными.

## РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДНОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

Л.М. ЧЕРНЯКЕВИЧ, *проф. каф. экономики и организации производства МарГТУ, канд. экон. наук*,  
Е.А. СМОЛЕНЦЕВА, *асп. каф. экономики и организации производства МарГТУ*

Лесные ресурсы являются важным элементом природно-ресурсного потенциала и национального богатства России. Лесной сектор имеет существенное значение для социально-экономического развития общества. Одновременно леса – основной компонент природной среды и естественного регулирования большинства протекающих в ней процессов, способствующий выживанию человечества. Международными соглашениями, в которых участвует Российская Федерация, провозглашена необходимость перехода мирового сообщества к устойчивому развитию. Целью государственной стратегии устойчивого развития является обеспечение сбалансированного решения социальных, экономических задач и проблем сохранения природно-ресурсного потенциала в интересах не только нынешних, но и будущих поколений.

Реализация стратегии устойчивого развития (устойчивого управления лесами) должна обеспечиваться системой государственного лесопользования и ведения лесного хозяйства, адаптированной к изменившимся институциональным условиям. Глубокий разрыв между фактическим использованием лесных ресурсов и потенциальной продуктивностью лесов, нестабильность финансового механизма, убыточность лесного хозяйства для собственника лесного фонда – государства, низкий уровень социальной эффективности свидетельствуют о наличии проблем, требующих научного и практического решения.

Согласно ОКОНХ лесное хозяйство является отраслью материального производства. Существенные изменения в понятие «лесное хозяйство» как вида экономической деятельности вносит введение «Общероссийского классификатора видов экономической деятельности» (ОКВЭД) ОК 029-2001. Классификатор видов экономической деятельности построен на основе гармонизации со статистической классификацией видов экономической деятельности в Европейском экономическом сообществе. Лесное хозяйство и предоставление услуг в этой области в России, как и в мировой практике, будет включать лесоводство и лесозаготовки. Таким образом, ведение лесного хозяйства должно обеспечить воспроизводство

лесных ресурсов, охрану и защиту лесов в едином цикле воспроизводства: лесовыращивания и лесопользования, лесоводства и лесозаготовок. Воспроизводство возобновляемых ресурсов подразумевает их использование (в том числе изъятие) в пределах, обеспечивающих восполнение ресурсов при сохранении устойчивости экологических систем, составными элементами которых они являются.

Россия владеет более 1/5 частью запасов древесины и 22,0 % покрытой лесом площади от мировых лесных ресурсов. Общая площадь земель лесного фонда на 01.01.2003 г. составила 1107,2 млн га, лесов, не входящих в лесной фонд, – 5,5 млн га., общий запас древесины – 82,1 млрд м<sup>3</sup>, из них спелых и перестойных 44,24 млрд м<sup>3</sup>, в составе которых 34,2 млрд м<sup>3</sup> (77,3 %) – хвойные насаждения. Лесистость составляет 45,4 % и характеризуется крайне неравномерным размещением лесов, особенно в части экономически доступных лесных ресурсов. В настоящее время только 29,8 % площади земель государственного лесного фонда (около 50 % покрытых лесной растительностью земель) возможно для эксплуатации. По целевому назначению 23,0 % лесного фонда занимают леса первой группы, 7,6 % – леса второй группы, 69,4 % – леса третьей группы. В управлении федерального органа исполнительной власти Российской Федерации находится 93,9 % общей площади лесного фонда.

Лесной фонд и расположенные на землях обороны леса находятся в федеральной собственности. В соответствии с Лесным кодексом РФ собственник несет бремя затрат на охрану, защиту, воспроизводство и организацию рационального использования лесного фонда и имеет право на получение доходов от его использования. Анализ исполнения прав и обязанностей государства в области использования и воспроизводства лесных ресурсов выполнен по официальным данным государственных докладов Министерства природных ресурсов РФ. Системный подход к исследованию экономических аспектов развития лесного хозяйства предполагает изучение системы в условиях внешней среды, анализ элементов системы и взаимосвязей между ними, что предопределяет исследование:

**Институциональная структуризация условий управления лесами по правам собственности и уровням государственного лесоуправления**

Наименование	Основы лесного законодательства РФ, 1993 г.	Лесной кодекс РФ, 1997 г.	Лесной кодекс РФ (в ред. Ф3 №122-ФЗ от 22.08.2004)
1. Собственность на лесной фонд	Лесной фонд находится в совместном ведении Российской Федерации, республик в составе РФ, автономных округов, краев, областей (ст. 2)	Федеральная собственность, допускается передача части лесного фонда в собственность субъектов Российской Федерации (ст. 19)	Лесной фонд и расположенные на землях обороны леса находятся в федеральной собственности (ст. 19)
2. Владение лесным фондом	Лесхозы, колхозы, совхозы и другие сельскохозяйственные формирования, заповедники, национальные природные парки, учебные, опытные лесные хозяйства (ст. 10)	Распределение полномочий между Российской Федерацией и субъектами Российской Федерации в области государственного управления лесами (ст. 46,47,48,49)	Полномочия РФ в области использования, охраны, защиты лесного фонда и воспроизводства лесов (ст.46; ст.47,48,49 исключены)
3. Распоряжение лесным фондом	Российская Федерация совместно с республиками в составе РФ, автономной областью, автономными округами, краями, областями, городами Москвой и Санкт-Петербургом (ст.3)	Распределение полномочий между Российской Федерацией и субъектами РФ в области государственного управления лесами (ст. 46,47,48,49)	Полномочия РФ в области использования, охраны, защиты лесного фонда и воспроизводства лесов (ст.46; ст.47,48,49 исключены)
4. Пользование лесным фондом	Участки лесного фонда предоставляются в пользование на основании переговоров, лесных торгов или конкурсов. Форма выбора лесопользователя определяется районными (городскими) Советами народных депутатов. Верховные Советы республик, Советы народных депутатов автономной области, автономных округов, краев, областей могут возложить по согласованию с районными (городскими) Советами функции по определению порядка предоставления разрешительных документов и проведение лесных торгов, конкурсов на иные органы государственной власти с участием государственных органов управления лесным хозяйством (ст.28).	Права пользования участками лесного фонда, за исключением публичного лесного сервитута, возникают с момента государственной регистрации договора аренды участка лесного фонда, договора безвозмездного пользования участком лесного фонда и договора концессии участка лесного фонда; подписания протокола о результатах лесного аукциона; получения лесорубочного билета, ордера или лесного билета (ст.23). К полномочиям субъектов РФ относится принятие решений о предоставлении участков лесного фонда в аренду, безвозмездное пользование и краткосрочное пользование (ст.47)	Права пользования участками лесного фонда, за исключением публичного лесного сервитута, возникают с момента государственной регистрации договора аренды участка лесного фонда, договора безвозмездного пользования участком лесного фонда и договора концессии участка лесного фонда; подписания протокола о результатах лесного аукциона; получения лесорубочного билета, ордера или лесного билета (ст.23). Ст. 47 исключена.

- динамики институциональной среды ведения лесного хозяйства;
- использования и воспроизводства лесных ресурсов;
- организации финансов в лесном хозяйстве.

**Институциональная среда лесоуправления**

Реформы в лесном хозяйстве в период переходной экономики проходили в условиях нестабильной институциональной среды и формируемых институтов.

Существенные изменения претерпели полномочия районных администраций в сфере регулирования лесных отношений. Основами лесного

законодательства РФ (1993) было предоставлено семь полномочий районным администрациям: учет лесного фонда; распределение утвержденного лимита лесосечного фонда по лесопользователям; организация выполнения мероприятий по охране лесов от пожаров и защите их от вредителей и болезней; осуществление контроля в сфере использования, воспроизводства, охраны и защиты лесов; принятие совместно с владельцами лесного фонда решения о предоставлении участков лесного фонда в краткосрочное пользование; организация и проведение с участием местных подразделений государственного органа управления лесным хозяйством РФ лесных торгов и конкурсов по предоставлению лесного фонда в пользование;



ограничение, приостановление или прекращение права на пользование (ст. 7). В этот период интенсивно формировалось лесное законодательство в субъектах Российской Федерации, например, были приняты Лесной кодекс Республики Татарстан, Лесной кодекс Республики Марий Эл и др.

Лесной кодекс РФ (1997) не предусматривает отдельных полномочий органам местного самоуправления (ст. 49). Однако на практике до настоящего времени администрации районов производят распределение лесосечного фонда по лесопользователям.

Содержание основных полномочий Российской Федерации и субъектов РФ практически не претерпело изменений, при этом получило конкретизацию по уровням управления в отличие от «совместного» принятия решений, установленного Основами лесного законодательства.

В соответствии с изменениями, внесенными в Лесной кодекс законом № 122-ФЗ, произошла централизация полномочий на федеральном уровне. Исключены статьи, регламентирующие полномочия субъектов РФ (ст. 47), разграничение полномочий между Российской Федерацией и субъектами РФ (ст. 48), наделение полномочиями органов местного самоуправления в области использования, охраны, защиты лесного фонда и воспроизводства лесов (ст. 49).

За период рыночной трансформации организационная структура лесопользования на верхних уровнях (федеральный и региональный) претерпела изменения пять раз; а на уровне лесхозов (территориальный уровень) – в 1994 г., при выделении из деятельности лесхозов рубок главного пользования. Цель проводимой административной реформы – формирование эффективной системы и структуры органов исполнительной власти, в том числе и в государственном лесопользовании (табл. 2).

Основным принципом реформы является невозможность объединения функций по приня-

тию нормативных правовых актов, по управлению государственным имуществом и осуществлению полномочий собственника в отношении федерального имущества и функций по контролю и надзору за исполнением законодательных актов в одном органе государственного управления.

Разграничение полномочий по государственному управлению лесами и производственной лесохозяйственной деятельности должно быть проведено и на низовом (районном) уровне – лесхозе [6]. Лесхозы, являясь государственными органами управления лесным хозяйством, выполняют контрольные функции, ведут лесохозяйственную и подсобно-промышленную деятельность. При недостаточном бюджетном финансировании охраны, защиты и воспроизводства лесов отмечена устойчивая тенденция к увеличению деятельности, приносящей доход. В итоге возникло противоречие между ключевыми признаками некоммерческой организации (лесхоз) и практикой функционирования.

Нестабильность и непоследовательность формируемых институтов формальных и неформальных норм и правил в системе государственного управления лесами для отрасли с длительным периодом производства явилось одной из причин системного кризиса, резкого падения эффективности лесопользования, проблемы нелегальных рубок. Государство, проводя структурные реформы, должно создать условия, позволяющие хозяйствующим субъектам осуществлять свою деятельность на принципах предпринимательства в институциональной рыночной среде и строить экономические отношения исходя из правовых норм природного (лесного, водного, земельного и т.д.), налогового, бюджетного, гражданского и других видов законодательства. Вместе с тем, эффективно управляя государственной собственностью, обеспечивать неналоговые поступления в бюджеты всех уровней.

Т а б л и ц а 2

**Структура органов государственного лесопользования и ведения лесного хозяйства**

Правомочия собственности	Функции управления	Органы государственного лесопользования и ведения лесного хозяйства
Распоряжение	Нормативно-правовые (программные) функции	Министерство природных ресурсов РФ
	Функции по контролю и надзору за исполнением правовых и нормативных актов	Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, территориальные органы
Владение	Функции по управлению государственным имуществом; правоприменительные функции; функции по оказанию государственных услуг	Федеральное агентство лесного хозяйства РФ, территориальные органы Федерального агентства лесного хозяйства
Пользование	Хозяйственные функции по ведению лесного хозяйства как вида экономической деятельности	Коммерческие организации (проект): государственные унитарные предприятия, общества и др.

**Объем заготовки древесины в лесном фонде МПР России**

Показатели	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003
1. Расчетная лесосека, млн м <sup>3</sup>	603,0	510,8	506,9	511,2	509,8	510,6	516,8
2. Фактически заготовлено рубками главного пользования, млн м <sup>3</sup>	283	124,5	111,0	118,0	115,0	110,6	116,8
% от расчетной лесосеки	46,9	24,4	21,9	23,1	22,6	21,7	22,6
3. Установлен отпуск древесины на арендованных участках, млн м <sup>3</sup>	×	71,5	102,6	119,8	123,5	119,8	114,3
4. Фактически заготовлено на арендованных участках, % от установленного отпуска	×	44,1	50,0	56,2	58,5	58,6	65,6
5. Объем древесины, проданной на лесных аукционах, млн м <sup>3</sup>	×	1,166	27,75	25,74	24,19	19,94	24,3
6. Объемы рубок промежуточного пользования, млн м <sup>3</sup>	27,5	19,2	19,5	18,7	18,2	19,6	19,4
% от фактического объема по рубкам главного пользования	9,7	15,4	17,6	15,8	15,8	17,7	16,6

Проблема экологической безопасности, в решении которой значительная роль принадлежит лесам – депонирование углерода, водоохраные, средозащитные функции – имеет планетарное значение. Мировое сообщество приходит к пониманию катастрофичности потребительского отношения к природным ресурсам. Только леса среди всех природных комплексов обладают способностью стабилизации и улучшения природных процессов при правильном ведении хозяйства в них. Поэтому леса все в большей степени становятся природным каркасом, обеспечивающим выживание человечества. Проблемы управления лесами являются объектом обсуждения и принятия решений на международном уровне.

На достижение баланса интересов участников лесных отношений должны быть направлены меры государственного лесопользования. Важно, чтобы у всех групп интересов был механизм участия в планировании и принятии решений по управлению лесами и четко определенные «правила игры», распределение полномочий и ресурсов, прав и обязанностей, обеспечение контролируемости.

**Использование и воспроизводство лесных ресурсов**

Воспроизводство лесных ресурсов является циклическим процессом и включает лесопользование и лесовыращивание на определенной территории лесного фонда. Основным видом пользования является заготовка древесины.

Объем заготовки древесины по рубкам главного пользования в лесном фонде, находящемся в управлении МПР России, снизился по сравнению с дореформенным уровнем 1990 г. в 3 раза (1997, 1998 гг.) и в 2,4 раза в 2003 г. и составил с 1 га покрытой лесом площади 0,16 м<sup>3</sup> при ежегодном среднем приросте 1,34 м<sup>3</sup> с 1 га.

Пользование древесиной в пределах расчетной лесосеки является одним из условий непрерывного неистощительного лесопользования. Потенциальные древесные ресурсы России осваиваются только на 20 %.

Анализ использования древесных лесных ресурсов свидетельствует о наличии значительных резервов в увеличении лесопользования, что потребует значительных инвестиций в строительство дорог.

Наиболее интенсивно осваивается лесной фонд, расположенный ближе к пунктам потребления и транспортным магистралям, фонд ценных хвойных насаждений. Авторы государственного доклада МПР России обозначают проблему незаконных лесозаготовок, которая перестала быть узковедомственной, и констатируют низкую эффективность лесопользования в целом по лесному фонду России. Большую тревогу вызывает проблема незаконных рубок и торговли древесиной. Данная проблема носит международный характер. По оценкам, от 20 до 35 % древесины, поставляемой из России на мировой рынок, является незаконно заготовленной.

Площади лесовосстановления сократились за анализируемый период в два раза, в том числе лесовосстановление интенсивными методами – в 2,8 раза. В 2003 г. лесовосстановительные мероприятия проведены на площади 758,9 тыс.га, в том числе посадка и посев леса – 205,6 тыс. га. Выполнение запланированных объемов работ составило соответственно 101,2 % и 102,2 %. На площади 120 тыс. га (16 %) лесовосстановительные мероприятия проведены лесопользователями по договорам с лесхозами. Положительным является достигнутый баланс между площадями, пройденными рубками, и площадью лесовосстановления.

Рубками промежуточного пользования дополнительно к главному пользованию заготовлено

19,4 млн м<sup>3</sup> или рубками промежуточного пользования дополнительно к главному пользованию заготовлено 19,4 млн м<sup>3</sup>, или 16,6 % от общего объема заготовленной древесины. Лесхозы выполняют порядка 83 % объемов рубок ухода и в малолесных районах являются основными конкурентами на рынке лесопродукции. В условиях недостаточного бюджетного финансирования лесного хозяйства рубки ухода формируют основной источник внебюджетных поступлений лесхозов.

Важнейшим элементом экономического потенциала государственного лесопромышленного управления и ведения лесного хозяйства являются кадры – человеческий капитал, их профессионализм, компетентность, мотивация к решению эколого-экономических задач. Среднегодовая численность работников лесного хозяйства за анализируемый период оставалась стабильной, при этом происходила сменяемость кадров. Отношение числа выбывших работников к среднесписочной численности за 2000–2002 гг. характеризуется коэффициентами: 0,36; 0,34 и 0,33. Отношение числа прибывших в лесное хозяйство к среднесписочной численности работников соответственно: 0,36; 0,35 и 0,34. Среднегодовая численность промышленно-производственного персонала сократилась более чем наполовину в лесной промышленности, что связано с падением объемов производства.

По состоянию на 01.01.2003 г. в системе Государственной лесной службы Министерства природных ресурсов РФ работало 220,1 тыс. человек, штатная численность должностных лиц государственной лесной охраны составляла 106,1 тыс. чел., что меньше нормативной численности, установленной лесостроительством, на 16,9 тыс. чел. Оплата труда работников лесхозов определяется ЕТС по оплате труда работников бюджетной сферы. Средний размер оплаты труда работников нижнего звена государственной лесной охраны – мастеров леса и лесников – находится на границе прожиточного минимума и не соответствует сложности, опасности и ответственности возложенных на них

обязанностей. Низкий уровень социальной защищенности работников отрицательно влияет на эффективность лесного хозяйства.

### Организация финансов в лесном хозяйстве

В период переходной экономики происходили кардинальные изменения в механизме взимания и распределения платежей за лесные ресурсы. С 01.01.1993 по 01.04.1995 гг. с лесозаготовителями взимались отчисления на воспроизводство, охрану и защиту лесов в размере 20 % от стоимости древесины собственной заготовки. Право устанавливать ставки лесных податей за древесину, отпускаемую на корню, в 1993 г. было закреплено за районными администрациями или субъектами РФ. Платежи поступали в районные бюджеты или бюджеты субъектов РФ. С 1997 г. введены минимальные ставки лесных податей, утверждаемые Правительством РФ. Конкретные ставки вводятся по решению законодательных органов субъектов РФ или по результатам аукционов.

Наибольшее превышение средней аукционной цены над средними минимальными ставками наблюдалось в 2000–2001 гг. (в 4–4,3 раза), когда лесхозы были мотивированы к проведению аукционов, т.к. сумма превышения поступала на расчетный счет лесхоза. С 2002 г. этот источник финансирования у лесхозов отсутствует. Порядок распределения платежей за древесину, отпускаемую на корню, устанавливается законом о бюджете. Он претерпевал изменения практически ежегодно, что не мотивировало органы управления лесным хозяйством к увеличению лесного дохода. В соответствии с налоговым законодательством платежи за древесину, отпускаемую на корню, с 2004 г. не являются налогом, а формируют неналоговые бюджетные поступления, что создает правовые условия для переговорного процесса между собственником лесного фонда или органом, представляющим его интересы, и лесопользователями при формировании ценовой политики за пользование лесными ресурсами.

Т а б л и ц а 4

### Динамика ставок лесных податей за древесину, отпускаемую на корню

Показатели	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Средняя величина ставок лесных податей и арендной платы на 1 м <sup>3</sup> , р.	7,9	10,1	10,1	21,0	29,9	38,8	37,9	н/д
в т.ч. средние минимальные ставки, р.	×	×	7,2	10,1	14,7	17,9	24,0	н/д
Средняя цена на аукционах, р.	26,3	24,6	19,9	38,9	59,47	77,7	64,4	62,2
Цена по минимальным ставкам, р.	×	×	9,2	12,3	15,7	22,7	27,2	25,1

**Динамика платежей за пользование лесным фондом и расходов на ведение лесного хозяйства**

Показатели	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>1. Федеральный бюджет Российской Федерации</b>							
1.1. Платежи за пользование лесным фондом	–	–	382,0	447,1	780,3	973,2	1950,0
1.2. Финансирование расходов на ведение лесного хозяйства	1362,9	1487,3	1443,8	1875,7	2391,7	2691,1	5324,2
1.3. Превышение платежей за пользование лесным фондом над финансированием расходов на ведение лесного хозяйства	– 1362,9	– 1487,3	– 1061,8	– 1428,6	– 1611,4	– 1717,9	– 3374,2
<b>2. Бюджеты субъектов Российской Федерации</b>							
2.1. Платежи за пользование лесным фондом	647,7	913,0	572,3	1305,0	1397,0	1521,8	3102,0
2.2. Финансирование расходов на ведение лесного хозяйства	298,4	296,1	398,7	603,8	712,6	1068,4	1320,0
2.3. Превышение платежей за пользование лесным фондом над финансированием расходов на ведение лесного хозяйства	349,3	616,9	173,6	701,2	684,4	453,4	1782,0
<b>3. Лесхозы</b>							
3.1. Платежи за пользование лесным фондом	226,1	262,6	294,1	1051,5	1910,0	1893,2	0
3.2. Финансирование расходов на ведение лесного хозяйства (внебюджетные средства)	1174,5	1520,7	1905,4	3826,4	5646,5	6818,7	8796,7
3.3. Платежи за пользование лесным фондом на 1 р. внебюджетных средств, р.	0,19	0,17	0,15	0,27	0,34	0,28	0

1996–1997 гг. млн р., 1998–2003 гг. тыс. р.

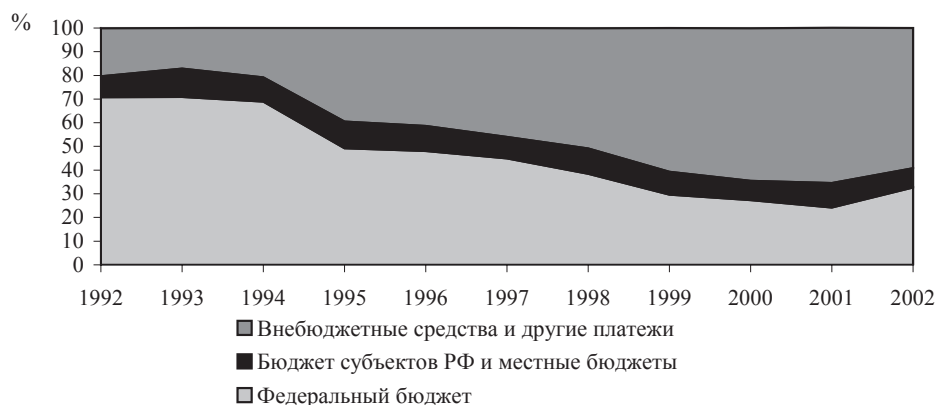


Рисунок. Динамика структуры источников финансирования затрат на лесное хозяйство, %

Государственное финансирование расходов на ведение лесного хозяйства в период с 1996 по 2002 гг. превышало поступление платежей за пользование лесными ресурсами (табл. 5).

Сальдо поступлений платежей за пользование лесными ресурсами и финансирования лесного хозяйства из федерального бюджета на протяжении изучаемого периода было отрицательным, а по субъектам РФ положительным. Происходило перераспределение финансовых ресурсов между бюджетами не в пользу собственника лесного фонда.

Экономические отношения в области защиты, охраны и воспроизводства лесов в условиях централизованно планируемой экономики были построены на сметно-бюджетном финансировании и остаются практически неизменными с 30-х гг. прошлого столетия. При отсутствии в практике планирования и управления лесохозяйственным производством экономических категорий

(объем произведенной и реализуемой продукции, себестоимости, рентабельности, амортизации и др.) дискуссионными остаются в теории и на практике рыночные механизмы развития лесного хозяйства.

Несмотря на то, что лесной фонд является федеральной собственностью, удельный вес государственного финансирования за годы рыночных реформ резко сократился: с 70,8 % (1992) до 32,7 % (2002), наименьшая доля наблюдалась в 2001 г. – 24,2 % от общего финансирования (рисунок). Особую тревогу вызывает резкое снижение финансирования капитальных вложений в основные фонды лесного хозяйства. В 1998–2002 гг. объемы капитальных вложений составляли 3,0 % – 5,7 % от уровня финансирования 1993 г.

В структуре финансирования текущих расходов в 2003 г. доля внебюджетных источников составила 80,7 %, федерального бюджета – 8,6 %, бюджетов субъектов РФ – 10,7 %. Фактическое



финансирование лесовосстановительных работ составляет только половину нормативной потребности. На практике это приводит к увеличению доли затрат на лесохозяйственные работы (рубки промежуточного пользования) в общей сумме текущих затрат, замене интенсивных способов выполнения работ менее интенсивными, нарушениям требований технологии и, в конечном итоге, отрицательно сказывается на качестве: снижается уровень приживаемости лесных культур, посадка заменяется мерами содействия естественному возобновлению и др.

Лесхозы являются бюджетными учреждениями, поэтому не начисляют амортизации и не формируют собственного источника для воспроизводства бюджетных основных фондов. Незначительные государственные инвестиции и непривлекательность лесного хозяйства для частных инвестиций не обеспечит решение задач модернизации отрасли.

Реформирование экономической организации лесного хозяйства по пути рыночных преобразований является многоаспектной проблемой и немыслима без реструктуризации системы управления лесами как собственностью и ведения лесного хозяйства на принципе разделения государственных функций лесоправления и хозяйственных функций. Основными экономическими принципами структурных и экономических реформ в системе государственного управления лесами и ведения лесного хозяйства должны явиться:

- равновесие экологических, экономических и социальных целей;
- разделение функций государства как собственника и субъекта производственно-хозяйственной деятельности;
- экономическая ответственность субъектов лесных отношений в соответствии с предоставленными им полномочиями и правами;
- соответствие полномочий по уровням субъектов собственности финансовым возможностям их реализации;
- экономическая заинтересованность всех субъектов лесных отношений в реализации стратегии устойчивого управления лесами;
- платность лесопользования, а именно, право собственника лесного фонда получать платежи за пользование лесными ресурсами в соответствии с их экономической оценкой, базирующейся на рентном подходе;
- эффективность, доходность (экономичность), т.е. превышение доходов от использова-

ния лесных ресурсов над затратами на лесовосстановление, охрану и защиту.

Проведенный анализ свидетельствует о нестабильности институциональной среды и формируемых институтов, финансовых отношений в лесном хозяйстве, что отрицательно влияет на эффективность лесоправления и ведения лесного хозяйства. Экономическая политика России по формированию рыночно ориентированной социально-экономической системы предопределяет интеграцию лесного хозяйства в рыночную экономику на базе государственной собственности на лесной фонд. Институциональные и структурные реформы управления лесным хозяйством в период переходной экономики последовательно создавали экономические и правовые условия функционирования рыночной экономики в сфере лесопользования, но не затронули экономических отношений в лесном хозяйстве. Следующий этап преобразований необходимо рассматривать в плане административной, бюджетной реформы, реформы управления государственной собственностью.

#### Библиографический список

1. Вопросы реформы лесной политики в России [Электронный ресурс] // [http://www.worldbank.org.ru/ECA/Russia.nsf/ECADocByUnid/824A9C617C5F429BC3256E27002A53D6/\\$FILE/forest\\_policy\\_discussion\\_note\\_rus.pdf](http://www.worldbank.org.ru/ECA/Russia.nsf/ECADocByUnid/824A9C617C5F429BC3256E27002A53D6/$FILE/forest_policy_discussion_note_rus.pdf).
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании лесных ресурсов Российской Федерации в 2001 г.» / Гл. ред. В.П. Рошупкин. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 108 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании лесных ресурсов Российской Федерации в 2002 г.» / Гл. ред. В.П. Рошупкин. – М.: ВНИИЛМ, 2003. – 108 с.
4. Государственное управление лесным хозяйством: учеб. пособие / А.П. Петров, Б.М. Мамаев, В.К. Тепляков, Е.А. Щетинский. – М., 1997. – 304 с.
5. Доклад о ходе реализации ФЦП «Экология и природные ресурсы России (2002–2010)» в 2003 году и эффективности использования средств за 2003 год [Электронный ресурс] // <http://www.mnr.gov.ru>.
6. Концепция развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2002–2010 гг. // Лесохозяйственная информация: МПР РФ, ВНИИЛМ. – 2003. – № 2. – С. 2–10.
7. Национальная лесная политика России: труды междунар. научно-практ. конф., 11–12 октября 2001. – М.: МГУЛ, 2002. – 217 с.
8. Петров А.П. Институциональные реформы в лесном хозяйстве: учеб. пособие. / А.П. Петров, Н.В. Ловцова, Н.М. Ельчев и др. – М.: МГУЛ, 2001. – 153 с.
9. Писаренко, А.И. О лесной политике России / А.Н. Писаренко, В.В. Страхов. – М.: Юриспруденция, 2001. – 160 с.
10. Чернякевич, Л.М. Структурные реформы в лесном хозяйстве России / Л.М. Чернякевич. // Пятые Вавиловские чтения. Мировое сообщество и Россия на путях модернизации. Экономика и управление в современном обществе. Материалы пост. действ. всерос. междун. конфер. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – С. 265–273.

## МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРАКТИКА КВОТИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Ю.В. КУЗМИНЫХ, доц. каф. экономики и управления лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов СПбГЛТА им. С.М. Кирова, канд. экон. наук

В феврале 2005 г. вступил в силу Киотский протокол к Рамочной конвенции об изменении климата (РКИК), который закрепил количественные обязательства развитых стран и стран с переходной экономикой по ограничению и сокращению выбросов парниковых газов. В целом, в течение первого зачетного периода (2008–2012) выбросы парниковых газов должны быть сокращены как минимум на 5,2 % по сравнению с базовым годом, в качестве которого выбран 1990 г.

Однако Киотский протокол – это международное соглашение между суверенными государствами, и вопросы участия отдельных хозяйствующих субъектов в выполнении национальных обязательств не рассматриваются. Но именно между отдельными предприятиями будут разделены национальные обязательства, и именно они будут нести бремя затрат по сокращению выбросов парниковых газов.

Положения Киотского протокола предусматривают, что страны-участницы Конвенции, а следовательно, и хозяйствующие субъекты могут выполнить свои обязательства не только за счет реализации прямых технологических мероприятий по сокращению выбросов и увеличению поглощения парниковых газов, но и путем использования рыночного механизма посредством приобретения прав на выбросы. Торговля правами на выбросы обеспечивает наиболее эффективный и менее дорогостоящий вариант достижения установленного уровня выбросов. Киотский протокол дает начало формированию углеродного рынка и появлению нового товара в виде прав на выбросы парниковых газов и прав на их поглощение.

Одним из основных элементов организации торговли правами на выбросы является **механизм квотирования**, т.е. распределения разрешений на выбросы между участниками экологических программ, предусматривающих использование рыночного подхода к управлению качеством окружающей среды.

Россия ратифицировала Киотский протокол осенью 2004 г. и является Стороной протокола, но в стране квотирование выбросов парниковых газов не только не осуществляется, но даже

нет решения о его проведении на государственном уровне. Основной причиной этого является «мягкий» характер обязательств России по протоколу. Страна должна обеспечить не сокращение выбросов углекислого и других парниковых газов, а стабилизацию их объемов на уровне базового года. В настоящее время вследствие экономического спада эмиссия парниковых газов на 25 % ниже, чем в 1990 г. Прогнозные оценки динамики выбросов углекислого газа, приведенные в Третьем национальном сообщении РФ по РКИК, показывают, что выбросы в течение 2008–2012 гг. не превысят уровня 1990 г. Таким образом, Россия выполнит свои обязательства для первого периода Киотского протокола.

Несмотря на то, что нет угрозы невыполнения Россией своих обязательств на период 2008–2012 гг., систему управления выбросами парниковых газов, включающую в себя квотирование, целесообразно создавать уже в настоящее время по следующим причинам.

Во-первых, на сегодняшний день не определены обязательства на период после 2012 г., который называют «вторым зачетным периодом», или «посткиотским» периодом. Можно считать, что на 11-й конференции сторон РКИК, прошедшей в Монреале (Канада) с 28 ноября по 9 декабря 2005 г., было положено начало переговоров о сроках этого периода и величине обязательств. На конференции было принято решение о продолжении действия Киотского протокола после 2012 г., а также была достигнута предварительная договоренность о пересмотре обязательств протокола для второго бюджетного периода. Это означает, что, скорее всего, произойдет «ужесточение» обязательства ряда стран, в т.ч. России, а развивающиеся страны будут вынуждены принять на себя количественные обязательства. Изменение (ужесточение) «углеродных» обязательств России в будущем потребует управления выбросами парниковых газов.

Во-вторых, отсутствие квотирования как неотъемлемого элемента системы торговли правами на выбросы наложит ограничения на участие российских хозяйствующих субъектов, в т.ч.

и представителей лесного сектора, в механизмах гибкости Киотского протокола. Для российских компаний экономически целесообразно участие в проектах, реализуемых в рамках механизма совместного осуществления, и в торговле разрешениями на выброс (квотами).

В случае, если национальная квота или ее значительная часть не будет распределена между российскими компаниями и они не получают разрешений на выбросы парниковых газов, компании не смогут участвовать в торговле квотами на международном углеродном рынке.

Таким образом, проблема квотирования выбросов парниковых газов становится актуальной и для России. В данной ситуации представляет интерес опыт тех стран, где механизм квотирования и торговли правами на выбросы уже апробированы и дали положительный результат.

В настоящее время наибольший опыт применения рыночного подхода в сфере охраны окружающей среды накоплен в США, где использование рыночных механизмов в целях регулирования объема загрязнений началось в 70-е годы прошлого века [6–11].

Первая пробная программа по торговле загрязнениями – Bubble Policy – была основана Агентством по охране окружающей среды США (Environmental Protection Agency) в 1979 г. Сущность программы заключалась в следующем: программа рассматривала две или более существующих фирмы как единый источник загрязнения – так называемый «пузырь» (bubble), для которого устанавливался общий лимит (квота) выбросов. Общий лимит выбросов распределялся внутри «пузыря», и предприятия-загрязнители для выполнения своих обязательств могли либо создавать очистные сооружения, либо покупать право на загрязнение у других предприятий. Решающим фактором при выборе альтернативного решения была величина затрат на его реализацию.

Недостатком данной программы можно назвать многовариантный подход к определению лимитов (размеров квот). Лимиты выбросов устанавливались Агентством по охране окружающей среды США и их региональными органами на различной основе. В качестве основы использовались следующие базы расчета:

- минимальный уровень фактических выбросов;
- план реализации мероприятий по охране окружающей среды;

– уровень, соответствующий применению умеренных технологий очистки выбросов.

Такой многовариантный подход отрицательно отразился на торговле правами на выбросы, и в настоящее время программа не действует. Реализацию рассматриваемой программы нельзя однозначно назвать успешной или неудачной. Это вопрос спорный. Основным положительным результатом данной программы, а также других пилотных программ (Программа компенсаций (Offsets), Сетевая программа (Netting), Программа накопления кредитов на сокращенные выбросы (Banking)) является накопление опыта при использовании рыночного подхода в сфере охраны окружающей среды. В ходе реализации этих программ были отработаны различные подходы к рыночному регулированию управления качеством окружающей среды, что позволило определить необходимые элементы для эффективного использования торговли загрязнениями в природоохранных целях, в т.ч. и наиболее действенный механизм квотирования выбросов.

Накопленный опыт стал основой для успешной реализации в настоящее время в США ряда программ по торговле правами на загрязнение. Наиболее продвинутой из них является Программа торговли правами на выбросы сульфатного диоксида (SO<sub>2</sub>), так называемая «программа кислотных дождей» (Emission Trading Program). Программа предусмотрена четвертым разделом Закона о чистом воздухе с поправками (Clear Air Act Amendments), принятого в 1990 г.

Действие программы распространяется на электростанции во всех американских штатах. Предусмотрено двухэтапное внедрение программы: с 1995 г. в ней принимают участие 110 крупных электростанций, с 2000 г. – все электростанции мощностью более 75 МВт. Целью программы является постепенное сокращение выбросов на 50 % по сравнению с 1980 базовым годом. Для достижения требуемого уровня выбросов предприятия могут снизить свои выбросы или купить разрешение у предприятий, где уровень выбросов ниже полученных разрешений.

В качестве нормативной основы системы торговли правами на выбросы диоксида серы выступает административное формирование возможного уровня загрязнениями, который не может быть превышен как по регионам, так и внутри них по действующим источникам загрязнений. Квота (величина разрешений) определяется исходя из

общенациональных требований и базируется не на прошлых загрязнениях, а на величине потребляемого электростанциями горючего. Учитывая, что эти базовые разрешения на выброс выдаются, а не продаются с аукциона, такой подход распределения лимитов выбросов более справедливый и беспристрастный, чем основанный на расчетах прошлых загрязнений. В этом случае для предприятий, достигших низкого уровня выбросов, это преимущество сохраняется.

Все источники загрязнений, попадающие под действие программы, должны внедрить и использовать у себя систему контроля выбросов. В конце каждого года участники программы должны отчитаться перед администрацией о выполнении своих обязательств. В случае, если фактические загрязнения оказываются ниже полученного разрешения, фирма может положить полученный излишек в специальный банк для зачета своих обязательств в будущем или продать. Если фирма превысила уровень загрязнения согласно полученным разрешениям, она должна оплатить разницу.

Успешность программы торговли правами на выбросы диоксида серы подтверждается динамикой выбросов [12]. Из рисунка видно, что фактические выбросы меньше, чем величина выданных разрешений, а следовательно, ниже, чем предел выбросов, установленный администрацией. Эти данные говорят об эффективности используемого механизма квотирования выбросов и рыночного подхода в сфере охраны окружающей среды.

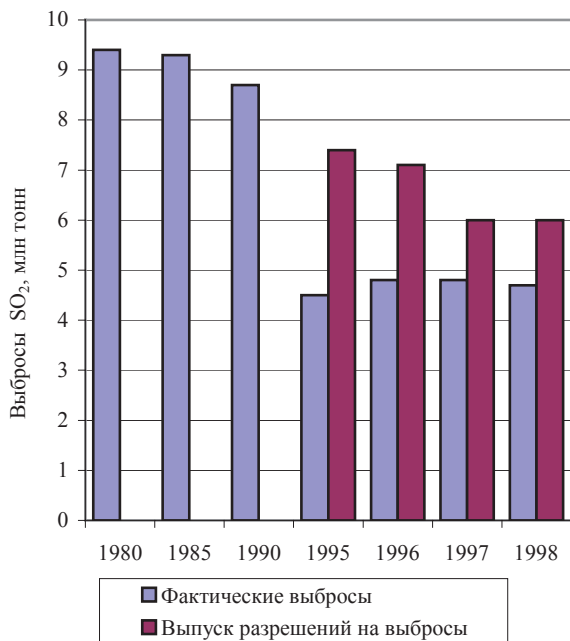


Рисунок. Динамика фактических выбросов сульфатного диоксида по отношению к уровню разрешенных выбросов.

В США успешно действуют и другие программы торговли правами на выбросы. Особый интерес представляет Чикагская климатическая программа (Chicago Climate Exchange), направленная на сокращение выбросов в атмосферу парниковых газов. Несмотря на то, что США отказались от ратификации Киотского протокола, по крайней мере, на первый зачетный период выполнения, добровольные программы по снижению концентрации углерода в атмосфере в стране осуществляются, и их реализация идет с использованием экономических механизмов Киотского протокола.

При разработке Чикагской климатической программы был использован положительный опыт организации рынка разрешений на выбросы сульфатного диоксида. Программа действует с 2003 г. и рассчитана на четыре года, в течение которых участники могут осуществлять сделки по купле-продаже разрешений на выбросы углекислого и других парниковых газов и, следовательно, добиться улучшения качества воздуха наиболее экономичным путем. Программу основали 14 фирм-загрязнителей штата Чикаго, выбрасывающих ежегодно около 270 млн т парниковых газов [13, 14]. Всего в проекте участвуют более 50 корпораций. Государственной поддержки программа не имеет.

Участники программы взяли на себя добровольные обязательства снизить выбросы парниковых газов в период с 2003 г. по 2006 г. на 4 % по отношению к базовому уровню выбросов. В качестве последнего принят среднегодовой объем выбросов за 1998–2001 гг. Участникам программы выдаются разрешения на выбросы (квоты) в соответствии с их обязательствами. Таким образом, для определения уровня квот используется средний объем выбросов за прошлый период с корректировкой на коэффициент, учитывающий темпы сокращения выбросов.

Чикагская климатическая программа – это одна из многочисленных международных инициативных программ, использующих рыночный подход к регулированию концентрации парниковых газов в атмосфере. Механизм квотирования и торговля правами на выбросы парниковых газов как инструменты экологической политики используется на всех уровнях: межгосударственном, национальном, региональном, корпоративном. В программах принимают участие национальные правительства и отдельные компании. Реализация пилотных программ позволит накопить опыт и



отработать механизм функционирования углеродного рынка к началу вступления в действие обязательств стран-участниц Киотского протокола.

Наибольший интерес в этом направлении представляет схема торговли правами (разрешениями) на выброс парниковых газов в Европейском Союзе (ЕС) [1–5]. Ввод указанной схемы состоялся 1 января 2005 г.

Уже в январе 2005 г. на бирже ЕС по торговле свободными разрешениями на выброс, которая официально называется Трейдинговой структурой по эмиссии углекислого газа, состоялась первая сделка. Первый контракт был заключен между нефтяной компанией Shell и горнодобывающей ВНР Billition. Предметом сделки стали права на выброс 5 тыс. тонн углекислого газа. Цена за тонну составила 8,4 евро.

Первоначально схема охватывает выбросы углекислого газа и распространяется на пять отраслей – теплоэлектроэнергетику, нефтепереработку, черную металлургию, производство строительных материалов и целлюлозно-бумажную промышленность. С 2008 г. метан и другие парниковые газы тоже будут включены в схему. Указанная схема затрагивает только компании.

Разрешения на выброс распределяются государственными структурами (например, в Германии – Министерством экологии) между компаниями – операторами основных установок-эмиттеров. Квотирование выбросов между компаниями осуществляется на основе внутренних обязательств стран ЕС и специфики отдельных отраслей. Каждое разрешение представляет собой право его держателя на законное осуществление выброса одной тонны углекислого газа.

В начале отчетного (календарного) года государственные органы каждой страны-участницы ЕС выдают компаниям разрешения на выбросы углекислого газа. В течение года компании должны осуществлять мониторинг выбросов и предоставлять информацию о выбросах. В конце периода компании обязаны вернуть по одному разрешению за каждую тонну фактической эмиссии. Однако полученных разрешений на выбросы может не хватить для выполнения обязательств. В этом случае у компании имеются следующие возможности:

- либо осуществить инвестиции с целью сокращения выбросов;
- либо приобрести разрешения у любой другой компании, расположенной в любой стране ЕС.

Таким образом, компания сможет выполнить свои обязательства наименее затратным путем. При этом фактические выбросы от всех источников эмиссии будут снижаться до общего количества выданных разрешений.

Отличительной особенностью схемы торговли разрешениями на выбросы в ЕС является государственная поддержка указанной программы Правительствами стран ЕС, которые выражают приверженность положениям Киотского протокола.

Помимо участия в единой схеме торговли разрешениями на выбросы в ЕС, Правительства европейских государств реализуют внутренние пилотные программы по созданию национальных углеродных рынков (Дания, Великобритания).

Для разработки действенной схемы управления выбросами парниковых газов представляет интерес не только практика квотирования выбросов на уровне стран и регионов, но и опыт отдельных компаний, достигших положительных результатов при реализации рыночных программ регулирования выбросов парниковых газов.

Ниже приводится схема торговли квотами на выбросы парниковых газов внутри корпорации «Бритиш Петролиум Амоко» (British Petroleum Amoco) [4]. Главная объявленная цель создания системы торговли квотами – снижение корпоративных издержек на сокращение выбросов парниковых газов. Располагая предприятиями в более чем 100 странах с различным уровнем зарплаты, социальных издержек и с различным уровнем технического оснащения, крупная корпорация, такая, как «БП Амоко», обладает большими возможностями маневра для оптимизации затрат.

Компания первоначально поставила перед собой задачу снизить эмиссию парниковых газов (углекислого газа и метана) на 10 % к 2010 г. по сравнению с базовым годом (1998 г.). Квотирование осуществлялось следующим образом: участникам программы (бизнес-центрам) выдавались квоты, равные объему выбросов в 1998 г. с учетом поправочного коэффициента в зависимости от заданий по сокращению выбросов.

Система торговли квотами оказалась настолько эффективной, что первоначально поставленная цель (сокращение выбросов на 10 %) была достигнута досрочно, не в 2010 г., как намечалось первоначально, а уже в 2001 г.

Основными положениями системы торговли квотами внутри корпорации «Бритиш Петролиум Амоко» являются:

- прямое распределение обязательств между бизнес-центрами;
- торговля в режиме «он-лайн» при участии брокера;
- совмещение отчетности по торговле квотами с отчетностью по сокращению эмиссии;
- верификация с использованием внешнего аудита.

Цена квоты на выбросы парниковых газов в 2000 г. составила в среднем 7,6 долл. США за 1 тонну CO<sub>2</sub>-эквивалента, в 2001 г. эта цена поднялась до 39,6 долл. США.

Аналогичная система торговли выбросами парниковых газов осуществляется в компании Шелл (Shell).

Анализ опыта приведенных выше и других схем управления выбросами загрязняющих веществ и парниковых газов на основе рыночных механизмов показывает, что проведение квотирования требует наличия соответствующих нормативно-правовых актов и тщательно проработанной методики. Необходимыми условиями успешного осуществления квотирования выбросов на практике, как показывает международная практика, являются:

- квотирование должно иметь общенациональный характер или охватывать значительные территории;
- должна быть единая система распределения разрешений на выбросы для всех регионов, участвующих в программе;
- государственные органы управления в сфере охраны окружающей среды должны иметь возможность осуществления контроля величины выбросов;
- государственный орган управления в сфере охраны окружающей среды должен иметь разработанную законодательную и методическую базу для проведения квотирования выбросов парниковых газов;
- квотирование должно носить обязательный характер для хозяйствующих субъектов;
- система распределения квот (разрешений на выбросы) должна определяться исходя из общенациональных обязательств и требований к применяемым технологиям;
- на первом этапе квотирование следует распространять только на крупные компании – источники выбросов с дальнейшим поэтапным вовлечением в систему квотирования средних и даже мелких компаний;

- система распределения квот должна быть простой и понятной участникам программы.

Приведенные выше компоненты для успешной реализации квотирования выбросов парниковых газов являются общими для всех отраслей экономики. Но, как свидетельствует международный опыт, при распределении прав на выбросы необходимо учитывать отраслевую специфику. Особенностью квотирования выбросов парниковых газов в лесном секторе является размещение по регионам и хозяйствующим субъектам не только разрешений на выбросы, но и прав на поглощение углерода в форме лесных квот.

Для первого зачетного периода Киотского протокола Россия при выполнении своих национальных обязательств и для участия в торговле правами на выбросы на международном углеродном рынке может использовать не только единицы установленного количества (квоты), но и единицы абсорбции.

Единицы абсорбции могут быть получены в результате мероприятий:

- по лесовозобновлению и облесению (ст. 3.3 Киотского протокола);
- дополнительных видов деятельности (ст. 3.4 Киотского протокола).

Дополнительные виды деятельности, обеспечивающие накопление углерода для зачета в счет выполнения обязательств Киотского протокола, определены решениями Седьмой Конференции РКИК (Марракеш, 1991 г.). К ним отнесено *управление лесным хозяйством*, которое трактуется как система деятельности по рациональному управлению и пользованию лесами в целях выполнения ими экологических, экономических и социальных функций устойчивым образом.

Величина стока углерода по проектам управления лесным хозяйством, получившая название *лесные квоты*, ограничена. Россия имеет максимальную величину лесных квот – 33 млн т углерода в год на период 2008–2012 г.г., что составляет примерно половину от их общего объема.

У представителей лесного сектора России, занятых в сфере лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов, есть реальная возможность выхода на международный углеродный рынок посредством торговли лесными квотами. Отсутствие лесного квотирования выступит ограничивающим фактором участия российских хозяйствующих субъектов в торговле правами на поглощение углерода лесными экосистемами.

Изучение и использование международного опыта квотирования выбросов парниковых газов при разработке национальных мероприятий по реализации положений Киотского протокола будет способствовать активному участию российских компаний в торговле правами на загрязнение. Это связано с тем, что для успешного выхода российских компаний на международный углеродный рынок необходимо, чтобы национальная система квотирования была положительно воспринята другими участниками рынка.

#### Библиографический список

1. Схема торговли выбросами парниковых газов // ЭКО-информ. [http:// www.ecofinance.ru/ ru/co2inforv/ region-form/europe/trading\\_scheme](http://www.ecofinance.ru/ru/co2inforv/region-form/europe/trading_scheme)
2. ЕС – система торговли выбросами парниковыми газами. [http:// www.aluminium-union.ru](http://www.aluminium-union.ru)
3. Бердин, В.Х. Разработка основ государственного регулирования выбросов парниковых газов на предприятиях Российской Федерации / В.Х. Бердин, М.Е. Ленева. – М.: Российский региональный экологический центр, 2003. – 64 с.
4. Последствия ратификации Киотского протокола для России. Аналитические материалы. <http://www.natcarbon.ru/ru/analytical/cons>.
5. Соловей, В.Ю. Киото на пороге России: основы системы правового регулирования выбросов парниковых газов в Российской Федерации / В.Ю. Соловей; под общ. ред. А.В. Ханькова. – М.: Юрист, 2003. – 320 с.: ил.
6. Robert L. Kerr, Steven J. Anderson, John Jaksch. Crosscutting Analysis of Trading Programs. Washington: National Academy of Public Administration. 2000. – 102 p.
7. Seth L. Shortlidge. Emission Credit Trading: A Question and Answer Guide. 2003.
8. Timothy N. Cason. An Experimental Investigation of the Seller Incentives in EPA's Emission Trading Auction // American Economic Review, 1995. № 85 (4), P. 905-922.
9. Timothy N. Cason, Charles R. Plott. EPA's New Emission Trading Mechanism: A Laboratory Evaluation // Journal of Environmental Economics and Management. 1996. 30 (2), – P. 133-160.
10. Solomon B. SO2 Allowance trading: what roles apply? Public Utilities Fortnightly. 15.09.1994. – P. 22-25.
11. Allowance trading offsets opportunity to reduce emissions at less cost. USU: Washington, General Accounting Office. 1995. – 30 p.
12. Renato Strauss. Emission Trading: Fact or Fiction? [http:// www.nyu.edu/classes/keefer/nature](http://www.nyu.edu/classes/keefer/nature)
13. Deardorff J. Technology review. Chicago Tribune, 17.01.2003
14. Carbon sequestration on Idaho agriculture and forest land – 2003. [http:// www.scc.state.id.us/PDF/Carbon % 20 Sequestration](http://www.scc.state.id.us/PDF/Carbon%20Sequestration).

## РОЛЬ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ В СОЗДАНИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

И.В. САНАЕВ, *асп. каф. садово-паркового строительства МГУЛ*

Для всех развитых стран мира экологическая ситуация, складывающаяся в городах, а особенно в столицах, является предметом особого внимания официальных властей всех уровней, политических партий и общественных движений, средств массовой информации и широких слоев населения. Экологическая ситуация столицы – «зеркало», в котором отражается уровень социально-экономического положения страны, поэтому не случайно информация об экологической ситуации в развитых странах общедоступна и занимает одно из ведущих мест в политической и общественной жизни общества.

Рассмотрим городскую экологическую ситуацию на примере города Москвы.

Для Москвы, где процессы коренной ломки экономических отношений происходят на фоне острейшей политической, социальной, экономической и психологической борьбы, проблемы тяжелой, а местами и катастрофической экологической ситуации могли бы стать той объединяющей платформой, которая позволила бы найти общность взглядов и позиций многим партиям,

движениям и общественным объединениям. В этой связи потребность в открытой, достоверной официальной информации о состоянии окружающей природной среды г. Москвы особенно остра.

Систематическое обобщение информации о состоянии окружающей природной среды, экологических проблемах в Москве необходимо как для обоснования природоохранных программ и принятия управленческих решений, так и для широкого ознакомления с этой проблемой жителей города, представителей экологических организаций и общественных движений.

Одна из важнейших экологических проблем в городе – проблема зеленых массивов (городских парков, лесов, садов, лугов). Растительность как средовосстанавливающая система обеспечивает комфортность условий проживания людей в городе, регулирует (в определенных пределах) газовый состав воздуха и степень его загрязненности, климатические характеристики городских территорий, снижает влияние шумового фактора и является источником эстетического восприятия.

На территории Москвы имеется не менее 36 лесных массивов площадью от 5 до 3000 га, однако только 31 из них общей площадью 10,4 тыс. га официально учитывается как лесной фонд. Самыми крупными лесными массивами Москвы являются Лосиный остров – 3000 га в черте города, Битцевский лес, включая Узкое, – 1800 га, Измайловский лес – 1437 га. 12 массивов имеют площадь от 150 до 600 га, остальные – менее 100 га. В старой части города, ограниченной Окружной железной дорогой, сохранились только три относительно крупных лесных массива: Сокольники вместе с юго-западной оконечностью Лосино острова (902 га), Останкинская дубрава ГБС РАН (361 га), Лесная опытная дача ТСХА (248,7 га). Состояние лесов Москвы в целом можно охарактеризовать как ослабленное, что прежде всего определяется их местоположением в черте города и, соответственно, уровнем техногенных нагрузок. О сильном загрязнении воздушного бассейна города окислами азота, которые наряду с двуокисью серы являются наиболее опасными для растений, свидетельствует ставшее почти повсеместным «позеленение» стволов и нижних ветвей деревьев, вызванное чрезмерным разрастанием на их коре мелких сухопутных водорослей, получающих обильное азотное питание через воздух. В лесах и лесопарках Москвы это явление стало особенно заметным в последние годы; вместе с тем здесь давно исчезли чувствительные к кислотным загрязнениям кустистые лишайники, а более устойчивые листовенные сохранились далеко не везде. По мере накопления загрязняющих веществ в почвах и тканях растений, лесные насаждения теряют свою биологическую устойчивость и при сохранении существующего в городе уровня промышленных и автотранспортных выбросов могут уже в короткие сроки деградировать как лесные экосистемы.

Следующим по значимости фактором, приводящим к деградации растительности, является возрастающая рекреационная нагрузка. К настоящему времени площадь деградирующих под воздействием рекреации насаждений во многих лесных и лесопарковых массивах стабилизировалась и достигает 85–95 % в небольших массивах и 6–20 % в крупных. В целом по городу такие насаждения занимают 30–35 % площади лесов и лесопарков Москвы.

Сохранившиеся в черте Москвы другие природные компоненты (луга, болота, водоемы и

реки) так же, как и леса, претерпели определенные изменения в результате воздействия комплекса антропогенных факторов и утратили те или иные качества и свойства, характерные для естественных экосистем. Эти природные компоненты в большей степени, чем лесные, подвергаются угрозе полной деградации из-за бесконтрольного их освоения.

В структуру зеленых насаждений общего пользования города Москвы входят городские, специализированные, районные и детские парки, скверы и бульвары. Озеленение улиц занимает особое место в улучшении экологического состояния города, активно влияя на архитектурный облик и обеспечивая в летнее время необходимый теневой режим пешехода. Зеленые насаждения должны выполнять еще одну функцию – защиту территорий жилой застройки от транспортного шума, но не выполняют, так как для этого должна осуществляться многорядная посадка деревьев с занятием подкрановых пространств кустарником.

Под влиянием техногенных факторов в зеленой массе растительности уменьшается содержание хлорофилла. Ткани растения изменяют цвет на желтый, охристый, растение поражается хлорозом. Более сильное поражение вызывает некроз тканей. Степень поражения зеленых насаждений существенно отличается в разных районах. По материалам, которые четко согласуются с результатами наземных исследований, в Москве выделены три группы поражения древесной растительности по степени проявления хлороза и некроза листьев. Территории с сильно пораженной растительностью расположены вокруг крупных промышленных центров или их групп. Наибольшую площадь, 166 кв. км, охватывает юго-восточный ореол, формируемый комплексом промзон (нефтеперерабатывающий завод, АЗЛК, литейно-механический завод, ЗИЛ и вся меридиальная зона промпредприятий от Ногатино до Хапиловки у северо-западной окраины Измайловского парка). Участки сильного поражения меньшей площади отмечены в районе Краснопресненско-Филевского промузла, Алексеевско-Митьевской промзоны, Колошино, Дегунино-Лихоборы, Тушино и др. На большей части территории города растительность имеет среднюю степень пораженности. К этой зоне относятся Сокольники, большая часть Измайловского парка, окраины Лосино Острова.

Наземными геохимическими исследованиями установлена связь пораженности растительности и накопления в растениях относи-



тельно фона ряда химических элементов (свинца, олова, серебра, кобальта, меди, цинка) вблизи производства черной и цветной металлургии, машиностроения, полиграфии.

Помимо техногенной нагрузки угнетающую роль выполняет рекреационная нагрузка. Несмотря на существующий запрет сбора любых дикорастущих растений на территории Москвы, собирательство не только широко распространено, но в последнее время заметно усилилось. Уже сейчас более 130 видов местных растений следует признать редкими и уязвимыми, некоторые из них находятся на грани исчезновения. 29 видов включены в перечень дикорастущих растений, подлежащих специальной охране на территории Москвы и Московской области, еще 11 видов – к охране в Московской области.

Все разнообразие местной флоры в Москве может быть сохранено только в случае поддержания естественных условий местообитания и создания механизма защиты биотопов редких и уязвимых видов растений на территории города.

### Главные функции зеленых насаждений

Главными функциями зеленых насаждений мы можем назвать такие, как санитарно-гигиеническая, рекреационная, структурно-планировочная, декоративно-художественная. Обязательными требованиями к системе озеленения являются равномерность и непрерывность. Основные же элементы системы озеленения города – парки, сады, озелененные территории жилых и промышленных районов, набережные, бульвары, скверы, защитные зоны. При проектировании новых и реконструкции существующих городов предусматривают максимальное сохранение и использование существующих зеленых насаждений.

Площадь зеленых насаждений общего пользования в городах и других населенных пунктах климатического подрайона IVA допускается увеличивать, но не более, чем на 20 %.

В крупнейших, крупных и больших городах наряду с общегородскими предусматривают районные и специализированные парки (детские, спортивные, ботанические, зоологические и др.) с учетом удовлетворения потребности населения всех возрастов в разнообразных видах отдыха.

Площадь городских парков должна быть не менее 16 га, парков планировочных районов – 11 га, садов жилых районов – 3 га, скверов – 0,5 га.

В общем балансе территория парков, садов и скверов, площадь озелененных территорий должна составлять не менее 70 %.

Бульвары и пешеходные аллеи располагают вне транспортных магистралей, в направлении массовых потоков пешеходного движения, оборудуя на них площадки для кратковременного отдыха.

Парки, сады, скверы и бульвары должны быть оборудованы водопроводом, канализацией, водостоками, освещением, а также хозяйственными помещениями.

Зеленые насаждения в городе улучшают микроклимат городской территории, создают хорошие условия для отдыха на открытом воздухе, предохраняют от чрезмерного перегрева почвы, стены зданий и тротуары.

Это может быть достигнуто при сохранении естественных зеленых массивов в жилых зонах. Одним из удачных примеров умелого, разумного использования леса явилась планировка и застройка Академгородка, построенного близ города Новосибирска. Живой могучий лес шумит среди домов, на школьных участках, возле детских садов. Леса сохранены на берегах Обского моря, где могут отдохнуть тысячи и тысячи граждан. Человек здесь не оторван от природы: он как бы растворен в ней, поэтому работает продуктивнее, а отдых становится полезнее.

Велика роль зеленых насаждений в очистке воздуха городов. Дерево средней величины за 24 часа восстанавливает столько кислорода, сколько необходимо для дыхания трех человек. За один теплый солнечный день 1 га леса поглощает из воздуха 220–280 кг углекислого газа и выделяет 180–200 кг кислорода.

С 1 м<sup>2</sup> газона испаряется до 200 г/ч воды, что значительно увлажняет воздух. В жаркие летние дни на дорожке у газона температура воздуха на высоте роста человека почти на 2,5°С ниже, чем на асфальтированной мостовой. Газон задерживает заносимую ветром пыль и обладает фитонцидным действием. Вблизи зеленого ковра легко дышится. Не случайно в последнее время в практике озеленения все чаще отдается предпочтение ландшафтному, или свободному, стилю проектирования, при котором 60 % благоустраиваемой территории и более отводится под газон.

В жаркий летний день над нагретым асфальтом и раскаленными железными крышами

домов образуются восходящие потоки теплого воздуха, поднимающие мельчайшие частицы пыли, которые долго держатся в воздухе. А над старым парком, разбитым в центре города, возникают нисходящие потоки воздуха, потому что поверхность листьев значительно прохладнее асфальта и железа. Пыль, увлекаемая нисходящими потоками воздуха, оседает на листьях. Один гектар деревьев хвойных пород задерживает за год до 40 тонн пыли, а лиственных – около 100 тонн. Практика показала, что достаточно эффективным средством борьбы с вредными выбросами автомобильного транспорта являются полосы зеленых насаждений, эффективность которых может варьироваться в довольно широких пределах – от 7 % до 35 %.

Крупные лесопарковые клинья могут быть активными проводниками чистого воздуха в центральные районы города. Качество воздушных масс значительно улучшается, если они проходят над лесопарками и парками, площадь которых составляет 600–1000 га. При этом количество взвешенных примесей снижается на 10–40 %, что приводит к повышению интенсивности ультрафиолетовой радиации на 15–25 %.

В зависимости от величины города, его народнохозяйственного профиля, плотности застройки, природно-климатических особенностей породный состав насаждений будет различным.

В крупных индустриальных центрах, где создается наибольшая угроза санитарному состоянию воздушного бассейна, для оздоровления городской среды в окрестностях заводов рекомендуется высаживать клен американский, иву белую, тополь канадский, крушину ломкую, казацкий и виргинский можжевельник, дуб черешчатый, бузину красную [1]. Древесно-кустарниковая растительность обладает избирательной способностью по отношению к вредным примесям и в связи с этим обладает различной устойчивостью к ним.

Газопоглотительная способность отдельных пород в зависимости от различных концентраций вредных газов в воздухе неодинакова. Исследования, проведенные Кулагиным, показали, что тополь бальзамический является наилучшим «санитаром» в зоне сильной постоянной загазованности. Лучшими поглотительными качествами обладают липа мелколистная, ясень, сирень и жимолость. В зоне слабой периодической загазованности большее количество серы поглощают листья тополя, ясеня, сирени, жимолости, липы, меньше – вяза, черемухи, клена.

Защитные функции растений зависят от степени их чувствительности к различным загрязняющим веществам. В.М. Рябинин установил, что предельно допустимая среднесуточная концентрация сернистого ангидрида для лиственницы сибирской равна 0,25 мг/м<sup>3</sup>, сосны обыкновенной – 0,40 мг/м<sup>3</sup>, липы мелколистной – 0,60 мг/м<sup>3</sup>, ели обыкновенной и клена остролистного – по 0,70 мг/м<sup>3</sup>.

Если концентрация вредных газов превышает предельно допустимые нормы, то клетки растений разрушаются, и это приводит к угнетению роста и развития, а иногда и к гибели растений.

При озеленении городской территории необходимо учитывать указанные свойства древесно-кустарниковой растительности, хотя они могут меняться в зависимости от различных факторов: возраста и вида растений, состава газовых выбросов и их концентрации, а также от географических, почвенно-климатических и метеорологических условий.

Существуют аэроионы легкие, которые могут нести отрицательный или положительный заряды, и тяжелые – положительно заряженные. Наиболее благоприятное воздействие на окружающую среду оказывают легкие отрицательные ионы.

Носителями положительно заряженных тяжелых ионов обычно являются ионизированные молекулы дыма, водяной пыли, паров, загрязняющих воздух. Следовательно, чистота воздуха в значительной мере определяется соотношением количества легких ионов, оздоравливающих атмосферу, и тяжелых ионов, загрязняющих воздух.

Существенной качественной особенностью кислорода, вырабатываемого зелеными насаждениями, является насыщенность его ионами, несущими отрицательный заряд, в чем и проявляется благотворное влияние растительности на состояние человеческого организма.

Для более ясного представления о возможностях растений обогащать воздух отрицательными легкими ионами можно привести следующие данные: число легких ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха над лесами составляет 2000–3000, в городском парке – 800, в промышленном районе – 200–400, в закрытом многолюдном помещении – 25–100.

На ионизацию воздуха влияет как степень озеленения, так и природный состав растений. Лучшими ионизаторами воздуха являются смешанные хвойно-лиственные насаждения.

Сосновые насаждения только в зрелом возрасте оказывают благоприятное воздействие на его ионизацию, так как вследствие выделяемых молекулами сорняками паров скипидара концентрация легких ионов в атмосфере снижается.

По мнению некоторых авторов, летучие вещества цветущих растений также способствуют повышению в воздухе концентрации легких ионов.

По данным В.Н. Власюка, ионизация лесного кислорода в 2–3 раза выше по сравнению с морским и в 5–10 раз – с кислородом атмосферы городов.

Поэтому леса, образующие зеленый пояс вокруг городов, оказывают значительное благотворное воздействие на оздоровление городской среды, в частности, обогащают воздушный бассейн легкими ионами.

В наибольшей мере способствуют повышению концентрации легких ионов в воздухе акация белая, береза карельская, тополелистная и японская, дуб красный и черешчатый, ива белая и плакучая, клен серебристый и красный, лиственница сибирская, пихта сибирская, рябина обыкновенная, сирень обыкновенная, тополь черный.

Также растения усваивают солнечную энергию и создают из минеральных веществ почвы и воды в процессе фотосинтеза углеводы и другие органические вещества.

К санитарно-гигиеническим свойствам растений относится их способность выделять особые летучие органические соединения, называемые фитонцидами, которые убивают болезнетворные бактерии или задерживают их развитие. Эти свойства приобретают особую ценность в условиях города, где воздух содержит в 10 раз больше болезнетворных бактерий, чем воздух полей и лесов.

В чистых сосновых лесах и лесах с преобладанием сосны (до 60 %) бактериальная загрязненность воздуха в 2 раза меньше, чем в березовых. Из древесно-кустарниковых пород, обладающих антибактериальными свойствами, положительно влияющими на состояние воздушной среды городов, следует назвать акацию белую, барбарис, березу бородавчатую, грушу, граб, дуб, ель, жасмин, жимолость, иву, калину, каштан, клен, лиственницу, липу, можжевельник, пихту, платан, сирень, сосну, тополь, черемуху, яблоню. Фитонцидной активностью обладают и травянистые растения – газонные травы, цветы и лианы.

На интенсивность выделения растениями фитонцидов влияют сезонность, стадии вегетации, почвенно-климатические условия, время суток.

Максимальную антибактериальную активность большинство растений проявляют в летний период. Поэтому некоторые из них можно использовать в качестве лечебного материала.

### Свойства и защитные функции насаждений

Недостаточное озеленение городских микрорайонов и кварталов, нерациональная застройка, интенсивное развитие автотранспорта и другие факторы создают повышенный шумовой фон города. Борьба с шумом в городах – острая гигиеническая проблема, обусловленная усиливающимися темпами урбанизации.

Шум не только травмирует, но и угнетает психику, разрушает здоровье, снижая физические и умственные способности человека.

Исследования показали, что характер нарушений функций человеческого организма, вызываемый шумом, идентичен нарушениям при действии на него некоторых ядовитых препаратов.

Различные породы растений характеризуются разной способностью защиты от шума. По данным венгерских исследователей, хвойные породы (ель и сосна) по сравнению с лиственными (древесные и кустарниковые) лучше регулируют шумовой режим.

По мере удаления от магистрали на 50 м лиственные древесные насаждения (акация, тополь, дуб) снижают уровень звука на 4,2 дБ, лиственные кустарниковые – на 6 дБ, ель – на 7 дБ и сосна – на 9 дБ; при удалении от магистрали на 250 м – соответственно 10, 14, 15,5 и 17,5 дБ.

Исследования показали, что лиственные породы способны поглощать до 25 % звуковой энергии, а 74 % ее отражать и рассеивать. Наиболее лучшими в этом отношении являются: из хвойных пород – ель, пихта, туя; из лиственных – липа, граб и другие [1].

Шумозащитная функция в определенной степени зависит от приемов озеленения. Однорядная посадка деревьев с живой изгородью из кустарника шириной в 10 метров снижает уровень шума на 3–4 дБ; такая же посадка, но двухрядная шириной 20–30 метров – на 6–8 дБ, 3–4-рядная посадка шириной 25–30 метров – на 8–10 дБ, бульвар шириной 70 метров с рядовой и групповой посадкой деревьев и кустарников – на

10–14 дБ; многорядная посадка или зеленый массив шириной 100 метров – на 12–15 дБ [2].

Высокий эффект защиты от шума достигается при размещении зеленых насаждений вблизи источников шума и защищаемого объекта. Полное и всестороннее использование зеленых насаждений приводит к оздоровлению городской среды.

Защитные свойства растений во многом зависят от тех экологических условий, в которых они находятся. В городских условиях оптимальными для роста и развития многих растений являются парки площадью 50–100 га и сады, несколько худшими – бульвары и скверы, неблагоприятными – асфальтированные улицы.

В составе парковых насаждений у растений наблюдаются более интенсивные процессы фотосинтеза и дыхания по сравнению с теми, которые произрастают на асфальтированных улицах и вблизи магистралей.

Одной из важнейших задач оздоровления городской среды при использовании древесно-кустарниковой растительности является создание научно обоснованной системы внутригородского озеленения и организация зеленых пригородных зон.

В одной из телепередач на канале «Столица» выступили два эколога, которые предоставили приблизительные экологические данные по Москве.

#### **Воздействие снега на окружающую среду.**

Снег по своему составу, по результатам наблюдения сейчас является ЯДОМ для окружающей среды. Например, снег может «проесть» бетон. Процентное содержание компонентов превышает стандартный уровень в тысячи раз, что делает снег опасным для здоровья человека, потому что человек дышит парами испарившейся воды отравленного снега. Так как снег сбрасывается в реки (в Москве – это Москва-река), то вся почва, которая находится на побережье этих рек, отравлена. А это говорит о том, что вся растительность, выращенная на этой земле, содержит ядовитые вещества и к тому же сама эта зелень «больна».

Одной из причин всего этого является «СОЛЬ», применяемая зимой для оттайки снега и содержащая в своем составе множество различных химических ядовитых веществ. Отсюда снег, перемешиваясь с этой солью, превращается в воду и испаряется, а после выпадает в качестве ядовитых осадков.

Отрицательное воздействие на окружающую среду оказывают и выхлопные газы автомобилей. По некоторым подсчетам, автомобиль за один час потребляет столько же кислорода, сколько один человек за 38 суток (больше месяца!).

В одной из телепередач Юрий Лужков – мэр города Москвы – сказал, что в этом году количество посаженных государством деревьев возрастет на 10000, что изменит облик города, повысит выделение кислорода, улучшит почвы. Также будут закупаться или выявляться новые химические вещества, оказывающие менее пагубное воздействие на окружающую среду.

Одним из путей улучшения городской среды является озеленение. Зеленые насаждения поглощают пыль и токсичные вещества. Они участвуют в образовании гумуса почвы, обеспечивающего ее плодородие. Формирование газового состава атмосферного воздуха находится в прямой зависимости от растительного мира: растения обогащают воздух кислородом, полезными для здоровья человека фитонцидами и отрицательными аэроионами, поглощают углекислый газ. Зеленые растения смягчают климат. Растения усваивают солнечную энергию и создают из минеральных веществ почвы и воды в процессе фотосинтеза углеводы и другие органические вещества. Без растительности жизнь человека и животного мира невозможна.

Растения не только выполняют свою биологическую и экологическую функцию, но их разнообразие и красочность всегда «радуят глаз» человека.

#### **Библиографический список**

1. Александровская, З.И. Чтобы город был чистым. Издание второе, переработанное и дополненное / З.И. Александровская, Я.В. Медведев, А.Г. Богачев. – М.: СТРОЙИЗДАТ, 1989. – С. 3–39.
2. Макевнин, С.Г. Охрана природы. Издание второе, переработанное / С.Г. Макевнин, А.А. Вакулин. – М.: АГРОПРОМИЗДАТ, 1991. – С. 5–19, 70–86.
3. Государственный комитет СССР по охране природы. Состояние природной среды в СССР в 1988 г. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – С. 3–12, 160–162.
4. Елшин, И.М. Строителю об охране окружающей природной среды / И.М. Елшин. – М.: СТРОЙИЗДАТ, 1989. – С. 3–6, 114–116.
5. Родзевич, Н.Н. Охрана и преобразование природы / Н.Н. Родзевич, К.В. Пашканг. – М.: ПРОСВЕЩЕНИЕ, 1980. – С. 3–14, 154–174.
6. Зарубин, Г.П. Гигиена города / Г.П. Зарубин, Ю.В. Новиков. – М.: Медицина, 1986. – С. 3–6, 78–88.
7. Подобедов, Н.С. Природные ресурсы земли и охрана окружающей среды / Н.С. Подобедов. – М.: Недра, 1986. – С. 3–7, 101–116.
8. Журнал «ПРИРОДА». – М.: Наука, 1997. – С. 32–47, 52–65.



## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ НЕКРОПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ (НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ)

Н.В. КАРАВАЕВА, *асп. географического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова*

**Ф**ормирование любого поселения всегда сопровождалось топографическим единением живой и неживой среды, поэтому некрополи, или «города мертвых», издревле соседствовали с «городами живых». Расширение территории последних обусловило проникновение кладбищ в городскую черту, а рост численности населения – увеличение числа погостов. Став неотъемлемой частью «города живых», некрополи не только хранят память об умерших, но и обеспечивают прочность исторического ландшафта. Вместе с тем, дальнейшее развитие урбанизации приводит к возникновению противоречия между сложившимся социальным укладом и устаревшими малоэкономичными способами погребения, требующими выделения все новых и новых территорий при постоянном росте стоимости земли. Во многих странах это стало причиной упрощения погребальных обрядов, а в некоторых – отказа от них вообще.

Основной задачей похоронного дела – одной из профессиональных отраслей хозяйства в современном мире – стал поиск новых способов погребения умерших. В городах Европы места для погребения уже сдаются в аренду на определенный срок. Широкое распространение получил «лесной» способ захоронения, при котором урну с прахом захоранивают в специально отведенной части леса. В Китае строят многоэтажные кладбища; в США разработана технология вывода праха усопших на околоземную орбиту; проектируются подводные кладбища. И тем не менее, вопрос о создании новых мест захоронений в большинстве стран остается открытым. Ежегодный рост территорий, занятых под кладбища, и дефицит земельных ресурсов для создания новых погостов поставили проблему организации новых мест захоронений в разряд наиболее острых.

В то же время, традиция захоронения умерших носит глубоко философский, нравственный характер. Само по себе бережное отношение к старинным обычаям, конечно, не должно автоматически отождествляться с отрицанием новых видов погребения, однако и новые ритуалы не должны противоречить уже сложившимся моральным устоям. Кладбище и его внешний

вид – показатель общественного и религиозного сознания, культуры и нравственного развития не только тех лет, когда жили похороненные там, но и времени жизни их потомков.

Данное исследование является одной из первых попыток ближе подойти к решению проблемы дефицита земельных ресурсов для создания новых мест захоронений путем изучения геоэкологического аспекта функционирования кладбищ и разработки императивов рационального использования территории погостов с целью установления относительно постоянной величины площади земель, занятых под некрополи, в системе городских территорий.

Выбор Московского региона объясняется не только особым положением Москвы, крупнейшего в стране управленческого, промышленного, финансового, торгового, научного и культурного центра, но и ее абсолютным лидерством по числу кладбищ не только среди российских, но и среди мировых городов, что значительно усложняет механизмы управления некрополями и, соответственно, повышает актуальность исследования.

### Анализ сложившейся ситуации

В пределах административных границ столицы расположено 57 кладбищ общей площадью 662,75 га, однако большинство из них давно получили статус закрытых, и в настоящее время основная часть захоронений производится на 11 кладбищах, размещенных в пригороде (Никола-Архангельское, Хованское, Митинское, Домодедовское, Щербинское, Долгопрудненское, Лианозовское, Перепечинское, Ногинское, Щелковское, в Ракитках) [1].

В среднем в год в Москве производят около 125–145 тыс. захоронений. Около половины из них составляют урны с прахом умерших, захораниваемые в специальных колумбарных помещениях, стенах-колумбариях либо в родственных могилах. Оставшиеся 50 % – захоронения традиционным способом, гробом в землю. В сложившихся условиях кладбищенского хозяйствования ежегодно для создания новых мест захоронения традиционным способом необходимо выделять

24,1 га земли при условии захоронения половины москвичей в родственные могилы и 19,3 га – при захоронении в родственные могилы 60 % умерших. Если процент кремации увеличится до 55 %, то эти цифры составят, соответственно, 20,9 га и 17,4 га [2].

Таким образом, даже если не учитывать увеличивающийся показатель смертности населения, то, по грубым подсчетам, необходимость в новых территориях для кладбищ до 2020 г. составит около 230–315 га. Найти такую суммарную территорию для расширения московских кладбищ не представляется возможным, поэтому становится очевидным, что необходимо совершенствовать саму систему организации новых мест захоронения, искать пути более эффективного и рационального использования территории кладбищ. Это, в свою очередь, требует более детального изучения специфики функционирования кладбищ.

### **Специфика функционирования кладбищ**

Согласно учению о биосфере В.И. Вернадского, человек является составной частью так называемого «живого вещества» – всей совокупности живых организмов, населяющих биосферу. Живое вещество выполняет в биосфере ряд биогеохимических функций, одна из которых – концентрационная. Она связана с миграцией молекул и атомов, которые на определенное время концентрируются в живых организмах, а после их отмирания и минерализации переходят в неживую природу.

Условно процесс распада можно разбить на два этапа. На первом этапе с помощью биоты (микроорганизмов, грибов, водорослей) происходит расщепление белков, второй этап – непосредственно тление – происходит под действием диффундирующего с поверхности кислорода и целиком зависит от свойств грунта [3].

В легком, воздухопроницаемом грунте через определенный период можно производить повторное захоронение, в то время как при большом содержании глины и, в особенности, влаги капиллярность и тепловые свойства почвы резко ухудшаются и процесс тления может вообще не начаться либо прекратиться на ранних этапах. Если углеводороды все же окисляются в почве в анаэробных условиях, то трупные жиры, напротив, расщепляются крайне медленно, так как они в меньшей степени подвержены процессам биохимического распада. При этом именно жиро-

вые отложения еще при жизни человека служат гигантским депо всех инфекций, которыми когда-либо страдал человек. СПИД, туберкулез, бруцеллез, атипичная пневмония, бабезиоз, болезнь Крейцфельда-Якоба, малярия, марбургский вирус, возвратный тиф, риккетсиозная лихорадка, человеческий Т-лимфотропный вирус, гепатит С, лептоспироз, сифилис – вот перечень основных заболеваний, источником которых может стать скопление мертвых тел [4].

В зависимости от геолого-экологических условий кладбище может функционировать в двух взаимоисключающих режимах: интенсивном, обеспечивающем качественное изменение вносимой биомассы без нарушения естественных параметров среды, и экстенсивном, приводящем к чрезмерному загрязнению почвы продуктами распада, что не только требует создания все новых и новых участков, но при многократном превышении предельно допустимой концентрации биомассы может привести к экологической катастрофе [5].

Таким образом, первостепенное значение при проектировании некрополей имеет выбор участка для создания новых мест захоронения.

### **Основные принципы выбора участка для организации кладбищ**

Основные принципы выбора участка для организации некрополей впервые были изложены в «Уставе врачебном» Свода законов Российской Империи 1892 г. и к настоящему времени не претерпели существенных изменений [1].

При проектировании кладбищ различного типа должны учитываться следующие условия: территория должна иметь благоприятные для захоронения естественные параметры – песчаные сухие воздухопроницаемые грунты и низкий уровень грунтовых вод (не выше 2,5 м от поверхности земли). Участки, отводимые под кладбища, должны иметь уклон в противоположную сторону от населенного пункта и открытых водоемов, не должны быть подвержены оползням и обвалам. При отсутствии необходимых гидрогеологических условий необходимо проводить инженерную подготовку территории будущего кладбища, включающую осушение территорий, устройство дренажей, засыпку поверхности мелкозернистыми сухими грунтами, строительство подпорных стенок, укрепление оврагов, планировку и озеленение откосов.

Санитарно-защитные зоны кладбищ следует проектировать исходя из преимущественных направлений распространения вредных веществ, а также с учетом розы ветров, направлений сброса грунтовых вод, наличия геологических разломов и неоднородности грунтов, рельефа и направлений сброса ливневых вод, зон распространения электромагнитных, энергоинформационных и других опасных для жизни и здоровья излучений. Эти зоны должны быть расположены на расстоянии не менее 500 м от жилой застройки для кладбищ традиционного и смешанного способов захоронения и не менее 1000 м – для крематориев [6].

### **Императивы рационального использования территории кладбищ**

Ключевым моментом в ведении кладбищенского хозяйствования является то, что в системе городских земель территории кладбищ должны составлять относительно постоянную величину при относительно постоянной численности населения. В большой степени это достигается за счет благоприятных геолого-экологических условий размещения некрополей, позволяющих использовать каждое место захоронения несколько раз, однако немаловажное значение играет и принцип создания самих мест захоронений и режим их дальнейшего использования.

Поскольку к каждому месту захоронения (части кладбища, предназначенной для одной или нескольких могил) оказывается привязанным определенный круг лиц (род, семья), оно должно создаваться из расчета средней численности семьи [5]. По истечении кладбищенского периода (времени завершения процессов распада) в каждую могилу можно производить подзахоронение. Величина этого периода должна определяться исходя из свойств грунта данного конкретного кладбища. В Москве она установлена равной 13,5 годам для всех кладбищ и, по сути, из параметра, имеющего физико-биохимическое содержание, превратилась в юридический норматив, формально допускающий повторные захоронения в опасной близости от поверхности, когда процессы распада полностью еще не завершены.

Кладбище, построенное на базе семейных, откупленных мест захоронения, будет иметь заметно меньшую производительность по сравнению с кладбищем, заполняемым в порядке очереди по факту смерти, поэтому наиболее эффек-

тивное использование территории возможно при совместном функционировании кладбища и крематория или кладбища и резервной территории, работающей в режиме «кладбище для одиноких». По истечении кладбищенского периода останки из резервной территории могут быть перенесены в соответствующее место захоронения основного кладбища.

При такой практике поток захоронений искусственно делится на две составляющие, одна из которых направляется на основное кладбище, а другая принимается либо крематорием, либо резервной территорией. Такое положение требует строгого функционального разграничения территории кладбища, поэтому планирование будущего некрополя должно быть основано на выделении нескольких функциональных зон, а именно: (1) ритуальной; (2) административно-хозяйственной; (3) погребальной; (4) мемориальной.

В ритуальной зоне располагаются церковь или часовня для отпевания умерших и проведения богослужений и зал для прощания, если на территории некрополя расположен крематорий.

В административно-хозяйственной зоне размещаются постройки с различным инвентарем для оформления, благоустройства и содержания мест погребений.

В погребальной зоне производятся захоронения традиционным способом и подзахоронения урн с прахом после кремации. Основная функция этой зоны – реализация процессов распада. На кладбище должны быть предусмотрены места захоронений следующих видов: на одну могилу – для одиноких и малоимущих граждан; на 2–6 могил – семейные, семейные склепы и павильоны; групповые на 6 и более могил – для жертв аварий и катастроф; братские (общие) или пантеоны – для лиц, чьи останки целиком не сохранились, не могут быть идентифицированы, личность которых не установлена, одиноких граждан, похороненных за счет государственного или муниципального бюджетов, а также для жертв массовых катастроф и иных чрезвычайных ситуаций. Места захоронений различного типа целесообразно предусматривать на обособленных участках для каждого из указанных видов захоронений.

Мемориальная зона предусматривает погребение только после кремации. Внедрение процесса кремации экономит дефицитные земельные ресурсы, улучшает внешний облик мест захоронений и кладбищ в целом, способствует созданию

семейно-родовых захоронений, создает предпосылки формирования парково-мемориальных комплексов на кладбищах города.

Выделенные функциональные зоны составляют основу, каркас городского кладбища, грамотное проектирование которого обеспечит неопределенно долгий срок функционирования некрополя с его последующим включением в социально-культурную структуру города как уникального объекта культурного наследия. Предложенный подход к организации некрополей не только позволит решить проблему дефицита территориальных ресурсов для создания новых кладбищ, но сможет гарантировать экологическую безопасность современных столичных погостов, предоставляя возможность для дальнейшего преобразования некрополей в мемориальные парки скорби, хранящие множество отдельных звеньев родословной человечества.

### Библиографический список

1. Караваева, Н.В. Предпосылки и последствия бесконтрольного функционирования «города мертвых» в «городе живых» / Н.В. Караваева // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы региональной экономики, экологии и эколого-географического образования». – Сергиев Посад, 2003. – С. 144–149.
2. Схема размещения новых кладбищ и расширения существующих в Москве и Московской области. – М.: НИИПИ Генплана Москвы, 1997. – 198 с.
3. Овсяницкий, Н.Г. Экологические аспекты похоронной деятельности / Н.Г. Овсяницкий // Экология городов. – 1996. – № 8. – С. 72–75.
4. Караваева, Н.В. Теория и практика организации похоронного дела в России / Н.В. Караваева // Материалы международной школы-конференции «Рациональное природопользование». – М., 2005. – С. 149–154.
5. Станько, А.П. Теоретические основы похоронного дела / А.П. Станько, В.Б. Гончаров, М.Ю. Лимонад. – М., 1995. – 226 с.
6. О погребении и похоронном деле. Федеральный закон от 12 января 1996 г. № 8-ФЗ. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 18 с.

## ЛЕСОВОДЫ-КЛАССИКИ МОСКОВСКОГО ЛЕСНОГО ИНСТИТУТА (ИЗ ИСТОРИИ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА)

М.Д. МЕРЗЛЕНКО, *проф. каф. лесных культур МГУЛ, д-р с.-х. наук,*  
А.Н. ПОЛЯКОВ, *проф. Международной славянской академии*

В данной статье речь пойдет о тех замечательных лесоводах-классиках, с именами которых связаны годы первого периода функционирования Московского государственного университета леса, носившего с 1919 по 1923 гг. название Московского лесного, а затем (по 1925 г.) – Московского лесотехнического института. Подавляющее большинство лесоводов-классиков того времени вошли в кадровый состав вуза после его слияния с лесным факультетом Тимирязевской (бывшей Петровской) сельскохозяйственной академии.

Однако связь с одним из выдающихся представителей лесоводственной науки профессором Митрофаном Кузьмичем Турским прослеживается с более раннего времени. Дело в том, что на территории Щелковского учебно-опытного лесхоза МГУЛ находится Никольская лесная дача, классически устроенная М.К. Турским в 1884 г. и ставшая образцом для подобного рода лесоустроительных работ на многих лесных дачах Центральной России. Академик ВАСХНИЛ И.С. Мелехов называл это детище М.К. Турского «жемчужиной Щелковского учебно-опытного лесхоза».

Необходимо кратко остановиться на биографии этого замечательного лесовода. Он родился 2 апреля 1840 г. в г. Нарве Санкт-Петербургской губернии в семье священника. Обучался в Санкт-Петербургской семинарии, быт и нравы которой описаны в книге Н.Г. Помяловского «Очерки бурсы» (1862–1863). После окончания семинарии он поступает на физико-математический факультет Санкт-Петербургского университета, по окончании которого, имея степень кандидата естественных наук, проходит одногодичный курс лесоводства в Санкт-Петербургском лесном институте и Лисинском учебном лесничестве. В 1863 г. его назначают таксатором для проведения лесоустроительных работ в Пермской губернии, где он прослужил 3 года. В 1867–1860 гг. был лесничим в Семеновском и Макарьевском лесничествах Нижегородской губернии, а затем там же лесным ревизором. В 1869 г. стал преподавателем в Лисинском лесном училище, где вместе со студентами проводил метеорологические наблюдения (1869–1876), опубликованные в «Лесном журнале». Кроме того, им были составлены «Таблицы по таксации леса», вышедшие в свет в 1872 г.



Они переиздавались 8 раз и служили ценным руководством для работников лесного хозяйства почти 50 лет. В том же году он пишет статью «О выростании нового леса после вырубки», где выступает против варварского уничтожения лесов, при котором рубка ведется в размере, превышающем ежегодный прирост. Этот вопрос остается актуальным до сих пор. В январе 1876 г. ученый назначается экстраординарным профессором кафедры лесоводства Петровской земледельческой и лесной академии и одновременно заведующим кафедрой и Лесной опытной дачей (ЛОД).

В мае 1876 г. его командировают для ознакомления с лесным хозяйством в Баварию, Саксонию и Северную Германию. По результатам этой поездки он пишет статью «Образцы лесного хозяйства» (1877), в которой предостерегает лесоводов России от слепого подражания деятельности западноевропейских лесоводов. В 1892 г. выходит его учебник «Лесоводство», переиздававшийся 9 раз. Этот энциклопедический учебник ценен тем, что основан на данных отечественного лесного хозяйства. М.К. Турский был одним из основателей лесного опытного дела в России. Он заложил (1876–1899) на ЛОД 101 постоянную пробную площадь, к настоящему времени сохранилась 71 площадь. На них велись наблюдения за ходом роста различных пород естественного и искусственного происхождения, опыты по акклиматизации, влияния рубок ухода за лесом, способам и времени посадки деревьев, методам создания культур. Впервые в России в 1883–1885 гг. и 1889–1892 гг. под руководством М.К. Турского были проведены географические посадки сеянцев сосны, полученных из семенного материала разных губерний России и из Германии (Эрфурт). Этот бесценный опыт на 22 пробных площадях продолжается до настоящего времени! Ученый был убежденным сторонником лесопольного хозяйства, при котором «...разведение лесных пород после снятия нескольких хлебов в вырубленной и расчищенной лесосеке обходится особенно дешево, если семена древесных пород сеять вместе с последним хлебом» («О выростании соснового леса после вырубки», 1872). В актовой речи 1882 г. в Петровской академии он снова говорит о преимуществах сочетания полеводства с лесоводством и закладывает в 4 квартале ЛОД 19 пробных площадей на участках после посева овса. М.К. Турский заложил опыт по изучению влияния густоты

на рост древостоя (кв.6), который, к сожалению, не сохранился. В 1877–1878 гг. он начинает опыты по исследованию хода роста сосновых культур, созданных посевом и посадкой однолетних сеянцев и трехлетних саженцев (кв.11, проба Б<sub>1-6</sub>). Эти опыты были продолжены Г.М. Турским (1898) и А.Н. Поляковым (1992).

Под руководством М. К. Турского был составлен ряд графических планов распределения деревьев на пробных площадях, что послужило основой для установления закономерностей выживания деревьев в лесу. Митрофан Кузьмич изучал светолюбие различных древесных пород и составил шкалу светолюбия. Большое внимание ученый уделял изучению гидрологической роли леса. Для наблюдения за температурой почвы и воздуха на ЛОД в 1895 г. был устроен термометрический пункт, где велись опыты по толщине снежного покрова и запасу воды. Полученные результаты публиковались в отчетах Московского лесного общества. Ученый дал высокую оценку работам В.Е. Граффа по степному лесоразведению в Велико-Анадольском лесничестве. Высылал в течение 5 лет семена ели в южные губернии России и отмечал ее успешный рост на черноземах на площади 109 га. В 1899 г. по замыслу М.К. Турского на Никольской лесной даче было заложено свыше 100 пробных площадей. На сохранившихся до нашего времени постоянных пробах ведут исследования ученые МГУЛ и МСХА. В 1893–1899 гг. М.К. Турский работал в экспедициях по изучению лесов бассейнов рек Волги и Днепра, развивая идеи В.В. Докучаева о влагосберегающем значении леса.

Митрофан Кузьмич был прекрасным педагогом. Он читал лекции по дендрологии (1884–1888), по лесоводству (1876–1898), лесной таксации и лесоустройству (1889–1890); создал на кафедре академии фундаментальную библиотеку, собрал коллекции образцов различных древесных пород в виде «деревянных книг», семян и шишек. Написал совместно с Л.И. Яшновым «Определитель древесины, ветвей и семян»; вел кружок по лесоводству. Ученый был одним из создателей и первым председателем Московского лесного общества (1885–1899). За большие заслуги в области лесного хозяйства был награжден орденами Св. Станислава 1, 2 и 3 степеней, Св. Анны 2 и 3 степеней и Св. Владимира 3 степени. 16 сентября 1899 г. Митрофан Кузьмич скончался. 29 июля 1912 г. ему был открыт памятник

со словами: «Славному сеятелю на ниве лесной. Лесная Россия».

Выступивший на открытии памятника Г.Ф. Морозов сказал: «Митрофан Кузьмич Турский принадлежит к числу русских лесоводственных классиков... Классики не стареют – они вечно юны». Похоронен М.К. Турский на Немецком (ныне Введенском) кладбище Москвы (уч. 27).

В 1921 г. в Московском лесном институте был открыт лесомелиоративный факультет. Там работал профессор Георгий Романович Эйтинген, внесший большой вклад как в область общего, так и частного лесоводства. По свидетельству академика ВАСХНИЛ Н.П. Анучина, Эйтинген был первым, кто в начале XX века в лесоводственных исследованиях применил методы вариационной статистики. С июля 1921 по июль 1925 гг. Г.Р. Эйтинген – профессор и заведующий кафедрой лесоводства и дендрологии Московского лесного института. Он организовал кабинет лесоводства и дендрологии и был заместителем декана лесомелиоративного факультета. Повторно он возглавлял кафедру общего лесоводства МЛТИ с 26 августа 1957 г. до 26 января 1959 г., т.е. вплоть до своей кончины. Перу Георгия Романовича принадлежат классические работы по густоте лесных культур, выживаемости деревьев в лесу и рубкам ухода.

Г.Р. Эйтинген был человеком высокой культуры и гражданской совести, дружбой с которым гордился известный советский писатель Леонид Леонов. Г.Р. Эйтинген великолепно знал поэзию, литературу, собрал замечательную коллекцию пейзажей. Был бессменным членом редколлегии журналов «Лес и степь», «Лесное хозяйство», принимал участие в редактировании 3-х изданий сельскохозяйственной энциклопедии, являлся экспертом по выпуску учебников в Госиздате СССР. Перечень трудов Г.Р. Эйтингена включает более 125 работ, в том числе учебник для сельскохозяйственных вузов «Лесоводство», выдержавший 9 изданий. За заслуги перед страной Г.Р. Эйтинген был награжден орденами Ленина и «Знак Почета».

В 1923 г. по решению Комиссии по установлению сети вузов при СНК РСФСР к Московскому лесному институту был присоединен лесной факультет ТСХА. Так появился лесохозяйственный (четвертый по счету) факультет уже Московского лесотехнического института. Деканом лесохозяйственного факультета становится

профессор Эдуард Эдуардович Керн, известнейший российский лесовод, некогда (1899–1905). являвшийся директором Лесного института в Петербурге. В МЛТИ Э.Э. Керну было поручено чтение курсов «Введение в лесное хозяйство», «Лесоуправление» и «Лесные мелиорации». В 1924 г. он написал учебник «Основы лесоводства» – обширный курс для вузов, содержащий не только лесоведение, но и искусственное лесовосстановление, лесоразведение, лесные мелиорации и главы с историческими очерками. В 1925 г. Э.Э. Керн был причислен к четвертой категории ученых как пользующийся европейской известностью. В 1929 г. Советское правительство присвоило ему персональную пожизненную пенсию.

Московский лесной институт в качестве учебно-опытных хозяйств владел Баково-Варнавинским лесным массивом Краснобаковского уезда Нижегородской губернии и лесной дачей «Поречье» Можайского уезда Московской губернии. С присоединением лесного факультета ТСХА институт получил в качестве учебно-опытных хозяйств такие ценные лесные объекты, как Погонно-Лосиноостровское, Измайловское, Мытищинское лесничества и формально ЛОД ТСХА. Инспектором учебных лесничеств был Георгий Митрофанович Турский. Он принял деятельное участие в подготовке и издании в 1923 г. первого выпуска трудов Московского лесного института. В МЛТИ он читал курс лесной таксации.

Г.М. Турский (1870–1926) – это сын М.К. Турского. Георгий Митрофанович окончил в 1892 г. физико-математический факультет МГУ. В 1894–1899 гг. работал ассистентом на кафедре лесоводства Петровской земледельческой и лесной академии, оставаясь в ней до 1912 г. Был профессором лесного отделения на высших Стебутовских женских курсах в Москве и в Константиновском межевом институте. По просьбе своего отца дописал несколько страниц ко второму изданию учебника «Лесоводство» и издал его в 1900 г. В 1909 г. Георгий Митрофанович был участником XI Всероссийского съезда лесовладельцев в г. Туле, будучи одним из его секретарей. В 1911 г. он был также секретарем Всероссийского лесоохранительного съезда, состоявшегося в г. Санкт-Петербурге. Ученый продолжил начатые М.К. Турским в 1877–1880 гг. исследования хода роста сосновых культур, созданных посевом и посадкой однолетних семян и 3-летних

саженцев в 11 квартале ЛОД. Вместе с отцом он принимал участие в экспедициях 1892–1895 гг. по исследованию лесов, оврагов, песков и других земель в бассейнах главных рек Европейской России. Результаты этих работ представлены в нескольких объемных томах. Георгий Митрофанович продолжил начатые его отцом работы по изучению насаждений Никольской лесной дачи. Им написаны книга «Очерки по теории прироста» (1925), учебник «Лесная таксация» (1927) и ряд статей. Эпиграфом к учебнику послужили слова А.Р. Варгаса де Бедемара: «Измерения лесной таксации принадлежат к точнейшим из всех отраслей сельского хозяйства». Георгий Митрофанович, как и его дед – священник и отец – выпускник духовной семинарии, был глубоко верующим человеком. Он скончался в возрасте 56 лет, и по его завещанию похоронен в 7 квартале ЛОД МСХА.

Пожалуй, самой колоритной фигурой среди лесоводов-классиков МЛТИ в 1923–1925 гг. был Николай Степанович Нестеров – ученик и продолжатель дела М.К. Турского. Родился 4 ноября 1860 г. в крестьянской семье. Его детство прошло в Вятской губернии, а учился он в реальных училищах Сарапула и Ростова-на-Дону. В 1880 г. поступает на лесное отделение Петровской земледельческой и лесной академии, которую успешно закончил в 1884 г. Для продолжения научной и педагогической деятельности его оставляют на кафедре лесоводства, которой заведовал М.К. Турский. В 1884 г. Николай Степанович написал диссертацию «Значение осины в русском лесоводстве», за которую был удостоен кандидатской степени. После смерти М.К. Турского стал в 1900 г. заведующим кафедрой лесоводства и лесной опытной дачи. Ученый продолжил опытные работы по изучению хода роста различных древесных пород в городских условиях, влияния рубок ухода, акклиматизации, известкования, внесения удобрений, возраста посадочного материала, для чего заложил 38 постоянных пробных площадей в насаждениях естественного и искусственного происхождения разного возраста. Были продолжены исследования географических культур сосны, начатые М.К. Турским. В 1901 г. был начат опыт по изучению влияния густоты посадки сосны (от 2 до 23 тыс. на 1 га) на ее дальнейший рост, к сожалению, нарушенный засухой 1938–1939 гг. и военными действиями 1941 г. под Москвой. Николай Степанович внес большой вклад в область

лесной гидрологии. Так, в 1906–1908 гг. на ЛОД под руководством ученого были начаты и проводились более 20 лет работы по изучению роли лесов разного состава в приходно-расходном балансе влаги в бассейне р. Жабенки на площади 116,1 га. Начатые М.К. Турским работы по изучению стока воды были также продолжены Н.С. Нестеровым, для чего в истоке р. Жабенки была построена каменная плотина с желобом. Под его руководством 20 лет (1906–1926) проводился учет поверхностного стока по склону водосбора р. Жабенки. На 8 буровых скважинах велись исследования режима грунтовых вод под лесом. Была установлена высокая влагособирающая способность леса и выявлен уровень грунтовых вод под пологом леса при коэффициенте вариации годовых колебаний не более 10 %. Это самая постоянная величина в гидрологии леса. Впервые ученым изучалось задержание осадков пологом леса и влияние леса на направление и силу ветра.

Результаты наблюдений на постоянных пробных площадях опубликованы в посмертной работе Н.С. Нестерова «Лесная опытная дача в Петровско-Разумовском» (1935). В 1933 г. выходят его «Очерки по лесоведению» в сокращенном виде, а в 1960 г. – второе издание этого капитального труда в полной (ранней) редакции автора. Николай Степанович читал лекции по лесоводству и лесоустройству, вел практические занятия по дендрологии и биологическому анализу развития ветвей по разработанному им методу. Он часто проводил в Петровско-Разумовском праздники древонасаждения. В 1899 г. Нестеров основал еженедельный журнал «Лесопромышленный вестник», где работал до 1918 года и поместил ряд статей по лесной экономике. В 1909 г. он был участником XI Всероссийского съезда лесоводов в г. Туле. От имени делегатов обратился в Ясной Поляне с приветствием к Льву Николаевичу Толстому.

После смерти М.К. Турского он возглавлял Московское лесное общество (1900–1917) и был инициатором сооружения памятника М.К. Турскому.

1 ноября 1925 г. в Доме ученых в Москве торжественно отмечалось 65-летие со дня рождения и 40-летие трудовой и научной деятельности Николая Степановича Нестерова, а 30 мая 1926 г. он скончался и был похоронен в 7 квартале ЛОД ТСХА. По словам Г.Ф. Морозова, Н.С. Нестеров относился к тем оригинальным лесоведам,

«...которые вносили в наше дело свет истины и элементы самобытности».

В 1923–1925 гг. в МЛТИ также преподавали профессора Н.П. Кобранов и Н.Н. Степанов. Последний известен своими исследованиями в области лесного почвоведения и по обоснованию типов лесных культур.

Что же касается личности Николая Петровича Кобранова, то существующие о нем сведения весьма противоречивы в отношении занимаемых им должностей и кафедр. Наиболее распространенные сведения следующие: в 1923/24 учебном году он входил в состав Правления института, а в 1924 г. был избран профессором лесоведения МЛТИ. Поистине большой заслугой в жизни Н.П. Кобранова является разработанная им методология обследования и исследования лесных

культур. Эта классическая работа была опубликована в 1930 г. в Трудах по лесному опытному делу. Она послужила фундаментом для разработки всех последующих методических указаний по обследованию и исследованию лесных культур применительно к конкретным задачам лесокультурного дела, а также легла в основу учения о фазах роста и развития лесных культур.

Таков был состав профессоров-лесоводов первого периода функционирования МГУЛ. Без преувеличения можно сказать, что в трудные послереволюционные годы здесь был собран цвет лесоводов-классиков нашего Отечества. Их научная деятельность твердо и плодотворно упрочивала и развивала Московскую лесоводственную школу и в особенности школу частного лесоводства (лесных культур).

## ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ ОЗЕЛЕНЕНИЯ г. ВОРОНЕЖА

В.В. КРУГЛЯК, доц. каф. ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства ВГЛТА, канд. техн. наук

Воронеж, основанный в 1585 г., постепенно расширяет свои границы и благоустраивается, занимая в настоящее время площадь более 46 515 га (15 лет назад площадь его составляла 30 740 га). Город вытянут с севера на юг более, чем на 20 км, а с запада на восток – на 15 км.

Территория Воронежа располагается в пределах восточного склона Воронежской антеклизы в зоне антиклинальной структуры второго порядка, осевая линия которой имеет субмеридиональное (северо-северо-восточное) направление и совпадает с высшими точками водораздела Дон-Воронеж. Геологическое строение территории Воронежа имеет ясно выраженное двухэтажное строение.

Воронеж был основан как сторожевой пункт на одном из отрогов высокого берега реки Воронеж [6]. Крепость построена в 1586 г. по указу царя Федора Иоанновича на южной окраине Московского государства [11].

В таксономическом плане флора города Воронежа насчитывает 1246 видов высших растений, которые относятся к 549 родам, 114 семействам. Они распределены между отделами: *Equisetophyta* (6 видов), *Polypodyophyta* (7 видов), *Pinophyta* (33 вида), *Magnoliophyta* (1200 видов).

Последний отдел имеет два класса: *Magnoliopsida* (983 вида) и *Liliopsida* (217 видов).

Среди преобладающих травянистых растений главенствующими являются многолетники – 53,9 %. Высокая доля двулетников, однолетников и однолетников/двулетников (31,0 %) указывает на неудовлетворительное экологическое состояние городских экосистем [3].

В защитную зону водохранилища входят частично или полностью леса Воронежского, Новоусманского и Сомовского лесхозов, а также учебно-опытного лесхоза ВГЛТА.

Общая площадь земель этих хозяйств в пределах рассматриваемой территории равна 36 999 га, из которых 91,8 % приходится на лесную площадь. Лесная площадь, покрытая лесом, составляет 32 071 га (86,7 %), что определяет высокую лесистость данной территории – 36,1 %. Не покрытые лесом площади в виде редин, гарей, погибших лесонасаждений, пустырей, прогалин и необлесившихся лесосек насчитывают 1054 га, что указывает на резервы облесения, которые имеются в пределах водосбора.

Почти на всем протяжении высокого правобережья водохранилища произрастает естественный лес, хорошо защищающий берега от аб-



разии при волновой переработке и от эрозии во время ливневого и весеннего стоков [5].

Сам город и система его озеленения развивались постепенно. На основании схемы территориального развития Воронежа можно выделить следующие этапы его строительства: древний город, регулярный город, Акатово, пригородные поселения, городские районы [7].

Воронеж – старый русский город, однако его историческая застройка волею судьбы к настоящему времени оказалась во многом полностью утраченной или значительно перестроенной.

Усадьбы воронежской знати рассредоточены по разным районам старого города, однако большее их число возведено на Большой Дворянской линии, Большой Московской линии, Садовой и в новых кварталах.

Городскую застройку этого периода можно проследить на плане – «Уменьшенный план усадебной земли губернского города Воронежа 1851–1852 гг.». План отображает всю городскую планировочную структуру, разбитую на множество кварталов, на многие участки, занимаемые зданиями и сооружениями общественного назначения, монастырями, церквями и жилыми усадьбами.

Общее количество дворовых участков – 2951 усадьба. Средняя площадь одной усадьбы была 1340 м, или 13,4 сотки.

Старая историческая часть города, особенно по склонам прибрежных холмов, несмотря на некоторые потери жилого фонда, связанные с войной 1941–1945 гг., в значительной степени сохранили ткань дореволюционной усадебной застройки.

В целом усадебная застройка на склонах правобережья вплоть до конца 1980-х годов занимала доминирующее положение и мало чем изменилась за полтора столетия [10].

Православные храмы в дореволюционной России играли важную роль в духовной и нравственной жизни народа [4]. Не был исключением из этих правил и Воронеж. Церкви в его пределах строились в течение XVI–XX веков, сохранившиеся каменные здания лишь на столетие моложе самого города.

Помимо того, что они являлись организующим ядром своего прихода, им принадлежала определяющая роль в формировании архитектурного облика правобережного Воронежа.

В прежнем Воронеже с населением в 100 тыс. человек имелось семнадцать приходс-

ких, три кладбищенских и пять монастырских храмов – всего 25 церквей. Еще пять приходов были в пригородных слободах Чижовки, Монастыщенске, Придаче, селе Отрожка.

Во второй половине XVIII века в пяти верстах от центра Воронежа был построен деревянный дом рядом с церковью Святого духа на терновой поляне. Это была летняя резиденция главы епархии, дача епископа. Вокруг дома постепенно вырос парк, и местность получила название Архирейской рощи. В архирейской обители с 1784 по 1786 г. проживал последний крымский хан Шагин-Гирей, отрекшийся от престола в пользу Российской империи [1, 2].

Администрация Воронежской области в 1951 г. передала в ведение Воронежского областного управления лесного хозяйства городские земли на площади 6039 га для создания зеленых насаждений вокруг г. Воронежа с целью закрепления песков и оврагов и организации на базе этого лесопарков как основы для культурного и полноценного отдыха населения в природной обстановке.

На данной территории было проведено комплексное агролесомелиоративное обследование и намечены следующие мероприятия:

- сплошное облесение песков;
- посадка защитных лесных насаждений;
- облесение существующих оврагов и балок.

Для проведения вышеперечисленных видов работ были составлены схемы посадки и подобран ассортимент древесных и кустарниковых растений.

Эти работы были проведены в период с 1951 по 1955 гг. Существующие насаждения являются основой «зеленого кольца» г. Воронежа.

Последний генеральный план г. Воронежа, принятый еще в 1971 г., имеет ряд недостатков в разделе «Озеленение», которые нашли отражение в выводах данного документа:

1. Существующая застройка, сложившаяся в результате отсутствия четкого функционального зонирования, имеет серьезные недостатки в своей планировочной организации.

2. Сложившиеся районы концентрации промышленных предприятий и складов организовались стихийно, без учета санитарных разрывов от жилых кварталов, которые во многих случаях вклиниваются между промышленными предприятиями.

3. Разобщенность зеленых насаждений, отсутствие единой непрерывной системы озеленения является существенным недостатком в озеленении города.

В настоящее время г. Воронеж является крупным промышленным, научным и культурным центром России. Современная система озеленения города включает и парковый комплекс [8].

Парковый комплекс г. Воронежа разрабатывался в соответствии с современными градостроительными принципами создания благоустроенной городской среды, формирующейся на территории города и его зеленого пояса единой системы озеленения, способствующей улучшению функционально-планировочных, санитарно-гигиенических, рекреационно-оздоровительных и архитектурно-художественных качеств.

Территориальный парковый комплекс проектировался на базе МП «Центральный парк», дендрария НИИЛГиС, Ботанического сада ВГУ, землях лесопитомника «Новый» и прилегающих территориях [9].

Такая система создает единую структурно-планировочную организацию зеленых насаждений.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Система озеленения города Воронежа формировалась в течение длительного исторического периода, что повлияло на расположение различных объектов озеленения в историческом центре города, которые были созданы в XVII–XIX вв. и были подвергнуты многократной реконструкции и благоустройству.

2. Ландшафтно-планировочная организация территорий усадеб г. Воронежа на протяжении XVIII–XIX веков эволюционно развивается от допетровских канонов до новых традиций, в

период барокко, эпоху классицизма, времена эклектики и модерна.

3. Усадебная архитектура Воронежа как одного из крупнейших Российских губернских центров использовала лучшие образцы столичных городов, Москвы и Санкт-Петербурга, для благоустройства и озеленения усадеб в историческом центре города.

4. Основой планировочного каркаса города, системы озеленения должны стать реки Дон, Воронеж, Усманка и Воронежское водохранилище, что позволит усилить защиту водных акваторий и самих зеленых насаждений, повысить рекреационные качества природно-территориальных комплексов.

#### Библиографический список

1. Акиннин, А.Н. Храмы Воронежа / А.Н. Акиннин. – Воронеж: ВГУ, 1994. – 214 с.
2. Алексеево-Акатов женский монастырь. – М.: ООО «Аванти», 2003. – 144 с.
3. Биоразнообразие города Воронежа / Под ред. проф. О.П. Негрובה. – Воронеж: ВГУ, 2004. – 98 с.
4. Воронежский край XVIII века в описаниях современников. Серия «Земля Воронежская. Страницы истории». Составитель В.П. Загоровский. – Воронеж: Центр.-Чернозем. изд-во, 1992. – 256 с.
5. Воронежское водохранилище: комплексное изучение, использование и охрана / В.М. Мишон, Т.В. Склярова, Г.С. Пашнев и др. – Воронеж: ВГУ, 1986. – 188 с.
6. Загоровский, В.П. Воронежский край с древних времен до конца XVII века. Документы и материалы по истории края / В.П. Загоровский. – Воронеж: ВГУ, 1976. – 192 с.
7. Историко-культурное наследие города Воронежа. – Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2000. – 576 с.
8. Кругляк, В.В. Ландшафтное проектирование садов и парков Центрально-Черноземного региона / В.В. Кругляк. – Воронеж: ВГЛТА, 1999. – 172 с.
9. Кругляк, В.В. Зональные особенности паркостроения / В.В. Кругляк, Е.В. Золотарева. – Воронеж: ВГЛТА, 2003. – 196 с.
10. Митин, В.А. Усадьбы города Воронежа XVIII, XIX, XX веков / В.А. Митин. – Воронеж: Никитинское, 2004. – 224 с.
11. Проторчина, В.М. Воронежский край в XVIII веке. Документы и материалы по истории края / В.М. Проторчина. – Воронеж: ВГУ, 1980. – 176 с.

## ПЕРЕДВИЖНАЯ СИСТЕМА МАШИН ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

М.В. ГОМОНАЙ, «НПВП-Лестехника», д-р техн. наук,

В.Д. НИКИШОВ, проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ

Организация процесса комплексной переработки древесины на лесосеке – одно из перспективных направлений, в особенности для малых и средних предприятий. Строить нижние склады и цеха по переработке древесного сырья с инженерными коммуникациями – дорогостоящее мероприятие. Кроме этого, вывозить из леса готовую продукцию или полуфабрикат экономически более выгодно: увеличивается коэффициент загрузки транспортных средств с 0,67 (круглый лес) до 1,0 (пиломатериал). Вывозка отходов, коэффициент полндревесности у которых очень низкий (например, для сучьев, веток  $K = 0,12$ ; вершинки  $K = 0,30$ , обрезки стволов и бревен  $K = 0,40$ ), вызывает ряд технологических и экономических трудностей. Поэтому в большинстве случаев отходы остаются на лесосеке и сжигаются.

Для переработки древесного сырья на лесосеке может быть использована передвижная система машин в составе:

- агрегат КАНТ-2М для переработки пиловочника;
- агрегат УПФП-1М для переработки тонкомера;
- машина МРПГ-3 для подтрелевки (сбора) и измельчения лесосечных отходов;
- навесное технологическое оборудование НТО-1 для распиловки и раскалывания древесины с приводом от трактора МТЗ;
- передвижная установка ППУ-1А для выработки хвойного масла из древесной зелени;
- передвижная углевыжигательная печь УВП-5А для выработки древесного угля;
- для использования шишек в качестве сырья для получения хвойных семян – машина передвижная ШП-0,06 (шишкосушилка) и машина МОС-1 А.

Выбор состава и количества оборудования зависит от объема лесозаготовок и номенклатуры вырабатываемой продукции. В качестве силовой базы для привода рабочих механизмов оборудования используется колесный трактор МТЗ-82, дизель станция ЭСД-75 и гусеничный трактор ТДТ-55А.

В моделях агрегатов УПФП-1М, МРПГ-3, НТО-1 применяется трактор МТЗ, и при объемах переработки древесины до 10 тыс. м<sup>3</sup> он один обеспечивает работу комплекса оборудования, при этом агрегаты подключаются к трактору МТЗ поочередно по мере накопления на площадке того или другого вида сырья.

### Конструкции агрегатов, их характеристики и принцип работы

1. Агрегат КАНТ-2М предназначен для продольной распиловки бревен на пилопродукцию, для оцилиндровки бревен с нарезанием угловых «чашек» и продольного паза (рис. 1) [патент РФ № 2009885].

Для привода рабочего органа используется передвижная электрическая станция ЭСД-75 с дизель-электрическим агрегатом АД.75-Т/400 на двухосном прицепе типа МАЗ-5207В или стационарный источник энергии напряжением 380 В.

#### Техническая характеристика агрегата КАНТ-2М:

– диаметр обрабатываемых бревен, см	14–65
– длина бревен, м	1,5–7,5
– производительность: при распиловке бревен	до 12 бревен в час
при оцилиндровке бревен	до 7 бревен в час
– размеры изготавливаемого бруса, сечение, мм	от 150 × 150 до 320 × 320
– толщина обрезной и необрезной доски, мм	20, 35, 40
– диаметр оцилиндрованных бревен, мм	160–250
– длина оцилиндрованных бревен, мм	2000–6300
– общая установленная мощность, кВт, в т.ч. на привод пил (фрез)	65 4 × 11 кВт
– время приведения агрегата в рабочее положение, мин	30
– скорость транспортировки по автодорогам, км/ч	40
– скорость подачи каретки, м/мин: при распиловке бревна, при оцилиндровке	9 7
– скорость вращения шпинделей пил и фрез, мин <sup>-1</sup>	3000
– число пил и их диаметр, шт/мм	4/ 360–400
– масса, кг	5700
– габариты, м (ширина, высота, длина)	2,5 × 3,38 × 12,95

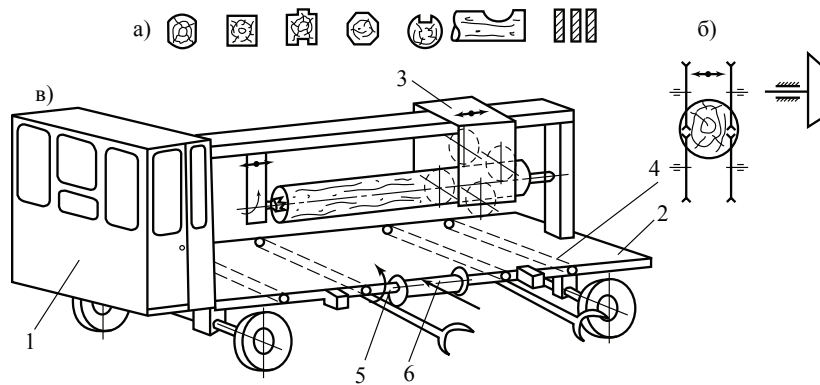


Рис. 1. Передвижной агрегат (лесозавод) КАНТ-2М: а – выполняемые технологические операции; б – схема механизмов резания; в – общий вид; 1 – кабина оператора; 2 – платформа; 3 – механизм обработки; 4 – конвейер; 5 – лебедка; 6 – механизм загрузки.

Агрегат КАНТ-2М смонтирован на двухосной колесной платформе с тормозной системой и огнями дорожной сигнализации, что позволяет перемещать его по автодорогам на расстояние 500 км и более с одного места работы на другое тягачом (КРАЗ, КАМАЗ и др.).

Агрегат КАНТ-2М обрабатывает древесину хвойных и лиственных пород без ограничения влажности, делает оцилиндровку бревна, выполняет соединительные угловые врубки, выбирает четверть для изготовления деталей домостроения.

Если бревна имеют снаружи слой, зараженный радионуклидами или гнилой, то агрегат может снять этот слой, т.е. появилась возможность вовлекать в производство ранее не используемую древесину.

При обработке бревно в агрегате фиксируется по торцам, в т.н. центрах, по оси бревна. Механизм резания (обработки) выполнен навесным в виде каретки, движущейся на роликах по направляющей, что обеспечивает хорошую точность и качество выпиливаемой продукции.

Установка пил на необходимый размер доски производится ступенчато с помощью шаблона. Всего на шаблоне имеется 8 ступеней, каждая ступень контролируется своим конечным выключателем.

В комплект поставки входит несколько типоразмеров шаблонов, что позволяет выпилить доску разной толщины.

На платформе агрегата также размещен поперечный цепной конвейер с приводом от мотор-редуктора. Конвейер служит для выноса готовой продукции из зоны обработки и удаления отходов. Выгрузка готовых изделий производится со стороны, противоположной загрузке бревен в центре агрегата.

Благодаря установке пил малого диаметра (до 400 мм) объем опилок незначительный. Пилы размещены симметрично продольной оси бревна по две в одной горизонтальной плоскости (друг над другом). Распиловка бревна производится одновременно с двух сторон по отношению к продольной оси бревна. Бревно зажато в двух центрах, а каретка перемещается вдоль него, пиление происходит при движении каретки вперед и назад. Шпиндели центров поворотные (на 30°, 60°, 90°, 180° и 360°) и могут вращаться со скоростью 100 мин<sup>-1</sup>.

Управление агрегатом КАНТ-2М производится из кабины оператора с единого пульта. Кабина оператора расположена на торце платформы. Обслуживают агрегат 3 рабочих.

### Порядок работы агрегата КАНТ-2М

Агрегат КАНТ-2М размещается на ровной площадке. Тягач отцепляется, а платформа устанавливается на ручной тормоз. С помощью винтовых опор агрегат выставляется по уровню. Затем производят его заземление. Сопrotивление заземления должно быть не более 25 Ом. Заземлители устанавливаются на расстоянии 2,5 м друг от друга и соединяются между собой и с рамой агрегата (кабелем КГ.1.10 ГОСТ 13497). Со стороны клещевого захвата устанавливают наклонно два бруса сечением 120 × 120 или бревна диаметром 180 мм, которые одним концом опираются на платформу. Механический гидрозхват забирает из штабеля бревно (вылет 1,5 м) и подает его в центры. Регулировка высоты подъема бревна по отношению к центрам производится гидроцилиндрами. Для более точного совпадения продольной оси бревна и оси центров в действие вступают ролики, которые с помощью рычагов и цилиндра, через шарниры,



поворачиваются и могут поднимать или опускать конец бревна. Кроме этого, ролики служат для поддержания отпиливаемой части бревна, что исключает излом или скол отпиливаемой части.

2. Агрегат УПФП-1М предназначен для переработки круглых тонкомерных бревен на обрезной пиломатериал за один проход бревна (рис. 2), [патент РФ № 2060875]. Привод рабочих органов агрегата осуществляется от вала отбора мощности трактора МТЗ-82 посредством карданной передачи и редуктора. Агрегат расположен на одноосном колесном прицепе и транспортируется по автодорогам тягачом любого типа, в т.ч. и трактором МТЗ. Транспортное положение агрегата – трактор спередини, в рабочем положении – трактор размещается перпендикулярно к продольной оси агрегата.

*Техническая характеристика агрегата УПФП-1М:*

– размеры обрабатываемых бревен:	
длина, мм	80–240
длина, м	1,5–4,5
– скорость подачи, м/мин	2–8
– диаметр цилиндрических фрез, мм	250
– частота вращения фрез, об/мин, не менее	1000
– число пил, шт	до 5
– диаметр пил, мм, max	450
– частота вращения пил, мин <sup>-1</sup> , не менее	1700
– масса, кг	4000

Агрегат УПФП-1М включает в себя следующие узлы: самоцентрирующийся механизм загрузки 1, фрезерный блок 2 из двух горизонтальных фрез, механизм подачи 3 роликового типа, пильный блок 4, приемный роликовый стол 5 и гидростанция с насосом НШ-32У-Л.

Механизм загрузки 1 состоит из горизонтальных двухконических роликов (2 пары), которые могут перемещаться в вертикальной плоскости с помощью гидроцилиндров (один на пару роликов), а также из вертикальных двухконусных роликов (2 пары), перемещающихся в горизонтальной плоскости. Вертикальные ролики установлены на каретках на горизонтальных трубчатых направляющих, симметрично оси загрузки. Ролики (каждая симметричная пара) соединены между собой с помощью гидроцилиндра и пружины сжатия. Для обеспечения равномерности хода роликов каждой пары в горизонтальной плоскости каретки этих роликов соединены качающейся кулисой с центром качения на продольной оси загрузки. Благодаря двухконусности вертикаль-

ных роликов бревно всегда самоустанавливается в горизонтальном положении.

Для приема бревна на горизонтальные ролики вертикальные ролики разводятся в крайнее положение от продольной оси загрузки. Подача бревна может производиться вручную или гидроманипулятором, установленным на тракторе. С помощью гидроцилиндров горизонтальные ролики с бревном выверяются в вертикальной плоскости (ориентировочно), после чего поступает команда на гидроцилиндры перемещения вертикальных роликов, и они начинают сходиться. Бревно, зажато вертикальными роликами, подается в зону обработки. Несмотря на сбежитость бревна, ролики постоянно прижимаются к нему с помощью пружины. С целью повышения выхода продукции бревна предварительно подсортировываются по диаметру. Для каждой группы диаметров вертикальные ролики устанавливаются на необходимую высоту с помощью втулок. Высота роликов связана с уровнем установки нижней фрезы, причем сама фреза установлена стационарно. Это позволяет срезать с бревна слой древесины одинаковой толщины как снизу, так и сверху. В результате снижаются потери древесины.

Фрезерный блок выполнен из 2-х цилиндрических фрез диаметром 250 мм, установленных консольно на горизонтальных валах, сверху и снизу по отношению к оси загрузки. Верхняя фреза имеет возможность перемещаться в вертикальной плоскости с помощью передачи «винт-гайка» по направляющим типа «ласточкин хвост». Привод фрез осуществляется с помощью карданных передач.

В корпусе каждой фрезы перед каждым режущим ножом может устанавливаться надрезатель гребенчатого вида, который надрезает слой снимаемой древесины вдоль волокон на глубину до 2 мм. При срезании такого слоя стружка по ширине делится на части, т.е. образуется щепка. Выступ надрезателей над корпусом фрезы не более 2 мм. За каждой фрезой установлена опорная площадка, которая может перемещаться в вертикальной плоскости, а за верхней фрезой еще и резиновый щиток для сброса стружки и опилок с бревна.

Пильный блок УПФП-1М приводится в движение с помощью клиноременной передачи, расстояние между пилами регулируется прокладками (шайбами). За каждой пилой установлен расклинивающий нож, толщиной не более ширины пропила. Для каждого постава пил имеется свой съемный стол с прорезями.

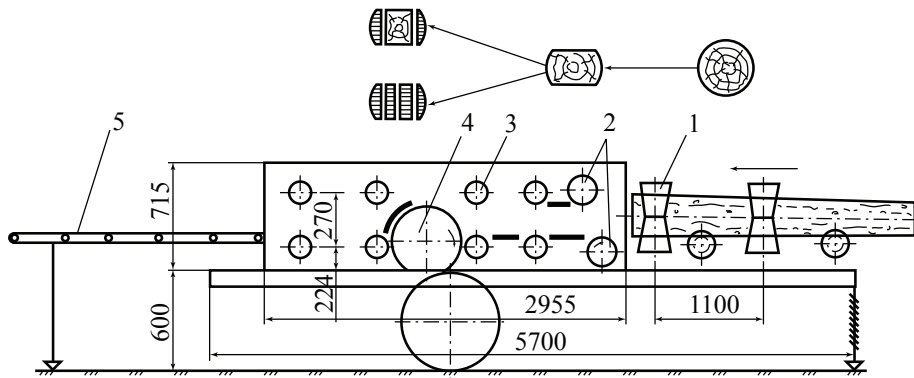


Рис. 2. Агрегат передвижной фрезерно-пильный УПФП-1М: 1 – механизм загрузки; 2 – фрезерный блок; 3 – механизм подачи; 4 – пильный блок; 5 – роликовый стол

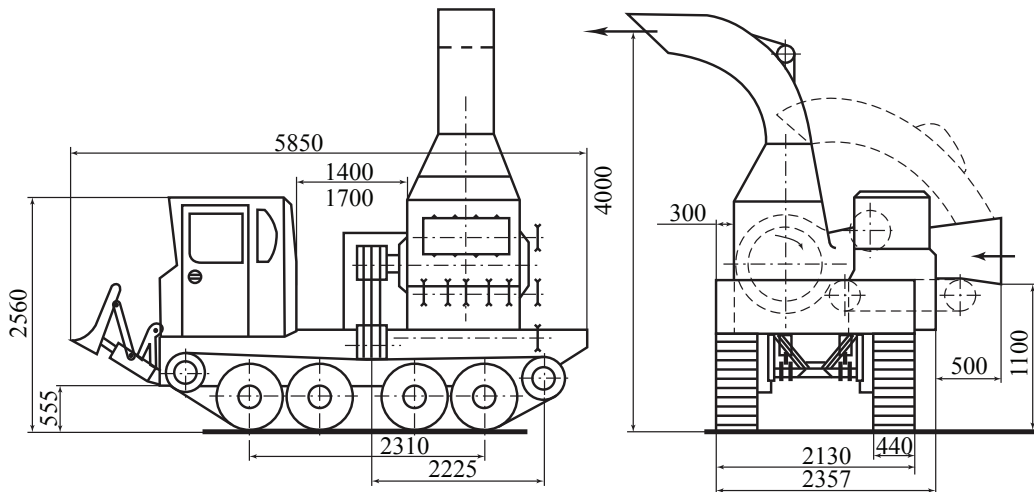


Рис. 3. Самоходная рубильная машина МПРГ-3 барабанного типа на базе трактора ТДТ-55А

После фрез полученный двухкантный брус подается к пильному блоку цилиндрическими роликами (2 верхних и 2 нижних), которые устанавливаются как перед пильным блоком, так и после него, причем ряд нижних роликов установлен стационарно на одном уровне, а верхние могут перемещаться в вертикальной плоскости. Все ролики приводные. Верхний ролик перед пилами имеет конусообразную поверхность, что позволяет центрировать бревно в горизонтальной плоскости.

### Принцип работы УПФП-1М

Агрегат транспортируется к месту работы (лесосека, склад и пр.) и размещается на ровной площадке. Трактор отцепляется, при этом один конец агрегата опирается на выдвижной аутригер. Затем трактор подключается к агрегату через карданный вал.

Агрегат настраивают на заданную продукцию (доски или брус необходимых размеров). Из кабины трактора МТЗ-82 включают вал отбора мощности, при этом приходят в движение фрезы

и пилы. Управление подачи бревна производится с помощью гидрораспределителя.

Бревно подается в механизм загрузки комлем вперед, там оно центрируется и направляется к фрезерному блоку. Фрезы снимают с бревна горбыльную часть, и полученный полубрус поступает на распиловку.

Все эти операции происходят одновременно, т.е. бревно полностью перерабатывается за один цикл его подачи. На агрегате может вырабатываться брус сечением 100 × 100 мм и менее, доска обрезная толщиной 25, 30, 40 и 50 мм. Обслуживают агрегат 3 рабочих. Сменная производительность по сырью в условиях Собинского ЛК составляет 15–18 м<sup>3</sup>.

Как вариант УПФП-1М может быть выполнен и с электроприводом как в передвижном, так и в стационарном исполнении.

Кроме лесных предприятий, агрегат может быть использован для переработки древесины при прокладке через лесной массив линий электропередач, нефте- и газопроводов, а так-

же при проведении в лесонасаждениях рубок ухода.

Для переработки лесосечных отходов на щепу в данной системе машин может быть использована самоходная рубильная машина МРПГ-3 или МРГС-5. Машина МРПГ-3 имеет возможность собирать (трелевать) отходы в радиусе 50 м и их измельчать. Машина МРПГ-3 может быть смонтирована на тракторе (самоходная (рис. 3) или в прицепном варианте с приводом от трактора МТЗ-82. Такая конструкция машины позволяет использовать трактор и для других производственных целей, так как при отсутствии отходов трактор отцепляется и направляется на другие работы.

С целью увеличения размеров грузочного патрона рубильной машины рабочий орган выполняют многолезцовым (применен полузакрытый вид резания).

*Техническая характеристика машины МРПГ-3:*

– размеры грузочного патрона, мм, (ширина × высота)	500 × 350
– рабочий орган	многолезцовый барабан
– диаметр барабана, мм	800
– частота вращения барабана, мин <sup>-1</sup>	500
– количество лезцов на барабане, шт	8
– скорость подачи сырья, м/мин	30
– производительность, пл.м <sup>3</sup> /ч	3
– выполняемые операции:	измельчение, подтрелевка
– масса машины без трактора, кг	3000

В качестве режущего инструмента используются резцы (угол заточки 32°) размером 132 × 120 × 15 мм, которые расположены на барабане ступенчато. Длина щепы устанавливается величиной выступа резцов. Механизм подачи состоит из 5-цепного конвейера и прижимного приводного верхнего вальца. На ведомом валу конвейера установлен барабан с канатом. В корпусе машины размещены два контрножа, а также предусмотрена решетка (ячейки диаметром 50 мм).

**Принцип работы машины МРПГ-3**

Машина на лесосеке размещается вблизи собранных отходов, которые для удобства погрузки щепы в автощеповоз ЛТ-7А или ТМ-12 размещены возле лесовозной дороги.

Загрузка отходов в машину производится вручную. Подтрелевка отходов к машине осуществляется лебедкой, установленной на ме-

ханизме подачи. Размотка каната производится включением конвейера подачи «назад». Канат диаметром 8–10 мм вручную доставляется к отходам, которые чокеруются и включением конвейера «вперед» – трелюются. У машины канат отцепляют и фиксируют на барабане, а отходы загружают в рубильную машину. Щепу с помощью вентилятора удаляют в щеповоз.

Машина МРПГ-3 (самоходное исполнение) самостоятельно перемещается по лесосеке и измельчает отходы, разбрасывая их по делянке. В период распутицы, а также в зимний сезон, щепу может укладываться в колею лесовозной дороги. Это позволяет повысить проходимость дорог.

При измельчении лесосечных отходов и тонкомера в этой машине получают щепу, как показали испытания, следующих размеров: длина – 13,63 мм (разброс 10–22 мм), ширина – 16,67 мм (разброс 8–30 мм) и толщина – 2,9 мм (разброс 1,9–5,5 мм). Выступ резцов составлял 10 мм, температура воздуха –5–7°.

Частицы щепы для замеров брались из сортирующей установки СЦ-120 с диаметром 20 и 10 мм. В щепе из березы с кроной объем крупной фракции составил 13,8 %, а при измельчении сучьев, веток – 19,3 %. При измельчении стволовой части древесины (сосна диаметром 10 см) объем крупной фракции составил 4,6 %. Выход щепы нормальной фракции также зависит от вида сырья и находится в пределах 66,3–81,7 %.

Переработка низкосортной древесины на дрова, баланс, в т.ч. колотый, столбы, лаги и пр., а также на сырье для углежжения может производиться на передвижном агрегате НТО-1 (рис. 4).

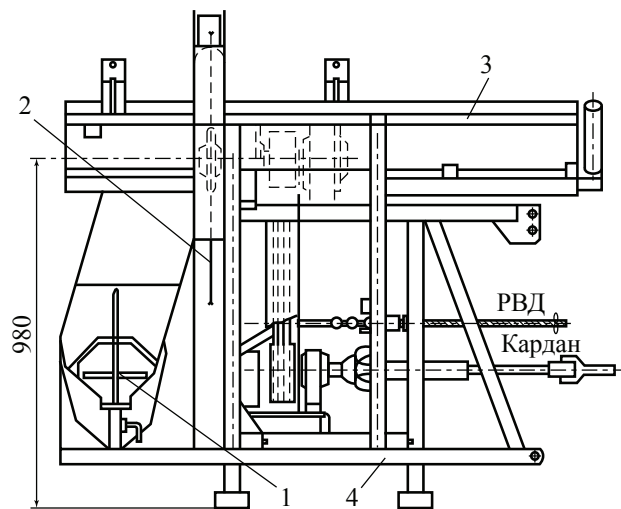


Рис. 4. Навесное технологическое оборудование НТО-1: 1 – колун; 2 – пильный механизм 3 – стол; 4 – рама

Оборудование агрегата навесное, монтируется на заднюю подвеску трактора МТЗ-82 и включает в себя раму, пильный узел и станок для раскалывания чураков.

Простота конструкции оборудования позволяет без лишних затрат времени отключить агрегат от трактора, а сам трактор использовать и для других целей.

Привод пилы осуществляется от вала отбора мощности трактора через карданный вал, а привод гидроцилиндра колуна – от гидросистемы трактора. Круглая пила диаметром до 800 мм

имеет качающийся стол с фиксатором длины отпиливаемой части бревна. Пила вращается со скоростью 1000 мин<sup>-1</sup>. Ниже стола пилы находится приемный лоток раскалывающего станка. Сменная производительность агрегата 3–4 м<sup>3</sup>. Диаметр раскалываемого чурака 250 мм, длина чураков – до 600 мм. Масса агрегата – 320 кг. Обслуживается агрегат 2 рабочими.

Предложенная система машин впервые позволяет производить готовую продукцию на лесосеке и вовлекать в производство отходы лесозаготовок и низкокачественную древесину.

## РЕЙСОВАЯ НАГРУЗКА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

С.Б. ЯКИМОВИЧ, *проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ, д-р техн. наук,*

М.А. ТЕТЕРИНА, *соискатель каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ*

Для интенсификации лесосечных работ необходимо обеспечить полную загрузку машин и механизмов как на отдельных операциях технологического процесса, так и в целом. Степень загрузки оборудования оценивается соответствующими операционными характеристиками потоков предмета труда, которые зависят от нагрузки на рейс транспортных и трелевочных машин (ТТМ). Нагрузка на рейс ТТМ определяется объемом пачки и может рассматриваться как перемещаемый запас. Обусловлено это тем, что интенсивность поступления предмета труда лесозаготовок (дереьев, хлыстов, сортиментов) после обрабатывающих операций в виде ординарного потока (индивидуально) существенно выше, чем интенсивность подобного же потока после трелевочных или транспортных операций по причине перемещения на более значительное расстояние. В этой связи при транспортировке поштучно с существующей скоростью и прочих неизменных условиях разность интенсивностей привела бы к наращиванию запаса на переходе от обрабатывающих к транспортно-трелевочным операциям. Для устранения подобного явления трелевочно-транспортные машины преобразуют индивидуальный поток в групповой посредством формирования и перемещения запаса в виде пачек определенного объема. Необходимая величина такого запаса, или рейсовой нагрузки, определяется стохастичностью технологического процесса лесосечных работ на смежных операциях – обра-

батывающих (валка, обрезка сучьев, раскряжевка) и транспортно-трелевочных. Таким образом, изменяя рейсовую нагрузку ТТМ, можно обеспечить максимальную загрузку оборудования на смежных операциях технологического процесса лесосечных работ. Особенно это актуально для весьма дорогостоящих комплектов машин типа «харвестер-форвадер»

Проведенный анализ информации по классификации запасов в лесной отрасли [1, 3] позволяет сделать заключение об отсутствии классификационного признака перемещаемого запаса в виде рейсовой нагрузки ТТМ, а также об отсутствии подхода к оптимизации рейсовой нагрузки ТТМ как перемещаемого запаса посредством методов и моделей теории массового обслуживания.

Целью работы, представляемой в данной публикации, является повышение эффективности функционирования обрабатывающе-переместительных комплектов машин на смежных операциях технологического процесса лесозаготовок по критерию минимума простоев (максимальной загрузки). В качестве примера рассматривается комплект лесосечных машин.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- разработка общей модели на основе теории массового обслуживания;
- наблюдения и обработка результатов на предмет получения средних значений и законов распределения потоков заявок;



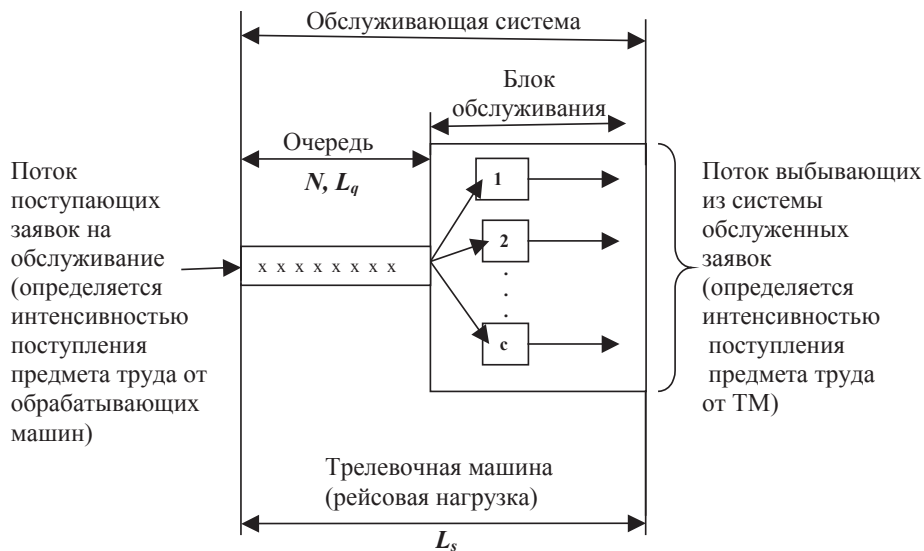


Рис. 1. Общий вид модели СМО

– обоснование и оценка адекватности типовых моделей СМО и расчет по ним.

**Разработка общей модели**

Для анализа стохастического процесса валки, обрезки сучьев – трелевки [4] и расчета нормативной рейсовой нагрузки ТТМ применялись формальные методы и модели, основанные на теории массового обслуживания. Общий вид модели СМО применительно к объекту моделирования представлен на рис. 1. Основными элементами СМО [2, 4–6] являются:

- поток поступающих заявок на обслуживание (определяется интенсивностью поступления деревьев, хлыстов, сортиментов в зону обслуживания ТТМ);
- поток выбывающих из системы обслуженных требований (определяется интенсивностью доставки ТТМ деревьев, хлыстов, сортиментов на погрузочный пункт, верхний склад);
- обслуживающая система (ТТМ), включающая в себя очередь заявок (блок ожидания) и блок обслуживания.

Потоки заявок на обслуживание и обслуженных заявок характеризуются интенсивностью поступления заявок  $\lambda$  и интенсивностью (производительностью) обслуживания  $\mu$ . Отношение  $\lambda/\mu = \rho$  характеризует степень загрузки системы.

Транспортно-трелевочная машина рассматривается как обслуживающая система. Нормативная нагрузка на рейс ТТМ может рассматриваться как максимальное число заявок  $N$ , допускаемых в систему, количество  $c$  параллельных каналов обслуживания, среднее число заявок

в системе –  $L_s$  или в очереди –  $L_q$ . Вместимость блока ожидания (длина очереди) может быть бесконечной или ограниченной (максимальное число заявок, допускаемых в систему, может ограничиваться величиной  $N$ ). Блок обслуживания может иметь от 1 до  $c$  параллельных каналов обслуживания. Кроме того, обслуживающая система характеризуется средним количеством заявок в системе –  $L_s$  и в очереди –  $L_q$ .

Для определения рейсовой нагрузки ТТМ, обеспечивающей максимальную загрузку оборудования на смежных операциях технологического процесса лесосечных работ, в качестве потока заявок на обслуживание рассматривается поток деревьев (хлыстов, сортиментов), поступающих в зону обработки ТТМ. Зона обработки определяется площадью, охватываемой собирающим устройством ТТМ. Поток выбывающих требований представляет собой поток деревьев (лесоматериалов), доставленных ТТМ на погрузочный пункт (верхний склад).

Таким образом, из изложенного следует, что нормативная нагрузка на рейс ТТМ может быть представлена как движущаяся система массового обслуживания и ее можно определить как  $N, c, L_s$  или  $L_q$  на различных типах моделей с учетом стохастичности процесса лесосечных работ.

При этом под нормативной нагрузкой на рейс ТТМ понимается определенная посредством теории массового обслуживания оптимальная нагрузка на рейс (расчетная вместимость), обеспечивающая максимальную загрузку комплекта машин. В качестве фактической нагрузки на рейс ТТМ рассматривается среднее значение объема

пачки, перемещаемой ТТМ, которое может быть получено при нормативной нагрузке.

Для решения поставленной задачи могут быть рассмотрены три типовые модели СМО [4]:  $(M/M/1):(GD/\infty/\infty)$ ,  $(M/M/1):(GD/N/\infty)$ ,  $(M/M/c):(GD/\infty/\infty)$ .

Модель  $(M/M/1):(GD/\infty/\infty)$  имеет один канал обслуживания, произвольную дисциплину очереди, блок ожидания и источник заявок неограниченной емкости. В качестве фактической нагрузки на рейс ТТМ при использовании модели данного типа рассматривается параметр  $L_s$  – среднее число заявок в системе. Для этой модели нет возможности определить нормативную нагрузку на рейс ТТМ, и она принимается равной  $L_s$ .

Модель  $(M/M/1):(GD/N/\infty)$  имеет один канал обслуживания, произвольную дисциплину очереди, источник заявок неограниченной емкости, а также характеризуется тем, что максимальное число допускаемых в систему заявок равно  $N$ . При использовании модели  $(M/M/1):(GD/N/\infty)$  необходимо сделать допущение, что максимальное число заявок, допускаемых в систему, ограничивается  $N$  и каждая  $(N + 1)$ -ая заявка не присоединяется к очереди и покидает систему. Для реальной системы это условие не выполняется: если нормативная нагрузка на рейс ТТМ ограничивается, например значением  $10 \text{ м}^3$ , то это не значит, что каждый 11-й  $\text{м}^3$  не будет поступать в зону обслуживания ТТМ. В качестве нормативной нагрузки на рейс при использовании модели данного типа рассматривается параметр  $N$ , а в качестве фактической –  $L_s$ .

Модель  $(M/M/c):(GD/\infty/\infty)$  имеет  $c$  каналов обслуживания, произвольную дисциплину очереди, блок ожидания и источник заявок неограниченной емкости. При использовании этой модели делается предположение, что заявки обрабатываются параллельно в течение всего времени обслуживания, хотя для реальной системы это не всегда выполняется. Например, при сборе пачки форвадер может рассматриваться как система с одним каналом обслуживания, в котором обрабатывается по одному сортименту, а при транспортировке – как система с  $c$  каналами. В качестве нормативной нагрузки на рейс ТТМ при использовании модели данного типа рассматривается параметр  $c$  – количество параллельных каналов обслуживания (соответствует  $c$  сортиментам в пачке), а в качестве фактической –  $L_q$ . При этом целью оптимизации является отыскание такой на-

грузки на рейс ТТМ, при которой длина очереди в расчете на один канал равна одной заявке или очередь отсутствует ( $0 \leq L_q \leq 1$ ).

Все модели характеризуются экспоненциальными законами распределения интенсивности потоков заявок на обслуживание и обслуженных заявок.

### Проведение наблюдений и методика обработки результатов

Для проверки выдвинутого теоретического положения проведены наблюдения. Наблюдения проводились в июле-августе 2004 г. в квартале 38 лесосырьевой базы Устье-Кундышского лесничества Куярского лесхоза. Состав древостоя – 8С2Б, площадь делянки – 22,7 га, средняя высота древостоя – 21 м, средний диаметр – 24 см, тип леса – сосняк майниково-брусничный (Смбр), ликвидный запас –  $280 \text{ м}^3/\text{га}$ . В результате анализа наблюдений за работой бензиномоторной пилы «Husqvarna» на валке и обрезке сучьев и трелевочного трактора ТДТ-55 установлено:

- поток хлыстов после обрезки сучьев имеет экспоненциальное распределение при среднем значении интервала времени между последовательными поступлениями хлыстов – 198 с и средней интенсивности поступления – 0,005 хлыстов/с;

- продолжительность трелевки подчиняется экспоненциальному закону со средним значением 268 с на один хлыст и средней интенсивности – 0,0037 хлыстов/с;

- объем хлыста имеет нормальное распределение со средним  $0,82 \text{ м}^3$ .

Гистограммы частот и законы распределения интервалов времени между последовательными поступлениями хлыстов, продолжительности трелевки, отнесенные на 1 хлыст, и распределение для объема хлыста представлены на рис. 2, 3, 4.

Методика обработки результатов наблюдений представлена в [6]. В связи со значительными объемами выборок результаты наблюдений обрабатывались с использованием прикладного программного обеспечения, реализующего эту же методику.

### Определение операционных характеристик и анализ результатов наблюдений и моделей СМО

По итогам обработки наблюдений установлено следующее.

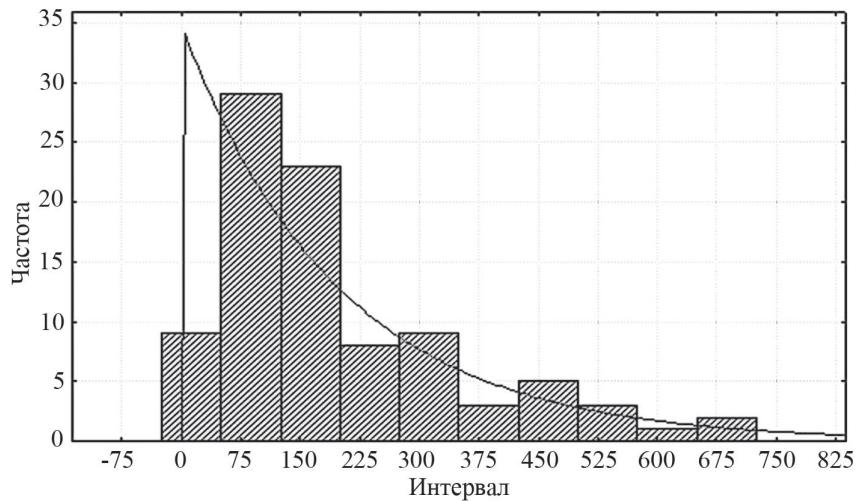


Рис. 2. Гистограмма частот и закон распределения интервалов времени между последовательными поступлениями хлыстов. Переменная: интервал между поступлениями хлыстов; распределение: экспоненциальный закон. Хи-квадрат – 18,17162; число степеней свободы – 10; уровень значимости – 0,05214

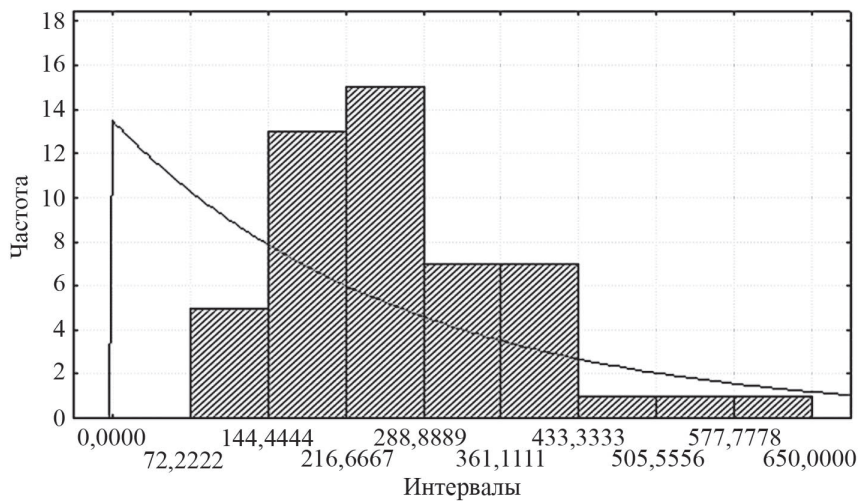


Рис. 3. Гистограмма частот и закон распределения продолжительности трелевки в расчете на 1 хлыст. Переменная: продолжительность трелевки (на хлыст); распределение: экспоненциальный закон. Хи-квадрат – 49,36329; число степеней свободы – 7; уровень значимости – 0,00000

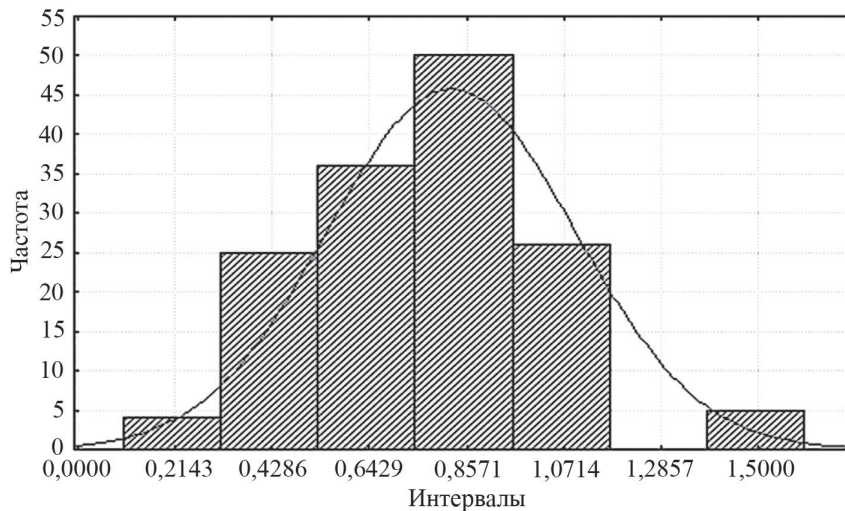


Рис. 4. Гистограмма частот и закон распределения объема хлыста. Переменная: объем хлыста; распределение: нормальное. Хи-квадрат – 20,15038; число степеней свободы – 4; уровень значимости – 0,00047

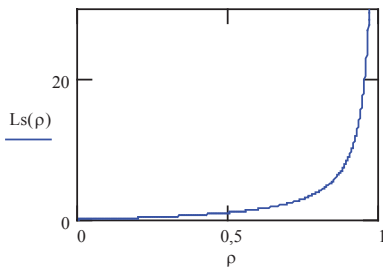


Рис. 5. График зависимости между нагрузкой на рейс ТМ  $L_s$ , шт. и коэффициентом загрузки системы  $\rho$

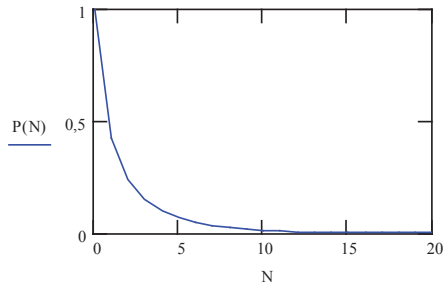


Рис. 6. График зависимости между нормативной нагрузкой на рейс ТМ  $N$ , шт. и процентом простоев системы  $P(N)$

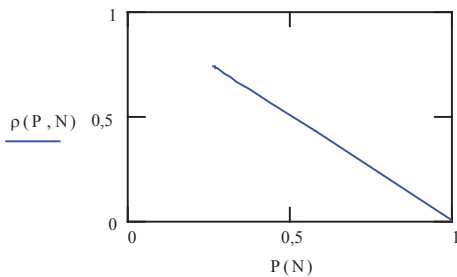


Рис. 7. График зависимости между процентом простоев  $P(N)$  и коэффициентом загрузки системы  $\rho$

Коэффициент загрузки оборудования на смежных операциях (валка, обрезка сучьев – трелевка) технологического процесса лесосечных работ составляет 1,35, иначе, при загрузке ТТМ на 100 % процент простоев устройства на валке и обрезке сучьев составляет 36 %.

Из изложенного следует, что необходимо найти такую рейсовую нагрузку ТМ в рамках известных ограничений, которая обеспечит максимальную загрузку как устройств на валке и обрезке сучьев, так и трелевочной машины. В результате анализа операционных характеристик СМО типа  $(M/M/1):(GD/\infty/\infty)$  установлена зависимость между нагрузкой на рейс ТТМ  $L_s$  и коэффициентом загрузки системы  $\rho$ , график которой представлен на рис. 5. Рассматриваемая зависимость описывается выражением  $L_s = \rho / (1 - \rho)$ .

При этом нагрузка на рейс ТТМ измеряется количеством  $L_s$  перемещаемых единиц предмета труда (хлыстов, сортиментов). Установлено также, что при увеличении нормативной нагрузки на рейс ТТМ коэффициент загрузки оборудо-

вания на смежных операциях лесосечных работ становится близким к единице.

Анализ операционных характеристик СМО типа  $(M/M/1):(GD/N/\infty)$  позволил установить зависимость между нормативной нагрузкой на рейс ТТМ  $N$  и вероятностью или процентом простоев системы  $P(N)$ , а также между процентом простоев  $P(N)$  и коэффициентом загрузки системы  $\rho$ , графики которых представлены на рис. 6, 7.

Зависимость между  $N$  и  $P$  описывается выражением  $P = (1 - \rho) / (1 - \rho^{N+1})$ .

При этом нормативная рейсовая нагрузка ТТМ определяется количеством  $N$  перемещаемых единиц предмета труда.

Зависимость между  $P$  и  $\rho$  описывается выражением  $\rho = (1 - P)$ .

На основе представленных зависимостей установлено, что для системы типа  $(M/M/1):(GD/N/\infty)$  при возрастании нормативной рейсовой нагрузки ТМ вероятность простоев системы (трелевочной машины и оборудования, выполняющего предшествующие трелевке обрабатывающие операции) снижается (рис. 6), а коэффициент загрузки системы стремится к единице (рис. 7).

Для СМО типа  $(M/M/c):(GD/\infty/\infty)$  установлены зависимости между нормативной  $c$  и фактической рейсовой нагрузкой ТТМ  $L_q$ , а также между фактической нагрузкой на рейс  $L_q$  и коэффициентом загрузки системы  $\rho$ . Графики зависимостей представлены на рис. 8, 9.

Зависимость между  $L_q$ ,  $\rho$  и  $c$  описывается выражением

$$L_q = \frac{\rho^{c+1}}{(c-1)!(\tilde{n}-\rho)^2} \cdot \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{\tilde{n}}}{\tilde{n}!(1-\tilde{n})} \right\}^{-1}.$$

При этом нормативная нагрузка на рейс ТТМ измеряется количеством перемещаемых единиц предмета труда.

Из анализа рассматриваемых зависимостей следует, что при возрастании фактической нагрузки на рейс ТТМ коэффициент загрузки системы возрастает (рис. 8). Из изложенного следует, что при возрастании нормативной нагрузки на рейс ТМ коэффициент загрузки системы возрастает и становится близким к единице.

Результаты расчета операционных характеристик СМО на моделях разного типа для трактора с канатно-чокерным оборудованием ТДТ-55 с учетом ограничения на максимальную допустимую нагрузку на щит, а также для проектируемых машин сведены в таблицу.



Результаты расчета операционных характеристик СМО

Операционные характеристики	Модель типа (M/M/1):(GD/∞/∞)	Модель типа (M/M/1):(GD/N/∞)	Модель типа (M/M/c):(GD/∞/∞)
Для ТДТ-55А с ограничением на объем пачки до 8 м <sup>3</sup>			
Коэффициент загрузки	$\rho = 0,909$	$\rho = 0,993$	$\rho = 0,930$
Нормативная рейсовая нагрузка ТМ, шт.; м <sup>3</sup>	$L_s = 10/8,2$	$N = 12; 9,84$	$c = 12; 9,84$
Фактическая рейсовая нагрузка ТМ, шт.; м <sup>3</sup>	$L_s = 10; 8,2$	$L_s = 9,411; 7,72$	$Lq = 9,815; 8,048$
Вероятность простоев системы	0,091	0,007	$6,637 \cdot 10^{-6}$
Вероятность полной занятости блока ожидания	–	0,2646	–
Для проектируемых машин			
Коэффициент загрузки	$\rho = 0,952$	$\rho = 0,997$	$\rho = 0,960$
Нормативная рейсовая нагрузка ТМ, шт.; м <sup>3</sup>	$L_s = 20; 16,4$	$N = 15/12,3$	$c = 20; 16,4$
Фактическая рейсовая нагрузка ТМ, шт.; м <sup>3</sup>	$L_s = 20; 16,4$	$L_s = 11,311; 9,275$	$Lq = 19; 15,6$
Вероятность простоев системы	0,048	0,003	$8,457 \cdot 10^{-9}$
Вероятность полной занятости блока ожидания	–	0,2614	–

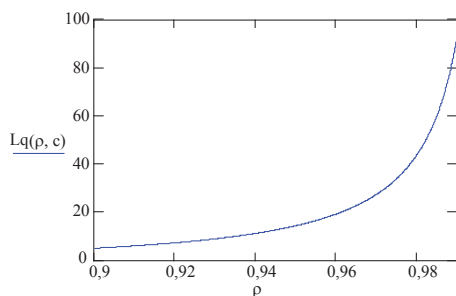


Рис. 8. График зависимости между фактической нагрузкой на рейс ТМ  $L_q$ , шт. и коэффициентом загрузки системы  $\rho$

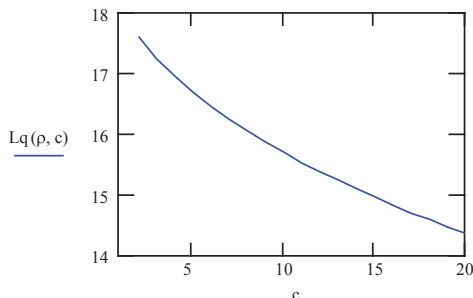


Рис. 9. График зависимости между нормативной нагрузкой на рейс ТМ  $L_q$ , шт. и фактической нагрузкой на рейс ТМ  $c$ , шт.

Для расчета значений рейсовых нагрузок в м<sup>3</sup> использовано полученное в результате статистической обработки наблюдений среднее значение объема хлыста (рис. 4).

**Выводы**

– Оптимальная нагрузка на рейс ТТМ обеспечивает снижение процента простоев машин на смежных операциях лесосечных работ в среднем на 30 % сравнительно с результатами, полученными при наблюдениях.

– Фактическая нагрузка на рейс ТТМ составляет 95–75 % от нормативной. Таким образом, для обеспечения максимальной загрузки оборудования на смежных операциях лесосечных работ нормативную рейсовую нагрузку ТТМ следует на-

значать выше значения, полученного при расчете по общепринятым методикам или принятого по данным нормативно-справочной литературы.

– Максимальное значение критерия, равное 0,997, получено при расчете по модели типа (M/M/1):(GD/N/∞), но эта модель обладает существенным недостатком, связанным с тем, что в среднем 26,3 % заявок на обслуживание покидают систему необслуженными. Поэтому эта модель не может рассматриваться как наиболее адекватная и использоваться для решения поставленной задачи.

– Наиболее адекватной является модель типа (M/M/c):(GD/∞/∞). Эта типовая модель может использоваться для приближенных расчетов.

– С целью получения более корректных показателей математического описания и конечных результатов необходимо создание оригинальной модели системы массового обслуживания, учитывающей ординарные и групповые потоки предмета труда лесозаготовок и специфику их преобразования трелевочно-транспортными средствами.

**Библиографический список**

- Багаев, И.Г. Межоперационные запасы сырья в леспромпхозах / И.Г. Багаев, М.А. Мизев. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 165 с.
- Вагнер, Г. Основы исследования операций / Г. Вагнер. – Т. 3. – М.: Мир, 1973. – 504 с.
- Климушев, Н.К. Управление запасами лесоматериалов / Н.К. Климушев // Лесопромышленная логистика и информационные системы лесного комплекса: Материалы международной научно-технической конференции. – СПбГЛТА. – СПб.: ЛТА, 2003. – С. 98–103.
- Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок: учебник для вузов / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 504 с.
- Таха, Х. Введение в исследование операций / Х. Таха. – Т. 2. – М.: Мир, 1985. – 496 с.
- Якимович, С.Б. Процедуры эффективного выбора для объектов лесопромышленного комплекса / С.Б. Якимович. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1995. – 176 с.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МАЛООБЪЕМНЫХ ЛЕСОЗАГОТОВОК И МЕТОД ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.В. МАТРОСОВ, *ст. преп. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ*

Экономическая реформа выявила и оценила неэффективность многих решений в области технической политики в осуществлении лесопользования, в результате которой лесозаготовки пришли к началу реформ с технологиями, отличающимися высоким уровнем потребления трудовых, материальных и энергетических ресурсов. Сказанное относится и к формам организации лесопользования, когда лесозаготовительное производство было ориентировано на эксплуатацию лесных ресурсов преимущественно на базе крупных нижних лесопромышленных складов и лесовозных дорог с большими грузооборотами. Все эти объективно существовавшие причины, наряду с резким падением спроса на лесопroduкцию на внутреннем рынке, создали целый ряд новых проблем в развитии лесопользования.

В России в результате реформ произошла реорганизация крупных лесозаготовительных предприятий, появились новые лесопользователи с различными формами собственности. С одной стороны, возникли крупные вертикально-интегрированные компании, а с другой стороны, – небольшие предприятия, у которых лесозаготовки не являются основной сферой деятельности. В современных условиях в России функционирует около 3,5 тыс. специализированных лесозаготовительных, лесопильных и перерабатывающих древесину предприятий и около 33 тыс. различных фирм, занятых лесозаготовками, деревообработкой и торговлей продукцией из древесины. Средний объем лесозаготовок многих предприятий составляет не более 10–15 тыс. м<sup>3</sup> [4, 7]. Предприятия имеют на своем оснащении как технику с большой долей ручного труда, так и современные лесозаготовительные машины отечественного и зарубежного производства.

В настоящее время основной объем лесозаготовок в России выполняется по хлыстовой технологии, однако ее доля по отношению к сортиментной технологии снижается. Это вызвано тем, что сегодня в России, как и во всем мире, наметилась устойчивая тенденция широкого распространения сортиментной технологии лесозаготовок.

Одной из причин, обуславливающих имеющееся положение дел, все же явилось то, что

технологический процесс лесозаготовительного производства в нашей стране в последние годы претерпевает существенные, коренные изменения. Сложившаяся технология вывозки хлыстов на нижний склад с последующей их раскряжкой, доминирующая в основных лесозаготовительных регионах страны, нуждается в некотором пересмотре и во многих случаях замене другими технологическими процессами. Это определяется комплексной механизацией работ непосредственно в лесу, концепцией многоцелевого назначения лесов, возрастающими ограничениями на рубках главного пользования, опытом ведущих стран мира и предприятий различных регионов нашей страны, инфраструктурой предприятия, формой собственности, экологическими требованиями.

Существенное сокращение объемов сплошных рубок и расширение применения выборочных и постепенных рубок ставит лесопользователей в условия необходимости применения более совершенной технологии и техники, отвечающей лесоводственным и экологическим требованиям. В связи с этим возрастает интерес к сортиментной технологии лесозаготовок, позволяющей наиболее производительно механизировать эти виды рубок с учетом современных экологических требований. Одной из основных причин тенденции развития сортиментной технологии в мире являются успехи скандинавских машиностроителей, которые разработали и представили на рынок высокопроизводительные и надежные многооперационные машины для получения сортиментов на лесосеке.

Значительный интерес к сортиментной технологии проявляют и мелкие лесозаготовители, для которых эксплуатация высокопроизводительного и дорогостоящего нескладского оборудования неэффективна, поскольку малые объемы лесозаготовок и сезонность работ не обеспечивают круглогодичную загрузку стационарного лесоскладского оборудования [7]. Для таких предприятий не подходят системы лесозаготовительных машин, рекомендованные в 80–90 гг. и принципы их комплектования [6]. Для успешной работы предприятий с небольшими объемами лесозаготовок необходимо малагабаритное специализированное оборудование. Это стало осо-

бенно актуально в связи с поставками на отечественный рынок разнообразной зарубежной лесной техники и оснащением отрасли принципиально новыми лесозаготовительными машинами.

Технологический процесс сортиментной технологии заготовки отличается от привычной технологии хлыстовой заготовки расширенным комплексом технологических операций, выполняемых на лесосеке, и требует качественного изменения подхода к комплектованию системы лесозаготовительных машин при малообъемных лесозаготовках. Как показывает практика эксплуатации лесосечных машин и систем машин, функционирование их в разнообразных природных условиях с меняющимися характеристиками, разная степень надежности машин, техническая политика предприятия заставляют исследовать вопрос рационального выбора технологических процессов и систем машин для предприятий, ведущих малообъемные лесозаготовки.

С точки зрения особенностей лесопользования в малых объемах и повышения эффективности лесозаготовительного производства опыт ведущих стран мира по применению перспективных технологий и машин играет важную роль в вопросе ведения лесозаготовок отечественными предприятиями.

В западных странах лесозаготовительная технология переживает период определенной стабилизации. Преобладающая часть потребляемой промышленностью древесины заготавливается профессиональными лесозаготовителями. В странах с относительно большой долей мелких частных лесовладельцев деревоперерабатывающая промышленность потребляет также древесину, заготавливаемую силами самих лесовладельцев. При заготовке своими силами лесовладельцы применяют преимущественно традиционный ручной способ заготовки,

хотя доля механизированной заготовки быстро возрастает. Все более популярными становится монтируемое на базе колесного сельскохозяйственного трактора лесозаготовительное оборудование, завоевывающее признание пользователей надежностью и относительной дешевизной [3].

В последние годы за рубежом при малообъемных лесозаготовках широкое применение находят малогабаритные многооперационные машины: непосредственно процессоры (рис. 1, а) и многооперационные машины манипуляторного типа. Производством малогабаритных многооперационных машин занимаются фирмы NIAB, Vitek, Hypro, Skogma и др. [8].

Трелевка древесины осуществляется форвардерами или колесными сельскохозяйственными тракторами с агрегированным лесным прицепом, оснащенным гидроманипулятором. Использование сельскохозяйственных тракторов на перевозке сортиментов потребовало создание специальных лесовозных прицепов. Такой комплекс весьма широко применяется во всем мире для обеспечения многообразных лесозаготовительных операций (рис.1, б). Лебедки и трелевочные щиты, ранее широко применявшиеся лесовладельцами, почти полностью вышли из употребления [3]. Наибольшее распространение на лесозаготовках находят прицепы фирм Farni Forest, Vreten, Farma, K.T.S Maskiner, Kesla и др.

В Скандинавских странах при малых по объему санитарных рубках и рубках ухода наряду с традиционным средством трелевки нашли применение лесохозяйственные машины, созданные на базе мотовездеходов, или малые универсальные минимашин (минитракторы), управляемые движением идущего впереди машины рабочего.



Рис. 1. Машины для малообъемных рубок: а) навесной процессор NIAB-5-15; б) сельскохозяйственный колесный трактор и лесовозный прицеп





Рис. 2. Оборудование для переработки круглых лесоматериалов: а) передвижная лесопильная установка; б) навесной процессор для получения колотых дров

В малообъемных лесозаготовках все большее распространение, особенно в странах Скандинавии, получает развитие технология вывозки с лесосек пилопродукции при выполнении определенных видов рубок. Это связано с появлением легких передвижных лесопильных установок (рис. 2, а), которые по своей эффективности вполне сравнимы со стационарными лесопильными рамами. Наряду с развитием передвижного лесопильного оборудования развивается выпуск оборудования для производства колотых дров (рис. 2, б). С этой целью используют навесные тракторные процессоры для производства дров в условиях лесосек или на небольших складах.

Во всем многообразии технологических процессов и машин, которые используются на лесозаготовках, видна явная тенденция в сторону совершенствования систем машин и технологических процессов лесосечных работ, основанных на природо- и ресурсосберегающих принципах. Многообразие этих процессов требует их сравнения и оценки в конкретных природно-производственных условиях с учетом влияния техники на лесную среду. Важным направлением в конструировании лесосечных машин является уменьшение их массы и габаритов. Это хотя и не обеспечивает достаточного снижения стоимости в расчете на единицу продукции, однако удовлетворяет экологическим требованиям и удешевляет каждый механизм [3].

В силу природного происхождения леса, необходимостью его заготовки в сложных условиях природной среды, отличающейся крайней степенью разнообразия и изменчивостью как во времени, так и отклонениями параметров природно-производственных условий от средних значений, предъявляются особые требования к

проектированию, организации и управлению лесозаготовительным процессом на предприятиях с малым объемом лесопользования.

Заготовка древесины при малообъемных рубках имеет свои особенности: малый объем заготовки; различные варианты систем лесосечных машин; среднее расстояние трелевки; породный состав. Выход деловой древесины определяется не только природными условиями, но и видом рубок (рубки ухода, санитарные рубки, сплошные и т.д.). Чтобы выяснить производственную или экономическую эффективность системы машин при проведении малообъемных рубок для разных природно-производственных условий, разрабатывается математическая модель для имитации технологического процесса.

Небольшой объем заготовки при малообъемных рубках позволяет непосредственно на лесосеке удлинить технологическую цепочку производства и получать готовую продукцию не только в виде круглых лесоматериалов, но и в виде пиломатериалов, технологической и топливной щепы. Таким образом, можно выделить следующие технологические операции, выполняемые на лесосеке и верхнем складе: валку; трелевку; обрезку сучьев; раскряжевку; первичную подсортировку сортиментов по назначению и др. При рассмотрении перечисленных операций лесосечных работ видно, что любая из них состоит из двух процессов – поступления единицы сырья на обработку и собственно самой обработки.

Оба эти процесса можно рассматривать как потоки определенной интенсивности. Для первого процесса интенсивностью является величина, обратная промежутку времени между соседними поступлениями, а для второго – величина, обратная времени цикла. Все рассматривае-



мые операции, которые можно выполнять непосредственно на лесосеке, находятся в зависимости друг от друга, так как поток обслуживания на предыдущей операции образует входящий поток объектов труда для последующей операции. Для всего технологического процесса лесосечных работ входящий поток можно определить как деревья, предназначенные к валке, а выходящий – как круглые лесоматериалы или пиломатериалы.

При рассмотрении промежутков времени между поступлениями отдельных предметов труда к месту обработки и продолжительности самой обработки можно заключить, что они случайны, так как определяются многими факторами, часто неподконтрольными человеку. Размещение деревьев на лесосеке, различная густота подроста и другие случайные факторы делают промежуток времени перехода вальщика от дерева к дереву непостоянным. Различный диаметр деревьев в месте спиливания, затупление пильной цепи при работе, непостоянная скорость надвигания пильного аппарата во время пиления, зависящая, кроме объективных показателей, и от усилия вальщика, также приводят к переменному времени цикла валки. В других операциях технологического процесса также существуют известные случайные факторы.

Если рассматривать технологический процесс лесосечных работ как систему, обслуживающую (обрабатывающую) поток заявок (деревьев) на основании теории массового обслуживания, то можно отметить, что такая система является многофазной с ожиданием между фазами и без ожидания на входе. Число фаз определяется количеством несомещенных операций. Кроме того, если на одной фазе параллельно работают несколько рабочих, то система является многоканальной. В упрощенном случае поток предметов и время обработки на каждой операции можно рассматривать как простейший, без последствия. Для простейшего потока распределение величин промежутков времени между поступлениями предметов труда и их обработкой подчиняется показательному закону. Показательный закон имеет только один параметр – математическое ожидание используемой величины. В данном случае это время цикла на определенной операции и промежуток времени между поступлениями предметов труда. В связи с тем, что исследуется эффективность технологии малообъемных рубок для разных природных условий, среднее время цикла об-

работки на операции необходимо рассматривать как функцию от случайных значений параметров предмета труда

$$\bar{t}_в = f(d_{cp});$$

$$\bar{t}_{mp} = f(V_n, l_{cp});$$

$$\bar{t}_{об} = f(d_{cp}, p);$$

$$\bar{t}_{раск} = f(d_{cp}, d_{cop}, l_{cop}, p),$$

где  $\bar{t}_в, \bar{t}_{mp}, \bar{t}_{об}, \bar{t}_{раск}$  – среднее время цикла на операциях валки, трелевки, обрезки сучьев, раскряжевки;

$d_{cp}$  – диаметр конкретного дерева в месте спиливания;

$l_{cp}$  – среднее расстояние трелевки;

$V_n$  – объем трелеваемой пачки;

$p$  – порода;

$d_{cop}$  и  $l_{cop}$  – диаметр и длина сортиментов.

Вычисляемые временные показатели  $\bar{t}_в, \bar{t}_{mp}, \bar{t}_{об}, \bar{t}_{раск}$  являются параметрами для показательного закона распределения случайных значений промежутков времени продолжительности операции.

Для имитации производственного процесса необходимо определить потоки обслуживания и поступления объектов труда на каждой фазе лесосечных работ. Цикл обслуживания (обработки) складывается из двух величин: времени машинной обработки и вспомогательного времени цикла (внецикловые потери). В приложениях теории массового обслуживания часто допускается включать во время цикла обработки потери времени на неожиданные отказы оборудования, отнесенные к числу циклов. Внецикловые потери времени можно разделить на регламентируемые (отдых, обслуживание машин и т.д.) и нерегламентируемые, которые включают, кроме технических неисправностей, простои по организационным причинам технологического характера. Прежде всего, это отсутствие объектов труда из-за неритмичности работы на соседних операциях. Эти потери времени предполагается выявить в процессе моделирования.

Для эффективного функционирования технологического процесса малообъемных рубок, включающего достаточно большое количество операций, как в данном случае, требуется согласованность работы механизмов и операторов на каждой фазе (операции) процесса. Оценить эффективность работы на каждой операции и системы в целом можно с помощью показателей производитель-

ности по сырью, измеряемой количеством обработанных предметов труда (деревьев, сортиментов и т.д.) в кубометрах или штуках в единицу времени и использованием рабочего времени смены. Кроме того, для всей системы можно использовать показатель количественного выхода продукции по видам ассортимента и среднюю загруженность механизмов и операторов по операциям.

Таким образом, для определения оценочных решений по выбору (в количественном и качественном смыслах) комплекта лесосечных машин для небольших предприятий необходимо учитывать:

- возможность реализации расширенного спектра технологических процессов на лесосеках по виду вывозимой древесины (помимо заготовки и вывозки хлыстов или сортиментов может осуществляться вывозка пилопродукции, щепы и колотых дров; могут быть реализованы комбинированные ТП);

- многообразие технологий и принципов работ в связи с реализацией различных способов рубок, уровней воздействия на среду;

- формирование систем машин, обеспечивающих заготовку леса с высокой эффективностью в широком диапазоне природно-производственных условий и с учетом проведения как рубок главного пользования, так и рубок ухода;

- возможность обеспечения концентрации лесосек на арендуемых площадях;

- учет экологических аспектов лесопользования в виде ограничений, а в перспективе – точных количественных оценок степени повреждаемости остающегося древостоя, степени повреждаемости и уплотнения грунтов, доли заготавливаемой на лесосеке биомассы, степени сохранения ареалов элементов флоры и фауны;

- необходимость сохранения возможно более высокого уровня эффективности лесозаготовительного производства.

### Библиографический список

1. Лесной кодекс Российской Федерации. Принят Государственной Думой 22.01.1997. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. – 66 с.
2. Зарубежные машины и оборудование для лесозаготовок и лесовосстановления: учеб. пособие / под редакцией проф. А.К. Редькина. – М.: МГУЛ, 2006. – 238 с.
3. Йори Ууситало. Основы лесной технологии / Йори Ууситало. – Йоэнсуу: Oy FEG – Forest and Environment Group Ltd, 2004. – 228 с.
4. Карпачев, С.П. Конкурентноспособные технологии малообъемных рубок. Тракторный процессор / С.П. Карпачев // Лесопромышленник. – 2004. – № 1. – С. 12–15.
5. Редькин, А.К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок: учебник для вузов / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – М.: МГУЛ, 2005. – 497 с.
6. Система машин для комплексной механизации лесозаготовительного производства на 1986–1990 гг.: Нормативно-справочное издание. – Химки, 1986. – 148 с.
7. Ширнин, Ю.А. Технология и оборудование малообъемных лесозаготовок и лесовосстановления: учебное пособие для вузов / Ю.А. Ширнин, Ф.В. Пошарников. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 398 с.
8. Материалы фирм Farmi Forest, Vreten, Farma, K.T.S Maskiner, HYPRO, NIAB, Husqvarna и др.

## ПРОЦЕССНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Н.К. КЛИМУШЕВ, *Ухтинский государственный технический университет*

Лесозаготовительное производство (ЛЗП) представляет собой многоплановую иерархическую эргатическую (человеко-машинную) сложную систему.

Большинство технологических процессов лесозаготовительного производства осуществляется вне помещений в условиях непосредственного воздействия на людей и технику большого комплекса природно-климатических факторов. Помимо воздействия природных факторов на неравномерность лесозаготовительного производства действует рассредоточенность технологических операций на большой территории.

В силу неравномерности осуществления ЛЗП на стыках операций формируются запасы лесоматериалов. В современных условиях орга-

низации ЛЗП о взаимном соответствии режимов смежных операций говорить не приходится, поэтому уровень запасов «пульсирует» во времени. При этом наличие запасов позволяет выполнять определенные операции, а отсутствие – приводит к остановкам последующих звеньев технологического процесса. Рациональное управление технологическими процессами предполагает увязку (согласование) интенсивностей и режимов осуществления операций.

Для организации полноценного лесозаготовительного производства чрезвычайно важна проблема управления запасами лесоматериалов всех видов, распределенных по производственной цепи и проходящих определенную перманентную трансформацию в конечный продукт в ходе

производственного процесса. Устойчивый английский термин для этого вида запасов – *Work-in-process* (кратко – *WIP*). Определение оптимального уровня *WIP* – это одна из центральных задач современного производственного менеджмента.

Избыточный или непропорционально размещенный уровень *WIP* запасов лесоматериалов приводит к резкому возрастанию издержек производства и увеличению времени производственного цикла, что в свою очередь снижает эффективность и способность производства оперативно реагировать на запросы потребителя. Вместе с тем слишком низкий уровень *WIP* приводит к простоям производственного оборудования.

Проблема управления запасами лесоматериалов в ЛЗП имеет интегрирующий характер, т.к. способствует обеспечению неразрывности технологических процессов.

Процессное управление запасами лесоматериалов предполагает два аспекта: управление процессом и в процессе (динамическое управление).

С точки зрения характера запасов лесоматериалов следует различать задачи управления активными (межоперационными), пассивными (резервными всех видов) и комбинированными запасами. Для активных запасов характерна одновременность процессов их создания и потребления. Задачи управления активными запасами лесоматериалов характерны для отдельных звеньев производственной цепи или смежных технологических операций (например, при взаимодействии харвестеров, форвардеров и сортиментовозов на лесосеке при сортиментной заготовке). Такие задачи решаются методами теории массового обслуживания как многофазные системы.

Пассивные запасы лесоматериалов отличаются тем, что процессы их создания и потребления разнесены во времени: запасы сначала создаются, а затем, через некоторое время, используются. Задачи управления пассивными (резервными) запасами лесоматериалов могут иметь место при последовательной пооперационной обработке лесоматериалов при наличии значительного временного разрыва между операциями. Такие задачи могут решаться как методами математического программирования, так и обычными аналитическими методами инженерных расчетов.

Задачи управления комбинированными запасами лесоматериалов для случая *WIP* являются наиболее характерными и сложными. Именно такого рода задачи характерны для полноценного

производственного процесса, поэтому комплексное решение этих задач составляет суть управления процессами и процессное управление запасами. Такие задачи могут решаться аналитическими методами, методами статистического, имитационного и нечеткого моделирования, экспертными методами, а также путем комбинирования различных методов.

В случае *WIP* следует различать прямую и обратную задачи. Прямая задача может быть сформулирована следующим образом: исходя из рассчитанных фактических или заданных уровней запасов на начальных и промежуточных операциях или фазах производственного процесса рассчитать запасы на последующих операциях и/или конечный уровень (товарную лесопroduкцию).

Обратная задача формулируется следующим образом: исходя из сложившегося, существующего, рассчитанного или нормативно заданного уровня запасов лесоматериалов на конечной операции (готовой продукции для данного производственного процесса) рассчитать оптимальные уровни запасов на всех предшествующих операциях.

Задача оптимального управления запасами является производной от общей задачи оптимизации технологического процесса и может решаться моделированием производственного процесса.

Решение задачи динамической оптимизации лесопромышленных процессов предполагает такую их организацию, которая характеризуется непрерывностью и стационарностью его реализации. При этом обеспечивается достижение наиболее высоких и стабильных показателей выработки всего оптимизируемого процесса в целом. Основными факторами, обуславливающими оптимизацию лесопромышленного производства в динамике, являются согласованное взаимодействие смежных технологических операций и процессов и наличие оптимальных межоперационных запасов лесоматериалов, сглаживающих случайную неравномерность технологических операций.

Оптимизацию лесопромышленного производства можно проводить, рассматривая ее как кибернетическую систему. Оптимизация лесопромышленного производства методами кибернетики предполагает ее функционирование как гомеостатической системы.

Однако основная сложность при таком подходе заключается в трудности определения знака и величины коэффициентов обратных связей, действующих в сложной человеко-машинной системе в разных диапазонах изменения основ-

ных параметров и, прежде всего, интенсивностей смежных операций и межоперационных запасов лесоматериалов. Известно, что в области малых уровней межоперационных запасов лесоматериалов коэффициенты обратной связи, связывающие интенсивности последующих и предшествующих операций и обуславливающие оседание лесоматериалов в запасы, имеют положительный знак и наибольшую величину, способствуя тем самым интенсификации предшествующих работ. Такую ситуацию в лесозаготовительных предприятиях принято характеризовать выражением «возить из-под пилы», подчеркивая подстегивающую роль недостатка запасов для вывозки на темпы заготовки древесины.

В области высоких (избыточных) уровней межоперационных запасов лесоматериалов значения соответствующих коэффициентов обратных связей получают отрицательный знак, сдерживая интенсивность предшествующих работ, тормозя их. Это объясняется как сложностью размещения избыточных запасов, так и действием психологических факторов на работающих.

В области средних (достаточных, но не избыточных) значений уровней межоперационных запасов лесоматериалов влияние обратных связей ослабевает и смежные технологические операции становятся индифферентными друг к другу, обретая своеобразную независимость.

Альтернативой кибернетическому подходу может служить нейро-нечеткое моделирование, позволяющее учитывать разнородный переменный характер обратных связей, отличающих ЛЗП.

Нечеткость, неопределенность условий производства, сложность и переменный характер обратных связей в условиях воздействия большого комплекса природно-климатических факторов в сочетании с возможностями нечеткого моделирования в нейронных сетях делают данную технологию наиболее адекватным и эффективным инструментом.

Один из важных принципов моделирования сложных эргатических (человеко-машинных) систем связан с нелинейностью и нечеткостью их описания.

Системная оптимизация управления производственными системами в условиях неопределенности с использованием теории нечетких множеств обеспечивает учет неопределенных исходных данных для построения реальных математических моделей управления ими.

Суждения, свойственные качественной оценке процессов человеком, обозначают экономические 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 искусственное снижение неопределенности. Поэтому нечеткие высказывания обретают смысл точных чисел. Это – эффективное математическое моделирование процессов управления экономическими объектами.

Решение подобных задач возможно посредством применения нейронных сетей. При этом построение и настройка нейронных сетей осуществляется посредством применения имеющейся и доступной информации о реальном производственном процессе.

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 [3].

#### Библиографический список

1. Алябьев, В.И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках / В.И. Алябьев. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 232 с.
2. Багаев, Н.Г. Технологические запасы в лесной промышленности / Н.Г. Багаев, Н.Т. Гончаренко. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 200 с.
3. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
4. Редькин, А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок / А.К. Редькин. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 256 с.
5. Климушев, Н.К. О классификации запасов лесоматериалов / Н.К. Климушев // Материалы междунар. НПК «Научно – технический прогресс в лесном комплексе». – Сыктывкар, 2000. – С. 42–43.
6. Климушев, Н.К. Нечеткое моделирование лесозаготовительного производства / Н.К. Климушев, О.М. Прудникова; УГТУ. – 2005. – 13 с. – Деп. в ВИНТИ 06.04.2005, №463-В2005.



## АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРИ РЕМОНТАХ И СОДЕРЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

О.Н. БУРМИСТРОВА, доц., Ухтинский ГТУ, канд. техн. наук

**В**ысокое качество дорожного строительства зависит от сырья, материалов, изделий, оборудования, обеспечивается своевременным внедрением стандартов и контролем за их соблюдением, а также аттестацией продукции.

При выполнении технологических операций отдельных видов работ как при строительстве дорог, так и при их ремонте и содержании возможно появление погрешностей изготовления. Технологический процесс можно привести к некоторой системе независимых и взаимосвязанных случайных и систематических факторов, обуславливающих получение параметра. Систематическое изменение параметра изделия вызвано его конструктивной недоработкой, систематическими погрешностями производства или систематическим воздействием внешних условий. Случайные изменения параметра вызываются большим количеством случайных факторов. Правильно построенный производственный процесс изготовления продукции должен обеспечивать выпуск последней с определенной нормой качества. Таким образом, для получения конечной продукции с определенной нормой качества необходимо в период ее изготовления производить контроль отдельных параметров. Другими словами, суждение о качестве выпускаемой продукции будет практически беспредметным, если оно основано на результатах объективных методов контроля параметров изделия. Результаты контроля, анализ контролируемых параметров опираются на первичную объективную информацию, главным образом, измерительную, о числовых значениях физических величин, параметров, о свойствах физических объектов. Вместе с тем подготовка и выполнение с требуемой точностью измерительных операций, получение достоверных результатов измерений вызывают необходимость разработки метрологического обеспечения измерений контролируемых параметров. Недостаточная точность, недостоверность и ограниченный объем измерительной информации влечет за собой низкое качество выпускаемой продукции и, в конечном счете, к неоправданным потерям материальных средств и фондов как в дорожной отрасли, так и в масштабе всех отраслей Республики Коми.

Согласно [1], под метрологическим обеспечением понимают установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. Исходя из этого любая стадия или этап создания продукции – технологический процесс изготовления, ремонты, содержание, испытания, контроль и т.д. – практически не могут существовать без надлежащего метрологического обеспечения. В настоящее время в дорожном строительстве, в частности, при производстве ремонтов и содержании дорог наблюдаются определенные положения в метрологическом обеспечении измерений показателей. Комплекс мероприятий по ремонту и содержанию автомобильных дорог и дорожных сооружений, выполнение которых обеспечивает улучшение условий бесперебойного и безопасного движения транспортных средств с расчетными скоростями и нагрузками, а также по сохранности дорог и дорожных сооружений, определяют «Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог общего пользования». Технические правила регламентируют основные требования к техническому состоянию дорог и дорожных сооружений, порядок и технологию проведения работ при ремонте и содержании их. В них указывается перечень работ, выполняемых при производстве капитального, среднего и текущего ремонта. Технические правила являются основным руководящим документом при производстве работ по ремонту и содержанию дорог. Однако в данном документе отсутствует регламентация номенклатуры параметров, контролирование которых при выполнении отдельных видов работ по ремонту и содержанию дорог обеспечит необходимый уровень их качества.

Отсутствие номенклатуры контролируемых параметров исключило и регламентацию необходимых средств измерения, и предъявляемые к ним требования, и необходимое количество измерений показателей, и т.п., а также допускаемые отклонения контролируемых параметров от проектных размеров или требуемых.

Существующие в настоящее время нормативные документы, регламентирующие номенклатуру работ и параметры качества выполнения технологических операций при производстве ремонтно-строительных работ предусматривают контроль целого ряда элементов или технологических операций, которые, в общем, сводятся к следующему:

- контролю геометрических размеров (ширина, толщина), высотных отметок и уклонов;
- ровности укладываемых слоев или элементов конструкций;
- плотности или степени уплотнения конструктивных слоев дорожных одежд, укреплению обочин или земляного полотна.

Это тот комплекс параметров, который полностью соответствует контролю качества при новом строительстве и может быть с соответствующим обоснованием применен для контроля качества при ремонте и содержании дорог. Однако большая часть технологических операций при ремонте и содержании автомобильных дорог не может характеризоваться этими параметрами и требует разработки других методов, а следовательно, и средств измерений. Это, прежде всего, касается вопросов зимнего и летнего содержания дорог, среднего ремонта, в частности, устройства поверхностных обработок и целого ряда других работ и технологических операций.

Существующие нормативные документы по контролю качества дорожных строительных и ремонтных работ не регламентируют количества измерений на единицу продукции. Тем не менее, как известно, точность измерений параметра находится в прямой зависимости от количества измерений, поэтому количество измерений должно быть строго регламентировано и научно обосновано.

Как известно, количество необходимых измерений может быть получено из следующего выражения

$$N_{\min} = t^2 \sigma^2 / d^2, \quad (1)$$

- где  $N_{\min}$  – минимальное количество намерений;
- $t$  – величина аргумента функции Лапласа, принимаемая в зависимости от доверительной вероятности  $P_g$ ;
  - $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;
  - $d$  – допустимая величина отклонения значения от средней величины.

Как показывает анализ выражения (1), минимальное количество измерений зависит от

доверительной вероятности, т.е. надежности получаемых параметров; величины отклонений измерений от средней величины и снижается при увеличении допустимой величины отклонения (допуска). Таким образом, вопрос о назначении количества измерений должен быть обоснован по следующим признакам:

- по надежности получаемых значений и их влиянию на общее состояние законченного объекта, т.е. насколько серьезное влияние измеряемый параметр качества работ оказывает на качество самого объекта;
- по трудоемкости измерения параметра;
- по допустимой величине отклонения измеряемого параметра и его влияния на качество объекта и его стоимость.

В связи с тем, что возник вопрос о назначении количества измерений, появилась необходимость статистической обработки результатов измерений [2]:

- вычисления среднего арифметического результатов измерений с исключением грубых ошибок и принимаемого за результат измерений –  $A$ ;
- вычисления оценки среднего квадратического отклонения результатов измерений,  $S_{(A)}$ ;
- вычисления доверительных границ погрешности результата измерения,  $\Delta$ , и ряда других вычислений, которыми применительно к измерениям при оценке работ по ремонту и содержанию дорог можно пренебречь как не оказывающими значительного влияния на общую оценку качества работ.

Оценка среднего квадратического отклонения результата измерения производится по выражению

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

- где  $X_i$  –  $i$ -й результат наблюдения;  
 $n$  – число наблюдений.

Доверительная граница погрешности результата измерения определяется по выражению

$$\Delta = t S(\bar{A}), \quad (3)$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности  $P_g$  и числа результатов наблюдений. Результат измерений представляется в форме

$$\bar{A} \pm \Delta, P_g. \quad (4)$$

Анализ приведенных выражений показывает, что использование статистической теории

оценки количества работ и применение [2] дают возможность не только обосновать допустимые значения отклонений, но и дифференцировать результаты измерений с целью количественной (балльной) оценки качества выполнения технологических операций.

Следовательно, единственный путь определения допустимого отклонения – установление доверительной границы погрешности результатов измерений при определенных значениях доверительной вероятности и количества измерений.

Наиболее сложной является проблема выбора оптимального объема измеряемых параметров. Работы по ремонту и содержанию автомобильных дорог Республики Коми включают в себя ряд технологических операций, которые в свою очередь содержат ряд параметров, контроль которых в той или иной мере необходим. Это работы

по устройству слоев дорожной одежды, отсыпке земляного полотна, разметке проезжей части, обеспыливанию дорог, борьбе со снегом и гололедом и т.д. Однако все эти работы служат главной цели – обеспечению скоростного и безопасного движения автомобилей, а также снижению себестоимости работ по ремонту и содержанию дорог.

Таким образом, выбор объема измеряемых параметров, а также допусков к ним, является важнейшей экономической задачей.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 1.25–76 Государственная система стандартизации «Метрологическое обеспечение. Основы положения». – М.: Изд-во стандартов, 1976.
2. ГОСТ 8.207–76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1976.

### ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ (с учетом показателей эффективности и устойчивости торможения автомобильного подвижного состава)

А.В. СКРЫПНИКОВ, доц. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, канд. техн. наук

Для верного решения важной задачи выбора типа модели, наиболее полно и точно соответствующей моделируемому объекту, необходимо определить свойства модели, являющиеся критерием качества решения данной задачи. К основным свойствам модели относятся адекватность, полнота, точность, устойчивость, абстрактность.

Сложность модели характеризуется числом моделей низшего уровня, использованными 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 показателей устойчивости, сложности и полноты, убывание точности и абстрактности.

При построении различных моделей комплекса «автомобиль–водитель–дорога» используются дифференциальные уравнения движения транспортных средств.

Как показали расчеты основных кинематических и силовых параметров тормозной динамики транспортных средств и их сравнение с результатами экспериментальных исследований, данные математические модели с высокой степе-

нью точности и адекватно описывают физический процесс торможения автомобилей и автопоездов.

В то же время при решении ряда задач по организации дорожного движения, в частности, при моделировании транспортных потоков, можно уменьшить сложность модели за счет незначительного снижения точности подсистем низшего уровня.

Так, замена дифференциальных уравнений движения транспортных средств регрессионными зависимостями показателей эффективности к устойчивости автомобилей и автопоездов приводит к существенному снижению сложности модели при незначительной потере точности [1–4].

При общей характеристике подсистемы «автомобиль» всего комплекса «автомобиль–водитель–дорога» является желательным связать функционально многочисленные параметры системы и входные переменные с помощью некоторых критериев. Как отмечалось выше, 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 –  $Z_{ТАБ}$ .



Рисунок. Блок-схема статистической обработки результатов моделирования

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 н.д.т.м., 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 регрессионный анализ дает нам оптимальность в смысле наименьшего среднего квадратического отклонения, т.е. требуется минимизировать  $\sigma$ . Но занимаясь только этим, можно далеко уйти от физики процесса. Поэтому задача ставилась, учитывая реальный процесс торможения транспортных средств, получить уравнения регрессии, наилучшим способом приближающиеся к множеству точек, полученных при моделировании на ЭВМ движения автомобилей и автопоездов в различных дорожных условиях.

Основным методом определения уравнений регрессии являлся метод наименьших квад-

ратов (МНК). При решении ряда задач применялся также градиентный метод подбора кривых. Так как аналитические выражения  $S_T$  и  $Z_{ТАБ}$  были нелинейными относительно переменных, то требовалось выбирать такую систему планирования искусственного эксперимента, при которой варьируемые факторы принимали хотя бы три различных значения [5–7].

Согласно выбранному плану искусственного эксперимента были получены уравнения регрессии показателей эффективности и устойчивости от переменных параметров. Для оценки точности сглаживания применялось среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{N - 1}}, \quad (1)$$

где  $y$  – значение выходного параметра, полученного в результате машинного моделирования;

$\hat{y}$  – значение выходного параметра, полученного по уравнению регрессии,

$N$  – число экспериментов.

Весь процесс статистической обработки результатов моделирования был механизирован, логическая блок-схема представлена на рисунке.

В первом блоке осуществляется настройка программы согласно выбранному плану искусственного эксперимента и требуемой регрессионной модели. Вторым основным блоком является описанная ранее математическая модель процесса торможения транспортных средств в различных дорожных условиях. На выход блока поступают показатели эффективности  $S_T$  и устойчивости  $Z_{ТАБ}$ , которые подвергаются регрессионному анализу, использующему в основе своей метод наименьших квадратов. Далее, согласно требуемой регрессионной модели, определяются коэффициенты уравнений регрессии и рассчитывается среднее квадратическое отклонение результатов. Работа программы заканчивается выводом коэффициентов регрессии и среднего квадратического отклонения [5–8].

Примененный метод позволил получить аналитические зависимости показателей эффективности  $S_T$  и устойчивости  $Z_{ТАБ}$  транспортных средств при торможении от ряда эксплуатационных и конструктивных факторов: начальной скорости торможения  $V_0$ , времени торможения, коэффициента сцепления колес с дорогой  $\varphi$ , ко-



эффицентивов н.д.т.м., 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 ГИБДД Воронежской области 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 дороги.

Комплексное исследование влияния вышеуказанных факторов на тормозную динамику транспортных средств имело в основе своей использование теории математического планирования искусственного эксперимента. Для случая торможения 2-х и 3-осных автомобилей со снижением эффективности действия тормозов на одном борту были получены следующие уравнения регрессии

$$\begin{aligned} Z_{\text{ГАБ}} &= 0,5\text{sign}(Z_{\text{ГАБ}})B_a + (C_1n_1 + C_2n_2 + C_3n_3)V_0^{5/2}; \\ S_T &= \alpha_1V_0 + V_0^2((\alpha_2/\varphi) + \alpha_3\varphi n_1 + \alpha_4\varphi n_2 + \\ &\quad + \alpha_5\varphi n_3 + \alpha_6\varphi n_1 + \alpha_7n_2\alpha_8n_3), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $n_i$  – относительные коэффициенты н.д.т.м.

Эти коэффициенты связаны с коэффициентами неравномерности действия тормозных механизмов простой зависимостью

$$n_i = 1 - K_i. \quad (3)$$

Для абсолютно исправного тормозного механизма  $n_i = 0$ . В формуле (2) для 2-осного 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  $Z_{\text{ГАБ}}$  от общего снижения н.д.т.м. находились по формулам

$$\begin{aligned} Z_{\text{ГАБ}} &= 0,5\text{sign}(Z_{\text{ГАБ}})B_a + (C_1n_{11} + C_2n_{21} + \\ &\quad + C_3n_{12} + C_4n_{22} + C_5n_{13} + C_6n_{23})V_0^{5/2}; \\ S_T &= \alpha_1V_0 + V_0^2((\alpha_2/\varphi) + \alpha_3\varphi n_{11} + \alpha_4\varphi n_{21} + \alpha_5\varphi n_{12} + \\ &\quad + \alpha_6\varphi n_{22} + \alpha_7\varphi n_{13} + \alpha_8\varphi n_{23} + \alpha_9n_{11} + \alpha_{10}n_{21} + \\ &\quad + \alpha_{11}n_{12} + \alpha_{12}n_{22} + \alpha_{13}n_{13} + \alpha_{14}n_{23}), \end{aligned} \quad (4)$$

где индекс ( $I$ ) соответствовал ( $I-1$ ) левому и ( $I-2$ ) правому борту автомобиля, а индекс – 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  $V_0(20-100 \text{ км/час})$ , н.д.т.м. (40-100 %) – эффективности действия тормозных механизмов).

Коэффициенты уравнений регрессии показателей эффективности и устойчивости даны как для конечных параметров процесса торможения, так и для текущих с шагом  $\Delta T = 0,1 \text{ с}$ .

Анализ проведенных исследований позволил разработать следующую зависимость для показателя устойчивости торможения в функции времени

$$Z_{\text{ГАБ}} = 0,5\text{sign}(Z_{\text{ГАБ}})B_a + tV_0^{5/2} \sum_i \sum_j C_j n_{ij}. \quad (5)$$

Результаты, полученные по этой формуле и расчетным путем для широкого изменения ряда эксплуатационных и конструктивных факторов ( $V_0, \varphi$ ), 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  $\varphi = 0,65$   $C_1 = 0,0004 \pm \pm 0,00005$ , а  $C_2 = 0,00038 \pm 0,00002$ .

### Библиографический список

1. Иванова, В.М., Математическая статистика / В.М. Иванова, В.Н. Калинина, Л.А. Нешумова и др. – М.: Высшая школа, 1981. – 371 с.
2. Львовский, Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1982. – 224 с.
3. Поллард, Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Дж. Поллард. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с.
4. Себер, Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер. – М.: Мир, 1980. – 456 с.
5. Смоляк, С.А. Устойчивые методы оценивания: Статистическая обработка неоднородных совокупностей / С.А. Смоляк, Б.П. Титаренко. – М.: Статистика, 1980. – 208 с.
6. Химмельблау, Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1973. – 957 с.
7. Нелинейное оценивание параметров. – М.: Статистика, 1979. – 349с.
8. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 397 с.

## ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Е.П. ЯСЕНКОВ, доц. каф. машиноведения и деталей машин ГОУВПО «БрГУ», канд. техн. наук

Все известные в настоящее время методы планирования периодичности технического обслуживания (ТО) отдельных агрегатов и узлов автомобиля можно разделить на 3 группы – [1]:

- 1) простейшие – по изменению внешнего вида объекта (метод аналогий и сопоставлений);
- 2) статистические – по допустимому уровню вероятности безотказной работы (техничко-экономический, экономико-вероятностный и метод статистических испытаний);
- 3) по допустимому значению и закономерности изменения технического параметра объекта.

Анализ существующих методов определения периодичности ТО позволяет отметить, что все они предназначены для реализации тактики проведения ТО и ТР по наработке, т.е. для среднестатистического автомобиля.

По мнению автора статьи, наиболее перспективным методом, требующим дальнейшего развития, является метод статистических испытаний. Этот метод может быть использован для планирования на ЭВМ оптимальной периодичности ТО для каждого автомобиля в отдельности. Кроме того, метод статистических испытаний позволяет определить также и оптимальную периодичность диагностирования технического состояния отдельных элементов автомобиля для сокращения непроизводительных простоев автотранспорта в ТО и текущем ремонте (ТР).

Для совершенствования системы ТО и ремонта (Р) автомобилей не менее важным, чем определение оптимальной периодичности ТО ( $L_{ТО}^{OPT}$ ), является выбор необходимого перечня операций ТО и номенклатуры сопутствующего ремонта для конкретных условий эксплуатации [1, 2].

Для сокращения простоев автопарка при техническом обслуживании после определения периодичности ТО отдельных агрегатов и узлов автомобиля должна производиться их группировка (концентрация) для каждого вида ТО.

Группировка операций ТО может производиться несколькими методами: технико-экономическим, по стержневым операциям или группам

операций, методом естественной группировки [1, 3]. Недостатком этих методов является то, что все они не предусматривают корректирование состава работ ТО-1 и ТО-2 в зависимости от сезона года, модели автомобиля и внешних факторов.

Вместе с тем, в Положении [2] для дизельных автомобилей предусмотрено проведение до 75 операций ТО-1 и около 130 операций ТО-2. В заводских инструкциях по эксплуатации грузовых автомобилей количество регламентных работ сокращено, но и там нет рекомендаций по их оперативному корректированию.

В Положении [2] отмечается, что для снижения удельных затрат  $C_{ТО, ТР}$  по сравнению с ремонтом по потребности, часть работ ТР малой трудоемкости и технологически связанных с техническим обслуживанием рекомендуется выполнять во время ТО как сопутствующий ремонт. Приведены примерные перечни сопутствующего ТР: 38 операций – при ТО-1 и 100 операций – при ТО-2.

В работах [1, 2] приведена методика для определения перечня и периодичности работ планово-предупредительного ремонта (ППР) в условиях АТП. Для обоснования целесообразности проведения операций ППР во время ТО-1 и ТО-2 необходимо определить наработку на один случай ТР, коэффициент вариации этой наработки, соотношение материальных и трудовых затрат при выполнении ППР по сравнению с затратами при ремонте по потребности.

Из сказанного выше следует, что существующие методы группировки операций ТО не предусматривают их оперативное корректирование. При группировке операций нарушается оптимальная периодичность обслуживания отдельных агрегатов и узлов автомобиля. Поэтому после планирования оптимальной  $L_{ТО}^{OPT}$  автомобиля необходимо определить оптимальную периодичность ТО наиболее важных элементов автомобиля, от технического состояния которых в значительной мере зависят эксплуатационные свойства подвижного состава (тягово-скоростные, тормозные, топливная экономичность), технико-эксплуатационные (число дней эксплуатации,

общий пробег, производительность автомобиля) и технико-экономические показатели работы автомобильного транспорта (доход, себестоимость перевозок, прибыль).

В СССР работы по изучению воздействия внешних факторов на техническое состояние автомобиля проводились многими учеными в 50–60 гг. XX в. При этом условия эксплуатации изучались, главным образом, для совершенствования конструкции автомобилей и разработки специализированного подвижного состава [4].

К условиям эксплуатации относили транспортные, дорожные и природно-климатические условия района перевозок [4]. Транспортные условия характеризовались следующими факторами: вид груза, объем перевозок, дальность перевозок, способы погрузки и выгрузки, режим работы автомобиля, вид маршрута, условия хранения, технического обслуживания и ремонта автомобилей [4]. Кроме того, в работе [5] названо качество эксплуатационных материалов. Дорожные условия определялись типом дорожного покрытия, рельефом местности, интенсивностью движения [4], а также сопротивлением движению автомобиля и элементами дороги в плане [5]. Природно-климатические условия региона определялись географическим положением района перевозок, которое характеризовалось величиной атмосферного давления, влажностью и температурой воздуха [4].

Подобная классификация условий эксплуатации сохранилась, практически без изменения, до настоящего времени. Дополнительно были выделены условия движения (городское, пригородное, междугородное) и сезонные условия региона [1, 2]. Совместное влияние транспортных и дорожных условий, а также условий движения учитывается при помощи пяти категорий условий эксплуатации [2].

В дальнейшем, по мере развития теории эксплуатационной надежности автомобилей, происходило углубленное изучение влияния внешних факторов на эффективность технической эксплуатации. Было также рассмотрено: влияние качества смазки и низких температур на надежность и эффективность автотранспорта; влияние качества вождения, технического обслуживания и ремонта на надежность автомобилей.

Наиболее системно, по нашему мнению, внешние факторы классифицированы Е.С. Кузнецовым в работе [1]. По его данным вопросы влияния производственной базы, условий эксплу-

атации, работы персонала, системы снабжения и резервирования на эффективность ТЭА практически не исследованы.

В Положении [2] предусмотрено ресурсное корректирование периодичности ТО автомобилей в зависимости от категории условий эксплуатации (через коэффициент  $K_1$ ) и природно-климатических условий региона ( $K_3$ ). Вместе с тем очевидно, что периодичность ТО должна определяться также в зависимости от технического состояния (или «возраста») и модели подвижного состава, организации ТО и ТР автомобилей в конкретном АТП, сезонных условий эксплуатации, квалификации водителей и других факторов.

Необходимость такого корректирования периодичности ТО автомобилей отмечена в работах [6, 7 и др.] и других авторов. Недостатком всех известных методик корректирования является то, что все они предназначены для среднестатистического, а не каждого отдельного автомобиля.

Из сказанного выше следует, что в настоящее время изучается, главным образом, влияние условий эксплуатации или других отдельных групп внешних факторов на совершенствование системы и организации ТО и Р автомобилей без комплексной оценки воздействия всех групп внешних факторов на эффективность технической эксплуатации и автомобильного транспорта в целом.

### Выводы

1. Наиболее перспективным методом, требующим дальнейшего развития, является метод статистических испытаний. Этот метод может быть использован для планирования на ЭВМ оптимальной периодичности ТО для каждого автомобиля в отдельности.

2. При назначении режимов ТО не учитывается совокупное влияние внешних факторов и сезона эксплуатации на интенсивность изменения технического состояния автомобиля.

3. При проведении ТО автомобиля нарушается оптимальная периодичность обслуживания отдельных его элементов.

4. Существующими методиками не предусмотрено корректирование перечня операций ТО и номенклатуры сопутствующего ТР в зависимости от сезона года, модели автомобиля и внешних факторов.

Поэтому целью научных исследований, выполняемых автором, является разработка методики планирования оптимальных режимов

технического обслуживания любых автомобилей (лесовозных, грузовых, легковых и автобусов).

*Научная новизна* работы заключается в разработке новой методики, которая может быть применена для планирования оптимальной периодичности ТО автомобиля в целом или отдельных его элементов, от технического состояния которых зависят безопасность, экологичность и другие эксплуатационные показатели с учетом сезона года, модели транспортного средства и внешних факторов. Периодичность ТО определяется для каждого отдельного, а не среднестатистического, автомобиля.

Данная методика может быть использована также и для планирования оптимальной периодичности углубленного диагностирования технического состояния и ТО отдельных агрегатов и узлов автомобиля. Кроме того, необходимо разработать методику корректирования состава работ ТО в зависимости от сезона года, модели автомобиля и внешних факторов, которая позволяет сократить

непроизводительные простои подвижного состава в ТО и ТР и повысить эффективность ТЭА.

### Библиографический список

1. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей – 2-е изд., перераб. и доп. / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
2. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Мин-во автомоб. трансп. РСФСР. – М.: Транспорт, 1988. – 78 с.
3. Эксплуатация дорожных машин / А.М. Шейнин, А.П. Крившин, Б.И. Филиппов и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 336 с.
4. Автомобильные транспортные средства / Д.П. Великанов, В.И. Бернацкий, Б.Н. Нифонтов и др.; под ред. Д.П. Великанова. – М.: Транспорт, 1977. – 326 с.
5. Мирошников, Л.В. Основы технической эксплуатации автомобилей / Л.В. Мирошников. – М.: Высшая школа, 1966. – 128 с.
6. Прудовский, Б.Д. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям / Б.Д. Прудовский, В.Б. Ухарский. – М.: Транспорт, 1990. – 239 с.
7. Резник, Л.Г. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДАМИ ДИСКРЕТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Ф.В. ПОШАРНИКОВ, *проф., зав. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства ВГЛТА, действительный член Академии естествознания РФ, д-р техн. наук,*  
 А.С. ЧЕРНЫХ, *доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства ВГЛТА, канд. техн. наук*

Эффективность работы деревообрабатывающего предприятия в значительной степени зависит от правильного выбора состава технологического оборудования и режимов его функционирования.

В процессе работы лесопильного предприятия нередко возникают ситуации, когда намеченные объемы выпуска продукции требуемого качества недостаточно согласуются с возможностями технологического оборудования, в результате чего часть оборудования в технологическом процессе не используется, а в некоторых случаях выполнение планов выпуска различных видов пиломатериала оказывается вообще невозможным. Указанное несоответствие может обнаруживаться уже в процессе работы предприятия, что требует изменения параметров технологической структуры или корректировки производственного задания. В свою очередь это приведет к большим дополнительным затратам, нарушит стабильность производственного процесса и, в итоге, существ-

венно ухудшит экономические показатели производства. Поэтому большой практический интерес представляет решение задачи выбора оптимальной технологической структуры и режимов ее работы в конкретных условиях производства.

Повысить качество и исключить ошибки в технологических разработках возможно за счет анализа необходимого числа вариантов технологической структуры. При этом следует учитывать весь спектр параметров сырья и технологического оборудования, технико-экономических параметров (ТЭП), видов выпускаемой продукции и предъявляемых к ней качественных требований.

Технологическая структура лесопильного производства как сложная производственная система может быть представлена в виде ориентированного графа, который наиболее просто и наглядно отображает функциональную взаимосвязь технологического оборудования и предмета обработки. В процессе оптимизации технологической



структуры лесопильного производства решается задача поиска оптимального покрытия одного множества другим относительно выбранных критериев, то есть находится минимальное покрытие графа [1].

Формализованное представление решаемой задачи заключается в следующем: исходный граф размерных связей представляется матрицей инцидентности  $A_m = \| a_{ij} \|$ , в которой: строкам соответствует множество упорядоченных значений параметров обрабатываемых поверхностей ( $\hat{X}_{jn}^n$ ) и множество упорядоченных значений показателей эффективности технологического оборудования ( $\hat{P}_{T_{jm}}^{t_{0j}}$ ), а столбцам – множество технологического оборудования для выполнения операций цеха ( $t_{0j}^n$ ).

Особенностью данной процедуры является то, что первый столбец матрицы соответствует технологическому оборудованию с требуемыми значениями параметров ( $t_{0jm}$ ). Поэтому элементы матрицы для первого столбца определяются как

$$a_{jim} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } \hat{X}_{jn}^n \text{ инцидентна ребру } t_{0jm}, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

а для технико-экономических показателей – как

$$a_{jm} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } \hat{P}_{T_{jm}}^{t_{0j}} \text{ инцидентна ребру } t_{0jm} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (2)$$

Все остальные элементы матрицы, начиная со второго столбца, определяются в виде

$$a_{jim} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } \hat{X}_{jn}^n (\hat{P}_{T_{jm}}^{t_{0j}}) \text{ инцидентна ребру } t_{0jm} \\ 0, & \text{если нет} \end{cases} \quad (3)$$

Введя булевы переменные  $X_i$ , можно записать

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{ребро } t_{0j} \text{ войдет в покрытие,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (4)$$

Набор переменных  $X_i$  должен описывать покрытие строк столбцами матрицы  $A_m$ . Нахождение минимального покрытия эквивалентно минимизации

$$\sum_{i=i_1}^{i_{t_0}} X_i \Rightarrow \min, \quad i = i_1, i_2, \dots, i_n \quad (5)$$

При этом необходимо наложить дополнительные условия для того, чтобы каждая вершина была инцидентна хотя бы одному ребру

$$\sum_{i=i_1}^{i_{t_0}} a_{ij} X_i \geq \sum_{j=j_1}^{j_{m_0}} a_{jim}, \quad j = j_1, j_2, \dots, j_{m_0} \quad (6)$$

В таком виде комбинаторная задача покрытия графа сведена к линейной дискретной

задаче [3]. Оценка покрытия строк столбцами матрицы производится по значению показателя избыточности [2], который представлен как

$$K_u = \frac{\sum a_i}{\sum a_{ijm}}. \quad (7)$$

В результате оценки избыточности технологического оборудования по данным покрытия матрицы определяются значения показателя избыточности лесопильных, торцовочных и обрезных станков относительно требуемых значений параметров пиловочных бревен (первый ярус графа). По этим значениям при условии минимальной разницы можно компоновать технологические цепочки, а затем и всю технологическую структуру производства пиломатериалов.

Различное сочетание компоновочных схем дает множество допустимых вариантов технологической структуры для выполнения всего кортежа состояний выпускаемой пилопродукции, причем с различной степенью сложности.

Сложность технологической структуры можно определить анализом ее свойств. Математическую модель технологической структуры можно представить в виде гиперграфа, а всю информацию, содержащуюся в графе, представить в алгебраическом виде матрицей отношений, т.е. перевести структурные особенности на язык чисел. Например, исходный граф технологической структуры разрабатывается в виде иерархического графа (рисунок).

Иерархический направленный граф, имеющий 0, 1, 2, ..., k уровней, можно представить в виде композиции гиперграфов  $T_c^0, T_c^1, T_c^2, \dots, T_c^{k-1}$ . Для структуры графа на рисунке получим

$$T_c^0 = \{t_0^0, t_1^0\}, T_c^1 = \{t_2^1, t_3^1\}, T_c^2 = \{t_4^2, t_5^2, t_6^2\}, T_c^3 = \{t_7^3\}, \\ T_c^4 = \{t_8^4\}, T_c^5 = \{t_9^5, t_{10}^5\}, T_c^6 = \{t_{11}^6, t_{12}^6\} \quad (8)$$

Вся совокупность гиперграфов записывается матрицей инцидентности  $M_k = |a_j|$ , элементы которой определяются как

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } t_i^k \in \text{ребру} \\ 0, & \text{если нет.} \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, получим матрицы:

$$M_1 = \begin{matrix} & t_2 & t_3 \\ t_1 & |1 & 1| \end{matrix} \quad M_2 = \begin{matrix} & t_4 & t_6 \\ t_2 & |1 & 0| \\ t_3 & |0 & 1| \end{matrix} \quad M_2^1 = \begin{matrix} & t_5 & t_6 \\ t_4 & |1 & 1| \end{matrix} \quad M_3 = \begin{matrix} & t_7 \\ t_5 & |1 & 1| \\ t_6 & | & 1| \end{matrix} \\ M_4 = \begin{matrix} & t_8 & t_9 & t_{10} \\ t_7 & |1 & 1 & 1| \end{matrix} \quad M_5 = \begin{matrix} & t_9 & t_{10} \\ t_7 & |1 & 1| \end{matrix} \quad M_2 = \begin{matrix} & t_{11} & t_{12} \\ t_9 & |1 & 0| \\ t_{10} & |0 & 1| \end{matrix}$$

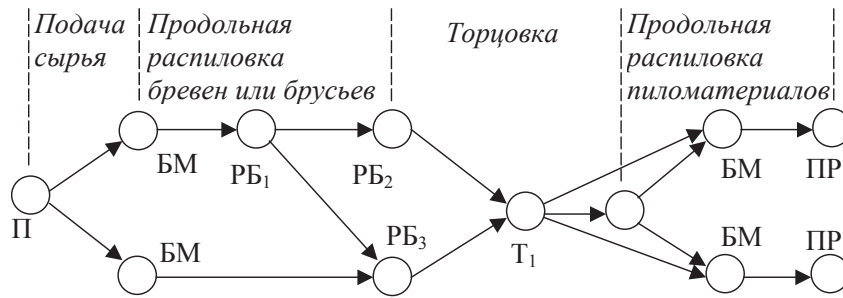


Рисунок. Иерархический граф технологической структуры лесопиления

Перемножив матрицы гиперграфов, получим матрицу  $M_{\text{общ}} = |p_{ij}|$  размерности  $m_1, m_2$ .

$$M_{\text{общ}} = M_1 \times M_2 \times M'_2 \times M_3 \times M_4 \times M_5 \times M_6 = t_1 \begin{vmatrix} t_{11} & t_{12} \\ 4 & 3 \end{vmatrix} \quad (10)$$

$m_1 = 1, m_2 = 2, \rho_{1,11} = 4, \rho_{1,12} = 3$

Значение показателя сложности можно вычислить по формуле [2, 4]

$$K_c = \frac{1}{m_1 m_2} \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} \rho_{ij} - 1, \quad (11)$$

где  $m_1, m_2$  – число висячих и тупиковых вершин соответственно;

$\rho_{ij}$  – число различных путей, ведущих от  $i$ -й висячей вершины в  $j$ -ю тупиковую вершину графа.

Используя показатель сложности и вычислительный метод, можно сделать количественную оценку начиная от структуры установки и кончая технологической структурой.

Сформированные по показателю избыточности и оцененные по показателю сложности множества допустимых вариантов можно считать эффективными, удовлетворяющими необходимым требованиям.

Для более глубокого анализа качества технологической структуры и ее элементов помимо основных структурно-топологических характеристик могут использоваться и дополнительные, такие, как структурная компактность и степень централизации.

Структурная компактность отражает близость элементов системы и определяется через минимальную длину пути для ориентированного графа и цепи – для неориентированного. Структурную компактность также можно характеризовать диаметром структуры и определять по формуле

$$K_K = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij}, \quad (i \neq j), \quad (12)$$

где  $R_{ij}$  – элементы матрицы графа  $G$  с  $i$ -ми начальными вершинами и  $j$ -ми конечными вершинами.

Степень централизации характеризует неравномерность загрузки элементов системы и распределения связей (потоков материальных и информационных).

В условиях рыночных отношений необходимо предусматривать быструю смену номенклатуры выпускаемых изделий из древесного сырья. Это можно достичь путем внедрения в производство пиломатериалов гибких технологий, которые легко приспосабливаются к изменяющимся параметрам обрабатываемого сырья и полуфабрикатов при производстве потребного количества видов продукции. В лесопилении при этом имеется в виду прежде всего обеспечение возможности изменения схем раскроя сырья при изменении размеров поступающих в распиловку бревен.

Поэтому для установления возможностей технологической структуры лесопиления необходимо определение структурной гибкости, которая может быть представлена в нескольких вариантах, например, отношением числа возможных схем раскроя к числу выпускаемых видов продукции и др.

При использовании предложенного метода для оценки эффективности технологических структур лесопиления в ряде лесхозов Воронежской области были получены значимые результаты.

1. Структурная избыточность изменяется в пределах  $K_H = 0,12-1,93$  (оптимально  $K_H = 1,0$ ), что говорит о неверном подборе оборудования относительно обрабатываемого сырья и требований к продукции по качеству. В среднем оборудование остается загруженным только на 38–55 % мощности, что существенно отражается на технико-экономических показателях производства. Сложность структур находится на уровне  $K_C = 2,45-2,55$ , откуда можно заключить, что глубина переработки древесного сырья невысока. Данные технологические структуры является структурами невысокой сложности, а элементы структур (оборудование) загружены неравномерно.

2. Структурная компактность ( $K_K = 1,15$ ) и степень централизации ( $K_{Ц} = 1,1$ ), для исследованных структур близки к оптимальным величинам. Это говорит о небольших объемах переработки древесины на малых производственных мощностях.

Таким образом, предлагаемый метод оценки и проектирования гибких технологий и разработанные на его основе алгоритмы содержат комплекс частных моделей: (геометрических, технологических и технико-экономических), а разработанная методика оптимизации позволяет трансформировать геометрические модели в технологические при оценке по технико-экономическим моделям.

Предлагаемый метод и разработанные на его основе алгоритмы могут найти широкое применение для проектирования и оценки технологических структур не только в лесопильном

производстве, но и в других отраслях промышленности, где в основе производства лежит геометрия сырья и изделия.

#### Библиографический список

1. Пошарников, Ф.В. Формирование упорядоченного кортежа состояний поверхностей бревен пиловочных и пиломатериалов / Ф.В. Пошарников, А.С. Черных // Природопользование, ресурсы, техническое обеспечение: Межвузовск. сб. н. тр. – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – С. 103 – 106.
2. Метод решения задач о покрытии при синтезе технологической структуры первичной обработки древесины / В.В. Дорошенко, Л.В. Леонов // оборудование и автоматизация деревообрабатывающих производств / научн. тр. – Вып. 291. – М.: МГУЛ, 1997. – С. 45–48.
3. Юдин, Д.Б. Вычислительные методы теории принятия решений / Д.Б. Юдин. – М.: Наука, 1989. – 360с.
4. Shernih, A.S. Multiple projection of flexible economical techniques of wood processing under condition of a competition in saw production markets // Third Balkan scientific conference: study, conservation and utilization of forest resources, Volume IV, Sofia. 2...6 October, 2001. S. 124–129.

## ТЕХНИКА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

Р.С. МИХЕЕВ, *асп. каф. экономической кибернетики Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова*

Среди важнейших показателей, характеризующих современное состояние сельского хозяйства, можно отметить наличие и состояние основных средств производства, финансовое состояние предприятий и их возможность по самостоятельному финансированию новых наукоемких технологий, применение интенсивных технологий и др.

Низкий уровень технического обеспечения технологий производства выдвигает на первый план решение проблемы технического переоснащения отрасли на базе более производительной техники с высокими качественными параметрами (надежность и долговечность) и непрерывным выполнением агротехнических требований. Обеспеченность необходимой сельскохозяйственной техникой в Российской Федерации на начало 2006 г. соответственно составляла: тракторами – 51 %, зерноуборочными комбайнами – 50 %, плугами – 36 %, культиваторами – 58 %, сеялками – 57 %, косилками – 53 %, значит, и качество выполнения мероприятий по возделыванию сельскохозяйственных культур оставляет желать лучшего.

Эффективность применения машинно-тракторного парка зависит от многих условий

и факторов производства. Поэтому важно из их множества выбрать и определить такие, которые на данном этапе развития производительных сил являются главными, оказывают решающее влияние на эффективность использования механических средств.

Конечный экономический эффект как в целом по агропромышленному комплексу, так и в отрасли сельского хозяйства зависит от учета наиболее значимых факторов и в соответствии с этим от рационального использования всех ресурсов, позволяющих придерживаться нормативного уровня затрат. При этом необходимо принимать во внимание влияние внешних условий, таких, как ситуация на рынке, экономическая политика государства, развитие инфраструктуры, миграционные процессы, научно-технический прогресс.

Под эффективностью сельскохозяйственной техники следует понимать степень влияния ее потенциальных возможностей на увеличение производства продукции и снижение ее себестоимости, а под эффективностью ее использования – фактическую реализацию этих возможностей. Но в структуру себестоимости продукции, кроме эксплуатационных затрат, включаются также за-

траты, связанные с эксплуатацией оборудования, производственных помещений, общепроизводственные и общехозяйственные расходы. Поэтому для того чтобы полнее выявить непосредственную роль использования техники, необходимо эффект соотносить с ресурсами (затратами), связанными с эксплуатацией средств механизации.

При выборе конкретных показателей, характеризующих использование техники, необходимо избегать две крайности. Во-первых, нельзя отождествлять полное и рациональное использование машинно-тракторного парка с вопросами эффективности применения техники в сельском хозяйстве вообще. Во-вторых, нельзя ограничиваться показателями, характеризующими уровень выработки машин и расходов на их содержание. Например, повышение годовой выработки машин, как правило, достигается за счет удлинения сроков проведения работ. В этом случае сосредоточение внимания только на выработку без учета сроков выполнения работ и их качества, естественно, не способствует повышению урожайности культур, что отрицательно влияет на уровень производства продукции полеводства.

Обобщая существующие в экономической науке классификации факторов эффективности использования сельскохозяйственной техники, считаем целесообразным объединить их в десять групп.

1. Законодательно-правовые и нормативные: организационно-правовые факторы функционирования предприятия, государственное регулирование деятельности, особенности налогообложения, государственная поддержка (дотации, льготы и др.).

2. Экономические: экономический механизм межхозяйственных и внутрихозяйственных отношений, макро- и микроэкономические факторы формирования рыночной среды, в которой функционирует предприятие.

3. Мотивационные: факторы направления коллектива к эффективной трудовой деятельности с соблюдением всех необходимых технологических, экологических и пр. требований.

4. Природно-климатические: природно-климатические факторы, оказывающие влияние на осуществление деятельности предприятия (температура и влажность воздуха и почвы, водно-тепловой режим возделывания сельскохозяйственных культур, параметры рельефа, контурность полей, состав почвы).

5. Организационные: организация труда и управления (НОТ, распределение техники), организационно-производственная структура предприятия и т.д.

6. Агротехнические: технология возделывания сельскохозяйственных культур (сроки проведения полевых работ, нормы внесения удобрений, глубина воздействия на почву и т.д.).

7. Технические: обеспеченность средствами механизации, необходимыми оборотными средствами (ГСМ, запасные части и т.д.), способы агрегатирования машинно-тракторных узлов.

8. Экологические: соблюдение требований по экологической безопасности производства, обеспечение воспроизводства почвенного плодородия и пр.

9. Эргономические: соответствие условий труда биологическому равновесию человеческого организма, сохранению здоровья работающего, рациональный режим труда и отдыха, обеспечение нормального воспроизведения трудовых ресурсов на предприятии.

10. Трудовые: обеспеченность предприятия необходимыми трудовыми ресурсами, соответствие квалификации работников выполняемым работам, возможность повышения производственных навыков, повышения производительности труда за счет роста профессионализма работников.

В современных условиях хозяйствования, в основном, весь прирост производства сельскохозяйственных продуктов и сырья осуществляется только за счет увеличения интенсивности использования ресурсов. Учитывая это, следует различать эффективность сельскохозяйственного производства не только по трем уровням: сельскохозяйственного предприятия, отраслей и внутрихозяйственных производственных трудовых коллективов, но и по двум направлениям. Первое показывает рентабельность хозяйствования, которая выражается отношением полученных результатов к приведенным затратам. Второе – рост производительности труда, повышение фондоотдачи и снижение материалоемкости сельскохозяйственной продукции, т.е. характеризует результативность использования трудовых и материальных ресурсов.

Рассматриваемые факторы должны быть «соединены» в одно целое, чтобы максимально удовлетворять требованиям повышения экономической эффективности деятельности предприятий.



**Эффективность реализации продукции растениеводства в СХПК «Екатериновский» с учетом оптимизации машинно-тракторного парка**

Показатели	По данным на 01 января 2006 г.	Проектные значения	Отклонения расчетных значений от фактических	
			+, –	%
Доля амортизационных отчислений в затратах на основное производство, %	4,6 %	9,7 %	–5,1 %	111,4 %
Доля затрат на ГСМ в затратах на основное производство, %	17,5 %	21,1 %	–3,6 %	20,7 %
Затраты на основное производство, тыс. р.	28 594,0	34 115,0	–5 521,0	19,3 %
Выручка от реализации продукции растениеводства, тыс. р.	14 859,0	20 954,2	–6 095,2	41,0 %
Себестоимость реализованной продукции растениеводства, тыс. р.	13 030,0	17 055,0	–4 025,0	30,9 %
Прибыль, тыс. р.	1 829,0	3 899,2	–2 070,2	113,2 %
Уровень рентабельности, %	14,0 %	22,9 %	–8,8 %	62,9 %

Решающим фактором повышения эффективности капитальных вложений в механические средства на сельскохозяйственных предприятиях является обоснование оптимального состава парка машин, что позволяет определить его рациональный состав. Комплекс машин должен быть оптимизирован по критериям материальных затрат и затрат труда, энергоресурсов, должен обеспечивать облегчение условий труда.

При выборе критерия оптимизации машинно-тракторного парка мы остановились на критерии минимума затрат на ГСМ и сформулировали задачу оптимизации следующим образом: определить такой состав машинно-тракторного парка, который обеспечит выполнение всех работ в оптимальные агротехнические сроки при минимальном расходе топлива.

При решении оптимизационной задачи на базе СХПК «Екатериновский» Екатериновского района Саратовской обл. была определена потребность в ГСМ в размере 432,7 т, при фактических затратах по ценам 2005–2006 гг. более 7,2 млн р. Заметим, что по данным хозяйства на ГСМ в 2005 г. было потрачено более 5 млн р. Увеличение затрат на ГСМ обусловлено в данном случае необходимостью для выполнения всех технологических операций в оптимальные сроки доукомплектования машинно-тракторного парка в составе 15 тракторов и 9 комбайнов, то есть более чем на 40 % их фактического наличия.

Ограниченные средства сельских товаропроизводителей не позволяют расширить состав машинно-тракторного парка на заданную вели-

чину одновременно, поэтому мы рекомендуем осуществлять приобретение техники по мере возникновения такой возможности.

Доукомплектование машинно-тракторного парка до оптимального состава осуществляется после истечения сроков окупаемости предыдущих вложений. Оптимизация парка технических средств даст наибольший эффект только в результате проведения мероприятий по рационализации организации его использования, среди которых мы выделяем мероприятия по оптимизации использования горюче-смазочных материалов и совершенствование ремонтной базы предприятий.

Нельзя говорить, что всякая новая сельскохозяйственная техника будет способствовать росту производительности и экономической эффективности сельского хозяйства. При применении техники необходимо тщательным образом соблюдать и агротехнические требования, и возможности техники, и особенности возделывания сельскохозяйственных культур в различных микроразонах области, и, конечно же, стоимость приобретения и эксплуатации новых энергетических машин и агрегатов.

На выбор используемых агрегатов безусловно влияют все упомянутые факторы, но их преодоление и соблюдение использования современной сельскохозяйственной техники позволяет снизить затраты материальных, трудовых и энергоресурсов и, в результате, обеспечить рост экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

## МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА КАЛИБРОВКИ ВИХРЕТОКОВЫХ ДАТЧИКОВ

Ю.П. БАТЫРЕВ, *ст. науч. сотр. НИЧ, МГУЛ*

Для контроля вибрационного состояния различного энергетического оборудования находит широкое применение аппаратура, использующая метод вихревых токов. Базовая комплектация такой аппаратуры, как правило, состоит из 4-х основных измерительных каналов [1]:

- канала измерения осевых смещений (ОС);
- 2 каналов измерения виброперемещений по координатам X и Y (ОВ);
- канала измерения числа оборотов (ТХ).

Измерительный канал состоит из вихревого датчика с блоком согласования и блока вторичной обработки информации и визуализации. При этом рабочий диапазон частот измерительного канала при контроле осевых смещений составляет, как правило, 0–10 000 Гц, а при контроле виброперемещений может достигать до 25 000 Гц с амплитудами до 1000 мкм.

В процессе изготовления, настройки и испытания базовой модели такой аппаратуры возникает необходимость контроля как статических, так и динамических (амплитудно-частотных) характеристик измерительных каналов. Для контроля диапазона измерения и его линейности обычно используется юстировочный механизм с микрометрическим устройством (рис. 1).

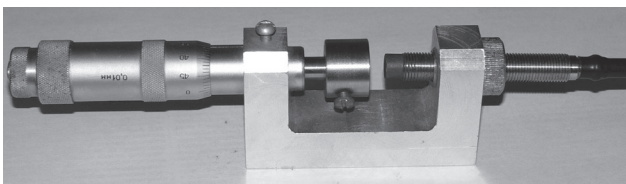


Рис. 1. Юстировочное устройство с датчиком

Настройка статической характеристики измерительного канала происходит путем задания эталонного зазора между головкой датчика и образцовым металлическим объектом, закрепленным на юстировочном устройстве с контролем выходного напряжения, или тока, по которому оценивается нелинейность градуировочной характеристики канала по формуле

$$d_{J_i} = \frac{J_{изм_i} - J_{обр_i}}{J_{max} - J_{min}} \cdot 100\%,$$

где  $J_{изм_i}$  – измеренное значение выходного сигнала при  $i$ -м значении измеряемого параметра;

$J_{обр_i}$  – образцовое значение выходного сигнала при  $i$ -м значении измеряемого параметра;

$J_{max}$  и  $J_{min}$  – максимальное и минимальное значения выходного сигнала на границах диапазона измерения.

Для контроля динамических характеристик измерительного канала в настоящее время нашли применение специальные калибровочные стенды, позволяющие имитировать работу вращающегося вала в лабораторных условиях. Калибровочный стенд представляет собой электромотор, на валу которого закреплен диск из образцового металла. Внешняя поверхность диска обработана таким образом, что образуется небольшой угол между плоскостью головки датчика, установленного вертикально, и поверхностью диска. Датчики закрепляются на стенде с помощью микрометрических держателей с возможностью их перемещения вдоль горизонтальной и вертикальной осей. Это позволяет устанавливать датчики в любое место и на любом расстоянии относительно диска, задавая с высокой точностью как установочный зазор, так и амплитуду вибрации. Для проверки канала тахометра на диске имеется измерительный паз. Схема управления электромотором позволяет задавать требуемую скорость вращения вала и соответственно частотный диапазон вибрации. Стенд позволяет имитировать вибрацию с амплитудой от 0 до 500 мкм и частотой от 4 до 100 Гц. Внешний вид калибровочного стенда показан на рис. 2.

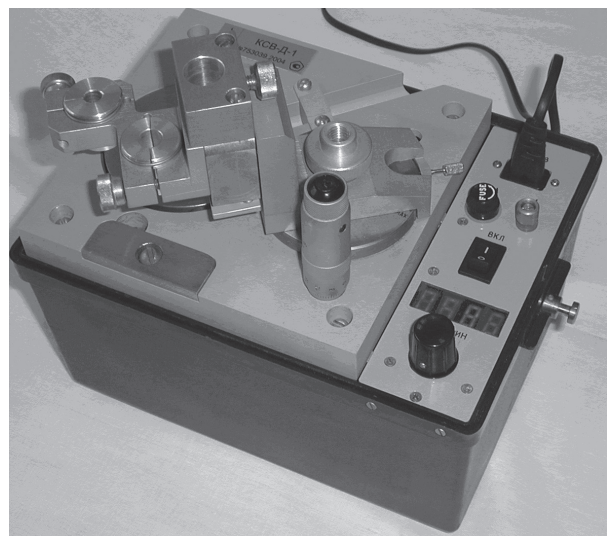


Рис. 2. Калибровочный стенд КСВ-Д-1

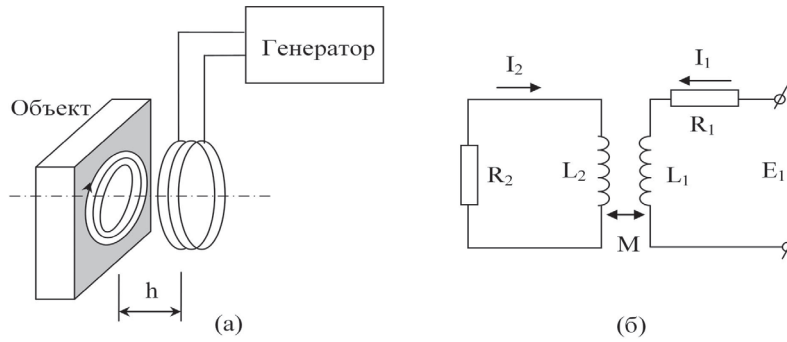


Рис. 3. Взаимодействие датчика с объектом

Для контроля полосы пропускания головка датчика устанавливается на расстоянии 1–1,5 мм от диска вибростенда. При работе вибростенда зазор между контролируемым объектом и датчиком меняется с частотой и амплитудой, задаваемой оператором, а измерительный сигнал контролируется на выходе блока согласования.

Такая методика, хотя и позволяет проводить контроль и аттестацию вихретоковых каналов, требует применения дорогостоящего оборудования, при этом возможности применяемого оборудования не всегда могут соответствовать требуемым частотным или амплитудным характеристикам измерительного канала. Основной недостаток вибростенда – невысокие динамические свойства, сложность, энергоёмкость, наличие подвижных вращающихся частей, а также высокая стоимость.

Вместе с тем известно, что чувствительный элемент вихретокового датчика в виде измерительной обмотки, расположенной вблизи проводящего объекта (рис. 3а), представляет собой эквивалентную систему связанных контуров (рис. 3б), где  $L_1$  – индуктивность катушки,  $L_2$  – эквивалентная индуктивность объекта,  $R_1$  – омическое сопротивление катушки,  $R_2$  – эквивалентное сопротивление объекта,  $M = k\sqrt{L_1 \cdot L_2}$  – взаимная индуктивность,  $k$  – коэффициент связи катушки с объектом. Благодаря вихревым токам, текущим в проводящем объекте, в измерительную обмотку датчика вносится эквивалентное сопротивление, величина которого является функцией зазора между датчиком и объектом. Изменяя эквивалентное сопротивление, вносимое в измерительную обмотку датчика, имитируют изменение величины зазора.

Первичная цепь с катушкой датчика и источником питания  $E_1$  может быть описана уравнением

$$(R_1 + j\omega L_1) \cdot I_1 + j\omega M I_2 = E_1, \quad (1)$$

а вторичная цепь (объект контроля) – уравнением

$$(R_2 + j\omega L_2) \cdot I_2 + j\omega M I_1 = 0, \quad (2)$$

где  $\omega$  – круговая частота тока.

Отсюда можно получить [2]

$$\left[ R_1 + \frac{M^2 \omega^2}{R_2^2 + L_2^2 \omega^2} R_2 + j\omega \left( L_1 - \frac{M^2 \omega^2}{R_2^2 + L_2^2 \omega^2} L_2 \right) \right] \cdot I_1 = E_1. \quad (3)$$

Импеданс первичной цепи изменяется из-за связи с вторичной цепью. Присутствие металлического тела вблизи катушки уменьшает ее индуктивность на величину  $L_{\text{вн}}$  и увеличивает сопротивление на величину  $R_{\text{вн}}$  следующим образом:

$$L_{1\text{экв}} = L_1 - \frac{M^2 \omega^2}{R_2^2 + L_2^2 \omega^2} L_2 = L_1 - k^2 L_1, \quad (4)$$

$$R_{1\text{экв}} = R_1 + \frac{M^2 \omega^2}{R_2^2 + L_2^2 \omega^2} R_2 = R_1 + k^2 \frac{L_1}{L_2} R_2, \quad (5)$$

учитывая, что на высоких частотах для объекта из материала с высокой проводимостью  $R_2 \ll \omega L_2$ .

Вносимое  $R_{\text{вн}}$  и, соответственно, активное эквивалентное  $R_{1\text{экв}}$  сопротивление можно менять в широких пределах. Тогда если перед обмоткой датчика  $L_1$  установить индуктивность  $L_2$  и шунтировать ее переменным сопротивлением  $R_2$ , то можно менять в широких пределах  $R_{\text{вн}}$  (потери), т.е. осуществить имитацию внесения образца контроля. Учитывая, что импеданс обмотки датчика, работающей в резонансном режиме, чисто активный, можно считать, что изменение  $R_{\text{вн}}$  преобразуется в выходной сигнал обмотки, пропорциональный изменению расстояния  $h$  между датчиком и катушкой.

При использовании полевого транзистора [3] в качестве управляемого резистора  $R_2$  связь между вносимым сопротивлением и синусоидальным изменением сопротивления канала  $R_{\text{кан}}$  полевого транзистора определяется выражением

$$R_{\text{вн}} = k^2 \frac{L_1}{L_2} R_{\text{кан}} \sin \Omega t. \quad (6)$$

Как показано в [4], изменение активного сопротивления  $R_{вн}$ , преобразуется электронной частью датчика в выходной сигнал, пропорциональный изменению расстояния  $h$  от обмотки датчика до объекта контроля. Если активное сопротивление контура  $R_{1экв}$  изменяется по закону вибрации объекта как

$$R_{1экв} = R_1 + R_{вн} \cdot \sin \Omega t, \quad (7)$$

то и демодулированное напряжение  $U$  на выходе датчика будет связано с законом изменения  $R_{вн}$

$$U = U_0 \frac{R_{вн}}{R_0} \sin \Omega t, \quad (8)$$

где  $\Omega$  – круговая частота виброперемещения.

Таким образом, изменяя напряжение на затворе полевого транзистора, можно имитировать расстояние между обмоткой и объектом, а подавая на затвор синусоидальное напряжение, – имитировать вибрацию объекта в широком диапазоне частот.

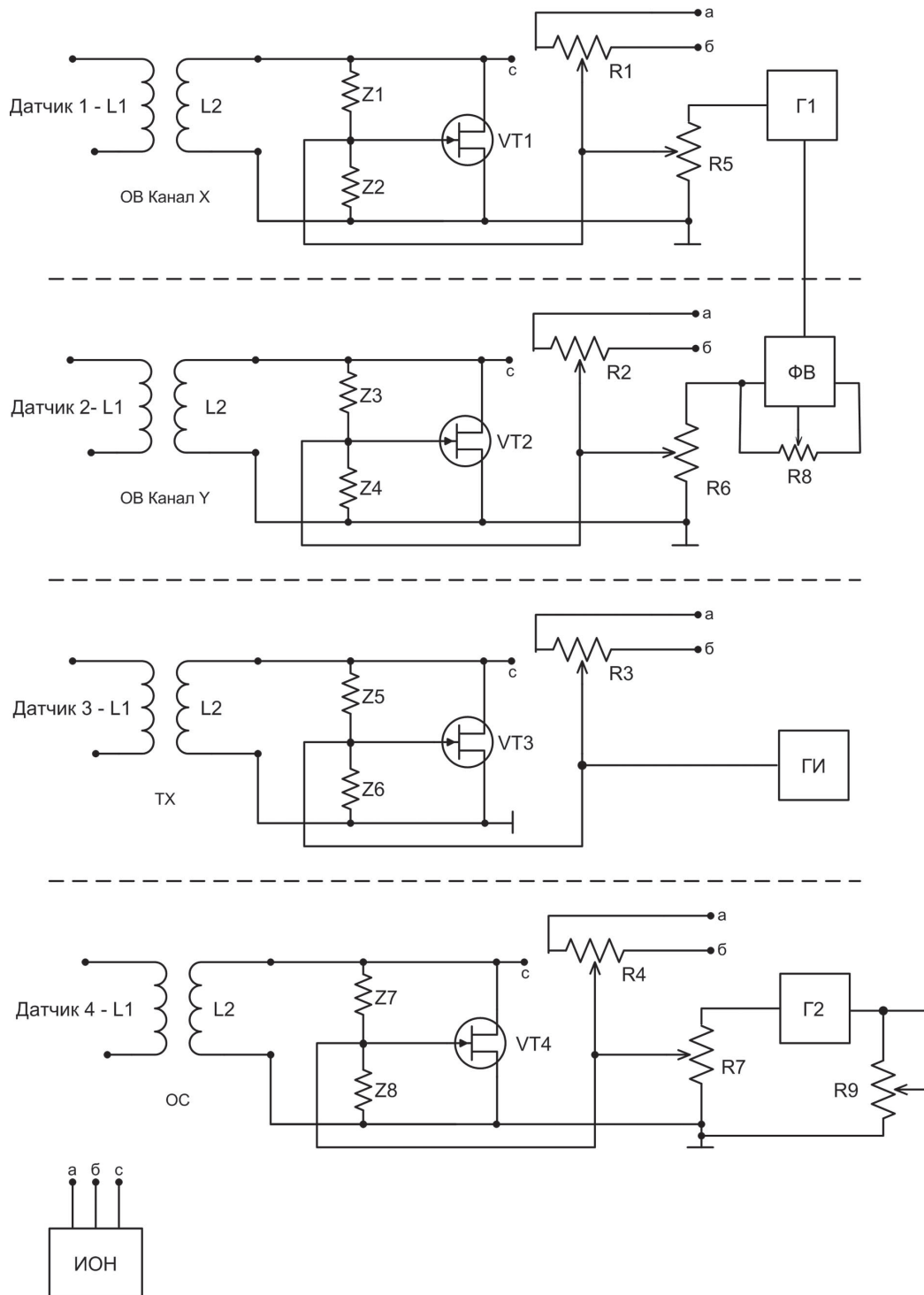


Рис. 4. Структурная схема электронного 4-канального имитатора



Для проведения комплексного контроля всех 4 каналов (ОВ, ОС, ТХ) базовой аппаратуры был разработан 4-канальный имитатор вихретоковых нагрузок, структурная схема которого показана на рис. 4.

Имитатор содержит четыре катушки индуктивности L1 – L4, в качестве которых использованы чувствительные элементы вихретоковых датчиков, представляющие собой спиральную обмотку из многослойной печатной платы. Параллельно каждой катушке L1 – L4 подключены полевые транзисторы VT1 – VT4, играющие роль управляемых активных сопротивлений. Затворы полевых транзисторов VT1 – VT4 соединены с переменными резисторами R1 – R4, которые питаются от источника опорного напряжения (ИОН) и обеспечивают имитацию установки исходного зазора  $h$  для испытываемых датчиков, которые установлены перед катушками индуктивности L1 – L4.

Затворы транзисторов VT1, VT2, VT4 подключены также к выходу соответствующих переменных резисторов R5, R6 и R7, регулирующих амплитуду имитируемого виброперемещения. Имитатор содержит также перестраиваемый генератор Г1, выход которого соединен с резистором R5, регулирующим амплитуду колебаний  $A_x$  на обмотке L1 (канал X) и через фазовращатель (ФВ) с переменным резистором R6 регулирующим амплитуду колебаний  $A_y$  на обмотке L2 (канал Y). Фаза колебаний в канале Y изменяется переменным резистором R8 в пределах от 0° до 180°.

В канале тахометра используется генератор несимметричных прямоугольных импульсов (ГИ) с большой скважностью. Рабочая частота ГИ может плавно изменяться, создавая имитацию вращения вала в пределах от 1 до 200 000 об/мин.

В тракте канала ОС используется широкополосный синусоидальный генератор Г2, амплитуда которого меняется переменным резистором R7, а частота – переменным резистором R9 от 10 Гц до 25 000 Гц.

Из приведенных соотношений (4–5) следует, что, изменяя величины  $L_2$ ,  $R_2$ , достигают изменения  $Z_{вн}$  ( $L_{вн}$  и  $R_{вн}$ ) в первичном контуре, т.е., осуществляют имитацию внесения образца контроля в зону чувствительного элемента вихрето-

кового датчика. Изменение комплексного сопротивления VT1 преобразуется электронной схемой в выходной сигнал датчика, пропорциональный изменению расстояния от чувствительного элемента датчика до объекта контроля. Таким образом, изменяя смещение на затворе полевого транзистора VT1, имитируют изменение зазора между чувствительным элементом датчика и объектом, а подачей переменного (вибрационного) сигнала на затвор имитируют вибрацию объекта. Тем самым создают возможность проверки амплитудно-частотной характеристики первичного датчика в широком диапазоне вибрации и величин зазоров.



Рис. 5. Имитатор вихретоковых нагрузок

Разработанный 4-канальный электронный имитатор (рис. 5) и микрометрическое юстировочное устройство позволяют быстро и эффективно проводить настройку, испытания и входной контроль статических и динамических параметров измерительных каналов вихретоковых датчиков и блоков вторичной обработки и визуализации информации аппаратуры СВКА 1 – 02.06 в базовой комплектации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 05-08-33486

#### Библиографический список

1. Дунаевский, В.П. Аппаратура для контроля параметров валопроводов энергоагрегатов / В.П. Дунаевский, А.С. Машков, Ю.П. Батырев и др.: сб. науч. тр. – Вып. 302(II). – 1999. – С. 164–169.
2. Аш, Ж. Датчики измерительных систем. – Т. 1. / Ж. Аш и др. – М.: Мир, 1992.
3. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк. – М.: Мир, 1982.
4. Манохин А.Е., Герасимов Н.Б. // Измерительная техника. – 2000. – № 6. – С. 43.

## РЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДСП НА ЭТАПЕ ПРЕССОВАНИЯ

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

Реология как физика деформации устанавливает взаимосвязь между силами, действующими на материальное тело, и вызванными ими деформациями.

Различают два типа реологических свойств: а) фундаментальные; б) сложные, являющиеся комбинацией фундаментальных свойств.

К фундаментальным свойствам относят: 1) упругость, 2) вязкость, 3) пластичность, 4) прочность.

Основная задача, которая решается в данной статье, состоит в установлении реологического уравнения для описания деформационного поведения ДСП на основе экспериментальных данных и теоретических расчетов.

ДСП как материал, исследуемый реологией, представляет собой дисперсную систему, в которой основную фазу (дисперсную среду) составляют древесные частицы, и поэтому для его полного описания необходимо будет прибегнуть к комбинации фундаментальных свойств. Основными реологическими моделями, которые, безусловно, представляют интерес в данном случае, являются: модель Бюргера, описывающая вязкоупругость, т.е. установившуюся и не установившуюся упругость; модель Кельвина, задающая упругое последствие; модель Максвелла, описывающая упруговязкость [1].

Основные уравнения модели процесса прессования, описывающие формирование физико-механических свойств ДСП, т.е. уравнения модели процесса и материала, имеют дифференциальную форму [3]. В данном случае речь идет об уравнениях, описывающих процессы, происходящие в ДСП на стадии прессования, т.е. теплоперенос и кинетику химических процессов. Поэтому естественно и удобно выразить реологические уравнения связи между тензором напряжений, тензором деформаций и их производными по времени также в дифференциальной форме [2].

### 1. Реологические уравнения

В обобщенном виде среда, обладающая реологическими свойствами, описывается дифференциальным уравнением [2]

$$\begin{aligned} & (a_0 + a_1 \frac{d}{d\tau} + \dots + a_n \frac{d^n}{d\tau^n})\sigma = \\ & = (b_0 + b_1 \frac{d}{d\tau} + \dots + b_m \frac{d^m}{d\tau^m})\varepsilon. \end{aligned} \quad (1)$$

Следует отметить, что уравнение (1) с соответствующими начальными условиями может быть сформулировано для любой области реологии и является фундаментальным. Коэффициенты  $a_0, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m$  характеризуют свойства материала и в случае его нестационарного поведения будут зависеть от времени.

Скалярные параметры, фигурирующие в реологических уравнениях, представляют собой «коэффициенты», или «модули», характеризующие реологические свойства материала.

Пористость композита на основе древесных наполнителей в слое с координатой « $x$ » определяется в соответствии со следующим выражением

$$P(x) = 1 - \frac{\rho_0(x) \cdot [1 + \varepsilon(x)]}{\rho_{0e}}, \quad (2)$$

где  $\rho_0(x)$  – начальная плотность композита в точке  $x$ ;

$\rho_{0e}$  – плотность древесинного вещества;

$\varepsilon(x)$  – деформация слоя плиты, имеющего координату  $x$ .

Древесина и материалы на ее основе не обладают свойством линейности реологического поведения, и, следовательно, для них не выполняется принцип суперпозиции напряжений из-за необратимого изменения внутренней структуры материала в процессе деформирования.

При расчете общей деформации будем исходить из следующего предположения: в любой момент времени общая деформация является суммой трех составляющих – упругой  $\varepsilon_e(x)$ , вязкой или упругопаздывающей  $\varepsilon_v(x)$  и остаточной  $\varepsilon_p(x)$ , т.е.

$$\varepsilon(x) = \varepsilon_e(x) + \varepsilon_v(x) + \varepsilon_p(x). \quad (3)$$

При выдерживании под нагрузкой упругая деформация со временем убывает. Предполагается, что длительный модуль упругости растет по мере роста остаточной деформации, т.е. происходит упрочение материала.

При снятии нагрузки мгновенно восстанавливается упругая часть деформации

$$\varepsilon_e(x) = (1/H)\sigma_r(x),$$

а затем в течение бесконечного времени происходит возврат вязкоупругой деформации  $\varepsilon_v(x)$ . Дальнейшего роста остаточной деформации не происходит, т.е.

$$\frac{\partial \varepsilon_p(x)}{\partial \tau} = 0, \text{ если } \sigma_\tau = 0. \quad (4)$$

Остаточная деформация имеет ограниченный рост, определяемый фракционным составом, температурой и влажностью композита, степенью осмоления брикета, и составляет некоторую часть от общей деформации  $\varepsilon(x)$ :

$$\varepsilon_p(x) = \xi \cdot \varepsilon(x), \quad (5)$$

где  $\xi$  – некоторый коэффициент, зависящий от перечисленных выше факторов.

Таким образом, количественная характеристика реологических свойств композита может быть получена из решения следующей системы уравнений

$$\varepsilon(x) = (1/H)\sigma_\tau(x) + \varepsilon_v(x) + \varepsilon_p(x). \quad (6)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_v(x)}{\partial \tau} = \begin{cases} K_1 \cdot \sigma_\tau - \mu \cdot \varepsilon_v(x), & \varepsilon_v < \frac{K_1 \cdot \sigma_\tau}{\mu}, \\ 0, & \varepsilon_v = \frac{K_1 \cdot \sigma_\tau}{\mu}, \end{cases} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_p(x)}{\partial \tau} = \begin{cases} K_2 \cdot \sigma_\tau [\xi \cdot \varepsilon(x) - \varepsilon_p(x)], & \varepsilon_p < \xi \cdot \varepsilon(x), \\ 0, & \varepsilon_p = \xi \cdot \varepsilon(x), \end{cases} \quad (8)$$

$$H = H_0 + \gamma \cdot \varepsilon_p(x), \quad (9)$$

где  $K_1, K_2, \mu, \xi, \gamma$  – коэффициенты, значения которых являются функциями напряжения, влажности, температуры и их производных и которые подлежат определению на основе теоретических расчетов по экспериментальным данным.

При конкретных начальных условиях система уравнений (6–9) может быть решена, если за-

дан закон деформирования  $\varepsilon(x, \tau) = \varepsilon(\tau)$  или закон нагружения  $\sigma = \sigma(\tau)$ . Существенным моментом в реологии композитов является и то, что жесткость «H» и деформация «ε» композита существенно зависят от температуры и влажности.

Аппроксимация этих величин может быть выполнена следующими выражениями

$$H(x) = H_0 + \gamma \cdot \varepsilon_p(x) + a \cdot U(x, \tau) + b \cdot T(x, \tau) + c \cdot U(x, \tau) \cdot T(x, \tau), \quad (10)$$

$$\varepsilon(x) = (1/H)\sigma_\tau + \varepsilon_v(x) + \varepsilon_p(x) + \alpha \cdot U(x, \tau) + \beta \cdot T(x, \tau) + \delta \cdot U(x, \tau) \cdot T(x, \tau), \quad (11)$$

где  $U(x, \tau)$  – влагосодержание композита;

$T(x, \tau)$  – температура композита;

$a, b, c, \gamma, \alpha, \beta, \delta$  – коэффициенты, полученные в результате обработки экспериментальных данных по исследованию влияния на композит влажности и температуры.

Таким образом, в результате решения системы уравнений (6–11) может быть определена пористость композита в каждой точке прессуемой плиты для любого момента времени.

## 2. Алгоритм определения реологических коэффициентов

В сформулированной в п. 1. реологической модели значения коэффициентов подлежат определению. Следовательно, предстоит решить задачу параметрической идентификации (обратную задачу) на основании экспериментальных данных, которые, безусловно, содержат некоторые ошибки измерений. Поэтому вполне естественно построить алгоритм, основанный на минимизации функционала невязки. Таким образом, можно предложить алгоритм определения коэффициентов реологической модели.

Первоначально задается некоторый эмпирический закон нагружения, подлежащий уточнению на последующих шагах моделирования.

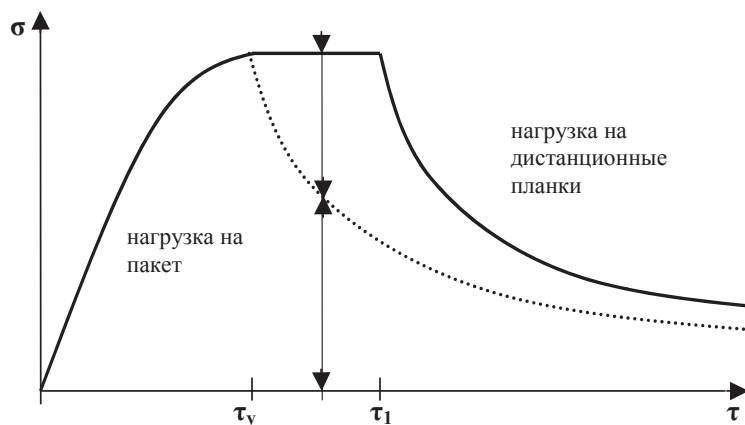


Рисунок. Закон нагружения древесностружечного пакета

Типовая диаграмма прессования изображена на рисунке.

Можно принять в качестве диаграммы прессования зависимость [3]

$$v_x = \begin{cases} a \cdot x, & \text{при } x \leq x_{cm}, \\ a \cdot x_{cm}, & \text{при } x_{cm} \leq x \leq x_{cm} + x_b, \\ \sqrt{v_0} \cdot e^{(v/c)k} + v_k, & \text{при } x > x_{cm} + x_b, \end{cases} \quad (12)$$

где  $\tau$  – текущий момент времени;

$\tau_{cm}$  – время смыкания плит пресса;

$\tau_e$  – время выдержки давления на плиты пресса;

$t = \tau - \tau_{cm}$ ;

$\sigma_k$  – равновесное напряжение в плите после окончания процесса релаксации;

$\alpha, \sigma_0, \kappa, C$  – коэффициенты, определяемые технологией прессования.

При известном из эксперимента законе деформации  $\varepsilon = (\tau)$  имеем последовательность для ряда моментов времени измерений

$$\{(\sigma^1, \varepsilon_p^1, \varepsilon_v^1, \varepsilon_e^1)_1, (\sigma^2, \varepsilon_p^2, \varepsilon_v^2, \varepsilon_e^2)_2, \dots, (\sigma^N, \varepsilon_p^N, \varepsilon_v^N, \varepsilon_e^N)_N\}, \quad (13)$$

где  $N$  – число экспериментов (опытов).

Алгоритм строится по итерационной схеме, которая предполагает введение некоторого начального приближения (значения) для подлежащих определению коэффициентов

$$F^o = (k_1^o, k_2^o, \mu^o, \xi^o, \gamma^o). \quad (14)$$

Используя начальное приближение и вполне естественные начальные условия для вязкоупругой и остаточной деформаций

$$\varepsilon_v(0) = 0; \varepsilon_p(0) = 0, \quad (15)$$

методом численного интегрирования системы дифференциальных уравнений (6–9) можно получить значения напряжения, упругой, вязкоупругой и остаточной деформаций на интервале  $[0, \tau_1]$ , т.е. совокупность модельных данных  $(\hat{\sigma}^1, \hat{\varepsilon}_p^1, \hat{\varepsilon}_v^1, \hat{\varepsilon}_e^1)$ .

Следовательно, для момента  $\tau_1$  можно вычислить невязку, в которую каждое слагаемое входит со своим «весом».

$$h_1 = s_\sigma (\hat{\sigma}^1 - \sigma^1)^2 + s_p (\hat{\varepsilon}_p^1 - \varepsilon_p^1)^2 + s_v (\hat{\varepsilon}_v^1 - \varepsilon_v^1)^2 + s_e (\hat{\varepsilon}_e^1 - \varepsilon_e^1)^2, \quad (16)$$

где  $s_\sigma, s_p, s_v, s_e$  – соответствующие весовые коэффициенты.

Введение весовых коэффициентов позволяет согласовать в одном выражении и разные по точности и разнородные величины.

Для последующих моментов времени  $\tau_i$  можно аналогично определить соответствующие невязки

$$h_i = s_\sigma (\hat{\sigma}^i - \sigma^i)^2 + s_p (\hat{\varepsilon}_p^i - \varepsilon_p^i)^2 + s_v (\hat{\varepsilon}_v^i - \varepsilon_v^i)^2 + s_e (\hat{\varepsilon}_e^i - \varepsilon_e^i)^2, \quad (17)$$

находя по модели (6–9) совокупность значений  $(\hat{\sigma}^i, \hat{\varepsilon}_p^i, \hat{\varepsilon}_v^i, \hat{\varepsilon}_e^i)_i$ , соответствующих интервалу  $[\tau_{i-1}, \tau_i]$  и соответствующим начальным значениям для этого интервала  $(\hat{\sigma}^{i-1}, \hat{\varepsilon}_p^{i-1}, \hat{\varepsilon}_v^{i-1}, \hat{\varepsilon}_e^{i-1})_i$ .

Результирующая невязка

$$h(F^o) = \sum_{i=1}^N h_i \quad (18)$$

характеризует квадратичное отклонение решения, полученного по модели (6–9), от экспериментальных данных при заданном начальном наборе реологических коэффициентов  $F^o = (k_1^o, k_2^o, \mu^o, \xi^o, \gamma^o)$  и на всем интервале наблюдения.

Следовательно, в рамках реологической модели (6–9) пришли к оптимизационной задаче нелинейного математического программирования, в результате решения которой необходимо найти совокупность коэффициентов  $F = (k_1, k_2, \mu, \xi, \gamma)$ , обеспечивающую минимальное значение функционала

$$h(F) = \sum_{i=1}^N s_\sigma (\hat{\sigma}^i - \sigma^i)^2 + s_p (\hat{\varepsilon}_p^i - \varepsilon_p^i)^2 + s_v (\hat{\varepsilon}_v^i - \varepsilon_v^i)^2 + s_e (\hat{\varepsilon}_e^i - \varepsilon_e^i)^2. \quad (19)$$

Следует обратить внимание на то, что выражение (19) не является аналитическим относительно набора искомым коэффициентов, т.к. значения реологических коэффициентов найдены с использованием численных методов интегрирования системы уравнений (6–9). Поэтому и значения функционала (19) в каждой точке  $F$  могут быть получены лишь алгоритмически, что неизбежно приведет к большому объему вычислений в каждой точке. Из алгоритмического характера вычислений неизбежно вытекает поиск численного метода решения реологической задачи в классе расчетных схем, в которых не требуется вычислять значения производных функционала (19) по реологическим коэффициентам.

В данном случае алгоритм метода может представлять процедуру, которую изложим в терминах математического программирования [4].

В пространстве 5 переменных  $(k_1, k_2, \mu, \xi, \gamma)$  задается точка  $F_k$ , где индекс « $k$ » является номером итерации. Затем определяется вектор направления  $d_k$  и подходящая длина шага  $\lambda_k$ , после чего вычисляется новая точка  $F_{k+1} = F_k + \lambda_k d_k$ .



Далее этот процесс повторяется. Определение длины шага достигается решением задачи минимизации функционала  $h(F_k + \lambda_k d_k)$ , зависящего от переменной  $\lambda_k$ . Минимизация может проводиться либо при всех вещественных значениях  $\lambda_k$ , либо при неотрицательных  $\lambda_k$ , либо при таких  $\lambda_k$ , когда точка  $F_{k+1} = F_k + \lambda_k d_k$  допустима.

Ниже приведем алгоритм метода циклического покоординатного спуска для минимизации функционала нескольких переменных, не требующий вычисления частных производных, который использовался при тестировании [4].

В приведенном алгоритме процесс останавливался, если  $\|F_{k+1} - F_k\| \leq eps$ .

**Начальный этап.** Выбрать число  $eps > 0$ , которое будет использоваться для остановки алгоритма. В качестве направлений поиска используются координатные векторы. Точнее, метод осуществляет поиск вдоль направлений  $d_1, \dots, d_j, \dots, d_n$ , где  $d_j$  – вектор, все компоненты которого, за исключением  $j$ -й, равны нулю, а  $n$  – число компонент искомого вектора (в нашем случае число реологических коэффициентов). Таким образом, при поиске по направлению  $d_j$  меняется только переменная  $f_j$  в точке  $F$ , в то время как остальные переменные остаются зафиксированными.

Итак, надо выбрать начальную точку  $F^0$ , положить  $y_0 = F^0, k = j = 1$  и перейти к основному этапу.

**Основной этап.** Шаг 1. Положить  $\lambda_j$  равным оптимальному решению задачи минимизации  $h(y_j + \lambda_j d_j)$  при условии, что  $\lambda_j \in R_1$ , т.е. внутри этого этапа решается еще одна задача одномерной оптимизации по поиску допустимой длины шага по  $j$ -ой координате. Здесь  $R_1$  – множество вещественных чисел.

Положить  $y_{j+1} = y_j + \lambda_j d_j$ . Если  $j < h$ , то заменить  $j$  на  $j + 1$  и вернуться к шагу 1. Если  $j = n$ , то перейти к шагу 2.

Шаг 2. Положить  $x_{k+1} = y_n$ . Если  $\|F_{k+1} - F_k\| \leq eps$ , то остановиться. В противном случае положить  $y_1 = F_{k+1}, y = 1$ , заменить  $k$  на  $k + 1$  и перейти к шагу 1.

Здесь  $n$  – число компонент вектора  $F$ . В нашем случае  $n = 5$ . Однако вполне возможно зафиксировать какую-либо компоненту вектора  $F = (k_1, k_2, \mu, \xi, \gamma)$  несколько компонент, а поиск проводить по остальным компонентам.

Подобные вычисления коэффициентов реологических зависимостей должны быть проведены по всем сериям экспериментов при различных

фиксированных значениях параметров влажности, температуры и степени отверждения связующего ( $T, U, \theta$ ). Затем коэффициенты реологических зависимостей могут быть представлены как функции  $F = F(T, U, \theta)$  либо заданы таблично.

### 3. Алгоритм определения структурных характеристик пакета

Структура пакета формируется в два этапа. На первом этапе, когда известен закон нагружения, толщина пакета меняется, а пьезотермические воздействия приводят к нарушению однородности его деформативных свойств по толщине. На последующем этапе процесса прессования, после достижения пакетом определенной толщины, положение плит пресса фиксируется тем или иным способом и проводится его выдержка в условиях постоянной общей деформации в течение определенного времени.

Таким образом, для решения задачи определения структурных характеристик пакета можно предложить итерационный пошаговый алгоритм, в основу которого положено разбиение пакета на слои с усредненными характеристиками по температуре и влажности.

Проведем квантование по времени с шагом  $\Delta t$

$$\tau_j = j\Delta t, j = 0, 1, \dots, K,$$

где  $K$  – число временных интервалов, а также дискретизацию пакета по оси, нормальной к плоскости прессования с шагом

$$\Delta_0 = \delta/N, x_i = i\Delta_0, i = 0, 1, \dots, N.$$

При  $\tau = \tau_0 = 0$  поля температуры и влажности однородны по толщине пакета и заданы

$$T^0(x)_{\tau=0} = T_n^0, U^0(x)_{\tau=0} = U_n^0, i = 0, 1, \dots, N.$$

Предполагаем также, что закон нагружения (1) задан.

На начало промежутка времени  $[\tau_j, \tau_{j+1}]$  считаем известными распределение плотности  $\{\rho_i^j\}_{i=0}^N$ , пористости  $\{P_i^j\}_{i=0}^N$ , а также температуры  $\{T_i^j\}_{i=0}^N$  и влажности  $\{U_i^j\}_{i=0}^N$  в пакете.

Используя модель тепломассопереноса, рассчитаем новое распределение параметров пакета относительно температуры и влажности в момент  $\tau^{j+1}$ , т.е.  $\{T_i^{j+1}\}_{i=0}^N, \{U_i^{j+1}\}_{i=0}^N$ .

Усредним температуру и влажность на временном интервале  $[\tau_j, \tau_{j+1}]$

$$T_i^{j+1/2} = (T_i^j + T_i^{j+1})/2, U_i^{j+1/2} = (U_i^j + U_i^{j+1})/2, \quad (20)$$

$$T_{i+1/2}^{j+1/2} = (T_i^{j+1/2} + T_{i+1}^{j+1/2})/2, U_{i+1/2}^{j+1/2} = (U_i^{j+1/2} + U_{i+1}^{j+1/2})/2. \quad (21)$$

Усредненные по  $i$ -му слою значения температуры и влажности  $T_{i+1/2}^{j+1/2}$ ,  $U_{i+1/2}^{j+1/2}$  используются для определения деформации в этом  $i$ -м слое.

Будем предполагать, что нагрузка по всей толщине пакета однородна и равна  $\sigma_{j+1} = f(\tau_{j+1})$  в момент  $\tau_{j+1}$ . Пользуясь уравнениями (6–9), вычисляем для каждого  $i$ -го слоя общую деформацию  $\varepsilon_i^{j+1}$ , температурно-влажностную деформацию за интервал  $[\tau_j, \tau_{j+1}]$ , нарастание необратимой деформации  $\varepsilon_{p,i}^{j+1}$ , а также упругую и вязкоупругую составляющие деформации  $\varepsilon_{e,i}^{j+1}$ ,  $\varepsilon_{v,i}^{j+1}$ .

Зная значения общей деформации  $i$ -го слоя относительно его начальной высоты, можно определить изменение толщины всего пакета, т.е. общую деформацию пакета.

Итак, толщина  $i$ -го слоя на момент времени  $\tau_{j+1}$  составит

$$\Delta_i^{j+1} = \Delta_0(1 - \varepsilon_i^{j+1}), \quad (22)$$

плотность  $i$ -го слоя

$$\rho_{ii}^{j+1} = \rho_{,i} / (1 - \varepsilon_i^{j+1}), \quad (23)$$

пористость этого слоя

$$P_{\text{эк}}^{j+1} = 1 - \rho_i^{j+1} / \rho \quad (24)$$

Общая деформация пакета на момент времени  $\tau_{j+1}$  будет равна

$$\varepsilon_i^{j+1} = \left( \sum_{i=1}^N \Delta_i^{j+1} \right) / \delta_0. \quad (25)$$

На следующем шаге решения задачи найдем координаты  $x_i^{j+1}$  плоскостей, разделяющих  $i$ -й и  $(i+1)$ -й слои в момент времени  $\tau_{j+1}$

$$x_i^{j+1} = \sum_{k=1}^i \Delta_k^{j+1}, \quad i = 1, \dots, N. \quad (26)$$

Распределение деформаций внутри  $i$ -го слоя аппроксимируем линейной функцией

$$\varepsilon(x)_{\tau_{j+1}} = \varepsilon(x_{i-1}^{j+1}) + \frac{\varepsilon(x_i^{j+1}) - \varepsilon(x_{i-1}^{j+1})}{x_i^{j+1} - x_{i-1}^{j+1}} \cdot (x - x_{i-1}^{j+1}),$$

при  $x_{i-1}^{j+1} \leq x < x_i^{j+1}$ ,  $i = 1, \dots, N$ , где

$$\varepsilon(x_i^{j+1}) = \sum_{k=1}^i \left( \frac{\Delta_k^j - \Delta_k^{j+1}}{i \cdot \Delta_0} \right).$$

Аналогично можно определить плотности по толщине  $i$ -го слоя в момент времени  $\tau_{j+1}$

$$\rho(x)_{\tau_{j+1}} = \rho(x_{i-1/2}^{j+1}) + \frac{\rho(x_{i+1/2}^{j+1}) - \rho(x_{i-1/2}^{j+1})}{x_{i+1/2}^{j+1} - x_{i-1/2}^{j+1}} \cdot (x - x_{i-1/2}^{j+1})$$

при  $x_{i-1/2}^{j+1} \leq x < x_{i+1/2}^{j+1}$ ,  $i = 1, \dots, N-1$ , где

$$\rho(x_{i-1/2}^{j+1}) = \rho_i^j \frac{1}{(1 - \varepsilon(x_{i-1/2}^{j+1}))}, \quad x_{i-1/2}^{j+1} = \frac{1}{2}(x_{i-1}^{j+1} + x_{i+1}^{j+1}).$$

Данные шаги выполняются до момента времени  $\tau_y$  (рисунок), по достижении которого делается переход к следующему этапу решения задачи.

Начиная с этого момента суммарная деформация пакета поддерживается постоянной, тогда как локальные деформации со временем меняются из-за локальных изменений температуры и влажности.

На каждом шаге этого этапа решения задачи будем итеративно подбирать такое значение усилия  $\sigma_j$ , чтобы, несмотря на послойные изменения деформаций, суммарная деформация оставалась неизменной.

Итак, в какой-то момент времени  $\tau_j > \tau_y$  известны: значение напряжения  $\sigma_j$ , распределение деформаций по толщине  $\varepsilon_i^j$ ; координаты слоев  $x_i^j$ , а также распределения температур и влажностей.

Используя формулы (20–21), определяем средние значения температур и влажностей в каждом временном интервале  $[\tau_j, \tau_{j+1}]$  и в каждом  $i$ -м слое.

Выполняем итерацию по расчету деформаций в слоях  $\{\varepsilon_i^{j+1}\}_{i=1}^N$  при нагрузке  $\sigma = \sigma_j$ .

По формуле (28) определяем суммарную деформацию брикета  $\varepsilon^s$  на  $s$ -й итерации.

Если значение  $\varepsilon^s$  не отличается от значения общей деформации на предыдущем временном шаге на величину заданной точности расчетов, т.е.

$$|\varepsilon^j - \varepsilon^s| \leq \text{eps}, \quad (27)$$

то переходим к следующему шагу по времени.

Если неравенство (27) не выполняется, то делается шаг по напряжению  $\sigma$  (переход к следующей итерации по усилию)

$$\sigma^{s+1} = \sigma^s + \Delta_\sigma^s.$$

Затем вновь вычисляются послойные деформации  $\varepsilon_i^{s+1}$ , а также общая деформация  $\varepsilon^{s+1}$ .

В случае, если знаки разностей  $(\varepsilon^j - \varepsilon^s)$  и  $(\varepsilon^j - \varepsilon^{s+1})$  различны, то величина шага по  $\Delta_\sigma^s$  принимается равной  $\Delta_\sigma^{s+1} = \Delta_\sigma^s / 2$ . В случае, когда знаки неравенств одинаковы, делается переход к следующей итерации с шагом  $\Delta_\sigma^s$ .

Данный итеративный процесс продолжается до достижения заданного времени окончания процесса.

### Библиографический список

1. Рейнер, М. Реология / М. Рейнер. – М.: Наука, 1965. – 223 с.
2. Роценс, К.А. Технологическое регулирование свойств древесины / К.А. Роценс. – Рига: Зинатне, 1979. – 222 с.
3. Тулузаков, Д.В. Формирование прочности древесностружечных плит в процессе прессования: дис. ... канд. тех. наук / Д.В. Тулузаков. – М., 1991. – 266 с.
4. Евтушенко, Ю.Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации / Ю.Г. Евтушенко. – М.: Наука, 1982. – 432 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ОТ ФОРМАТНОЙ ОБРЕЗКИ ЦСП

Х. РАНГАВАР, преподаватель университета Шахид Раджаши, Тегеран, Иран

В настоящее время почти на всех предприятиях России, выпускающих ЦСП, отходы от форматной обрезки плит не применяются в производстве. Это можно объяснить тем, что частицы отходов, состоящие из древесины и гидратированного цемента, имеют высокую твердость. Попадая в древесно-цементную смесь (особенно при твердении и изменении влажности), частицы ведут себя как концентраторы напряжения. При этом прочность ЦСП при изгибе и перпендикулярно пласти резко уменьшается. Поэтому целью нашей работы стало установление возможности применения отходов от форматной обрезки плит без существенного снижения качества.

Можно предположить, что мелкие частицы от обрезки плиты, будучи совмещенными с глиной-шамот могут в какой-то степени снизить концентрацию напряжения в отвердевшей системе ЦСП. При этом интересно исследовать, как совмещаются разные породы древесины (ольха, осина) с этими отходами.

Для исследования влияния древесных частиц и отходов от форматной обрезки ЦСП на физико-механические показатели цементно-стружечных плит была использована рецептура ЦСП, представленная в данной работе и состоящая из следующих компонентов без использования отходов (табл. 1).

Надо отметить, что в производстве цементно-стружечных плит получается до 10 % отходов от форматной обрезки ЦСП. Поэтому в плите вместо древесных частиц было использовано такое же количество отходов разных фракций. В табл. 2 приведена рецептура ЦСП с использова-

нием отходов на 1 м<sup>3</sup>. С целью оптимизации смеси был составлен В-план 2-го порядка, который описан в методической части.

Т а б л и ц а 1

Расход компонентов без использования отходов в кг/м<sup>3</sup>

Стружка	Цемент	Глина	Хлорид кальция	Вода
300	630	70	31,5	400

Т а б л и ц а 2

Рецептура ЦСП с использованием отходов на 1 м<sup>3</sup>

Наименование компонентов	Единица измерения	Количество
Стружка [осина, ольха, ольха:осина=50:50(м.ч.)]	кг	198,5
Отходы от обрезки ЦСП(фракция 7/5, 5/3, 3/1)	кг	101,5
Цемент марки 500	кг	630
Глина-шамот	кг	70
Хлорид кальция	кг	31,5
Вода	кг	400

### Выбор диапазона варьирования факторов

1. Вид древесных пород:

$$X_1 = 1(\text{осина}); X_1 = 0(\text{ольха:осина} = 50:50(\text{м.ч.})); X_1 = -1(\text{ольха}).$$

2. Фракция отходов:

$$X_2 = 1(7/5); X_2 = 0(5/3); X_2 = -1(3/1)$$

В качестве отклика (выходной величины) были приняты прочность ЦСП при статическом изгибе, прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты, разбухании и водопоглощении (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

План эксперимента в натуральных значениях факторов и результаты испытаний плит

№ опыта	Факторы		Результаты испытаний			
	X <sub>1</sub> Вид породы стружки	X <sub>2</sub> Фракция отходов	Y <sub>1</sub> , МПа	Y <sub>2</sub> , МПа	Y <sub>3</sub> , %	Y <sub>4</sub> , %
1	-1 (ольха)	-1 (3/1)	9,9	0,35	0,88	12,5
2	+1 (осина)	-1 (3/1)	11,23	0,43	1,15	13,2
3	-1 (ольха)	+1 (7/5)	9,43	0,32	1	14
4	+1 (осина)	+1 (7/5)	11,1	0,42	1,35	14,8
5	-1 (ольха)	0 (5/3)	11,65	0,40	0,85	11,5
6	+1 (осина)	0 (5/3)	12,5	0,57	0,99	11,79
7	ольха:осина=50:50(м.ч.)	-1 (3/1)	11,1	0,41	0,97	13
8	ольха:осина=50:50(м.ч.)	+1 (7/5)	10,7	0,40	1,06	14,6
9	ольха:осина=50:50(м.ч.)	0 (5/3)	12,11	0,52	0,85	11,57

Примечание: Y<sub>1</sub> – прочность при изгибе; Y<sub>2</sub> – прочность при растяжении перпендикулярно к пласти плиты; Y<sub>3</sub> – разбухание; Y<sub>4</sub> – водопоглощение.

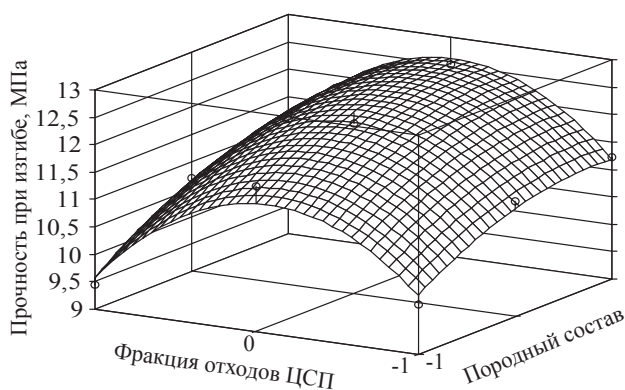


Рис. 1. Влияние древесных пород и размера фракции отходов ЦСП на прочность при изгибе. Фракция отходов ЦСП: (-1)– фр. 3/1; 0– фр. 5/3; 1– фр. 7/5. Породный состав: (-1)– ольха 100 %; 0– ольха 50 %+осина 50 %; 1– осина 100 %.

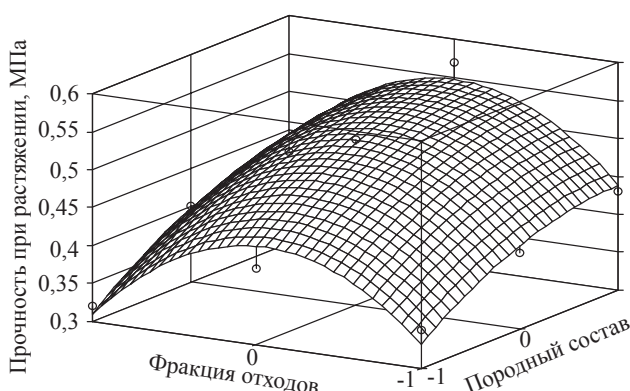


Рис. 2. Влияние древесных пород и размера фракции отходов ЦСП на прочность при растяжении перпендикулярно к пласти плиты. Фракция отходов ЦСП: (-1)– фр. 3/1; 0– фр. 5/3; 1– фр. 7/5. Породный состав: (-1)– ольха 100 %; 0– ольха 50 %+осина 50 %; 1– осина 100 %.

В результате реализации плана получены уравнения регрессии, которые связывают входные и выходные величины, позволяющие определить оптимальный состав смеси

Уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 12,2975 + 0,6525x_1 - 0,16625x_2 - \\
 &- 0,3475x_1^2 - 1,4887x_2^2 + 0,08437x_1x_2, \\
 Y_2 &= 0,5179 + 0,05708x_1 - 0,0079x_2 - \\
 &- 0,0296x_1^2 - 0,109x_2^2 - 0,004375x_1x_2, \\
 Y_3 &= 0,85138 + 0,12x_1 + 0,0629x_2 + \\
 &+ 0,06916x_1^2 + 0,1654x_2^2 + 0,0106x_1x_2, \\
 Y_4 &= 11,71 + 0,2991x_1 + 0,7833x_2 - \\
 &- 0,1075x_1^2 + 2,045x_2^2 + 0,025x_1x_2.
 \end{aligned}$$

Графики, полученные в результате реализации плана, представлены на рис. 1, 2, 3 и 4.

Анализ представленных данных результатов показывает, что в общем применение отходов от форматной обрезки ЦСП несколько уменьшает прочность при изгибе плиты. Но необходимо подчеркнуть, что прочность при изгибе у всех вари-

антов выше по сравнению с ГОСТом для класса ЦСП-2.

Этот факт можно объяснить, по-видимому, тем, что адгезия как химическая, так и механическая ослаблена в плите, а также появлением напряжений из-за разной плотности частиц.

Из результатов испытаний (табл. 3) можно видеть, что использование отходов от обрезки ЦСП в цементных плитах улучшает прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты. Но эти плиты имеют низкие показатели разбухания и водопоглощения по сравнению с плитами без отходов. Это можно объяснить тем, что при применении отходов, которые имеют большую плотность, чем древесная стружка, частицы покрываются большим количеством цемента, что создает преграду к проникновению влаги к ним.

Влияние древесных пород и величины частиц отходов на прочность при изгибе и растяжении перпендикулярно пласти плиты представлено на рис. 1, 2. Видно, что прочность при изгибе и растяжении перпендикулярно пласти зависит от вида породы и величины частиц отходов.

Максимальная прочность при изгибе и растяжении перпендикулярно пласти плиты обнаруживается у цементных плит, изготовленных из частиц древесины осины. Установлено, что экстрактивных веществ у осины меньше, чем у ольхи, поэтому цементные плиты из осины имели большую прочность. Кроме этого, плотность осины меньше по сравнению с ольхой, поэтому объем древесных частиц осины будет больше, чем ольхи. При прессовании частицы осины сжимаются в большей степени, чем частицы ольхи, что сказывается на прочности полученной ЦСП.

На рис. 1 и 2 видно, что при применении отходов ЦСП фракции 5/3 получается самый высокий предел прочности при статическом изгибе и растяжении перпендикулярно пласти. С этой фракцией отходов ЦСП с древесными частицами осины можно получить плиты прочностью при изгибе и растяжении соответственно 12,5 и 0,57 МПа. Эти показатели по сравнению с ГОСТом класса ЦСП-1 повышаются соответственно на 4,1 и 42,5 %. А по сравнению с ГОСТом ЦСП-2 – на 38,9 , 62,8 %.

При использовании древесных частиц ольхи нельзя получить плиты класса ЦСП-1. Но при применении частиц древесины ольхи и осины с отходами ЦСП фракции 5/3 в производстве цементно-стружечных плит эту цель можно до-



стичь. При этом прочность на изгибе и растяжении перпендикулярно пласти соответственно будет равна 12 и 0,52 МПа.

Результаты испытаний плит, проведенных с различными древесными породами и фракциями отходов ЦСП на разбухание и водопоглощение, приведены на рис. 3 и 4.

Результаты опытов показали, что изготовленные цементные плиты из древесных частиц ольхи с использованием отходов ЦСП фракции 5/3 по сравнению с осиной имели низкие показатели разбухания и водопоглощения за 24 часа. Оптимальной является фракция 5/3, которая уменьшает разбухание и водопоглощение ЦСП.

Надо отметить, что разбухание и водопоглощение по требованиям ГОСТ 26816–86 для ЦСП класса-1 и класса-2 соответственно равны 2 и 16 %. По сравнению с разбуханием и водопоглощением цементно-стружечных плит в процессе исследования, наблюдалось, что все плиты имели лучшие показатели, чем по ГОСТ 26816–86.

Плиты, изготовленные из древесины ольхи, осины, ольха:осина = 50:50(м.ч.) с применением отходов от обрезки ЦСП в количестве 10 % фракции 5/3 уменьшают их разбухание соответственно на 57,5 , 50,5 , 57,5 % и водопоглощение соответственно на 28, 26,3 , 27,7 %.

В качестве целевой функции для оптимизации состава композиции был выбран предел прочности при изгибе и при растяжении перпендикулярно к пласти плиты при условии требований ГОСТ 26816-86 по показателям разбухания и водопоглощения. Оптимум соответствует экстремуму графика по изгибу и растяжению перпендикулярно (рис. 1 и 2), что достигается при определенном составе композиции.

Для получения класса ЦСП-1 – древесина породы осины или ольха:осина = 50:50(м.ч.), отходы от обрезки ЦСП фракции 5/3.

Проводя анализ уравнений и графиков, можно отметить, что оптимальная рецептура ЦСП на основе вида породы и отходов ЦСП представлена в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

**Рецептура ЦСП-1 на основе вида породы и отходов ЦСП на 1 м<sup>3</sup>**

Расход компонентов в кг/м <sup>3</sup>					
Стружка смеси ольхи и осины	Отходы ЦСП фракции 5/3	цемент	глина	Хлорид кальция	вода
198,5	108,5	630	70	31,5	400

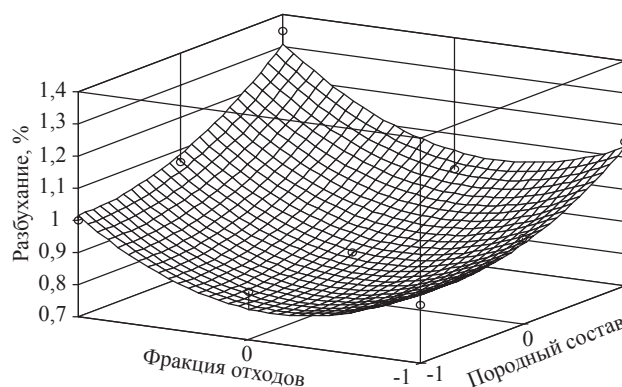


Рис. 3. Влияние древесных пород и размера фракции отходов ЦСП на разбухание; Фракция отходов ЦСП: (-1)– фр. 3/1; 0– фр. 5/3; 1– фр. 7/5. Породный состав: (-1)– ольха 100 %; 0– ольха 50 %+осина 50 %; 1– осина 100 %.

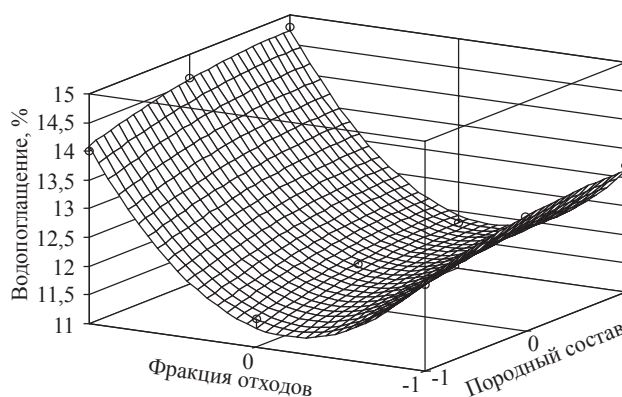


Рис. 4. Влияние древесных пород и размера фракции отходов ЦСП на водопоглощение; Фракция отходов ЦСП: (-1)– фр. 3/1; 0 – фр. 5/3; 1 – фр. 7/5. Породный состав: (-1)– ольха 100 %; 0 – ольха 50 %+осина 50 %; 1 – осина 100 %.

Надо отметить, что при применении фракции большего и меньшего размера, чем 5/3, можно получить плиты, соответствующие требованиям для ЦСП класса-2.

На основании реализации В-плана получены уравнения регрессии, связывающие различные размеры отходов от форматной обрезки ЦСП и частиц древесины лиственных пород. Анализируя эти уравнения, можно заключить, что даже на таких породах, как ольха и осина, с применением отходов от обрезки можно получить плиты класса ЦСП-1.

**Библиографический список**

1. Мельникова, Л.В. Технология композиционных материалов из древесины учебник / Л.В. Мельникова. – М: МГУЛ, 2003. – 226 с.
2. Суровцева, Л.С. Технология и оборудование производства композиционных древесных материалов / Л.С. Суровцева. – АрхГТУ, 2001. – 221 с.
3. ГОСТ 26816–86. Плиты цементно-стружечные. Технические условия. – М.: – Изд-во стандартов, 1986. – 16 с.

## ПЛАНИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОЙ ФАНЕРЫ

С.А. УГРЮМОВ, доц. каф. МТД КГТУ,

А.А. СМИРНОВ, асп. каф. МТД КГТУ

Создание композиционных материалов позволяет эффективно утилизировать образующиеся отходы производства, что способствует комплексному и более рациональному использованию сырья. При этом в ряде случаев можно не только снижать материалоемкость продукции и более полно использовать отходы производства и низкосортное сырье, но и придавать продукции комплекс желаемых свойств.

В конструкциях композиционных древесных материалов имеется возможность использования не только древесины в различных ее видах, но и целлюлозосодержащего сырья растительного происхождения, например, отходов льноперерабатывающей промышленности – костры льна.

Для оценки влияния технологических факторов на физико-механические показатели композиционной фанеры с внутренним слоем на основе костры льна спланирован и реализован В-план второго порядка.

На качественные показатели древесных материалов оказывают влияние множество факторов – качество подготовки исходного сырья (влажность, фракционный размер частиц, форма частиц и т. д.), количество клеевого состава в структуре плиты, режимные факторы прессования и множество других факторов.

Как отмечается в научной литературе, наиболее существенное влияние на свойства плит оказывают следующие факторы:

1. Температура прессования, поскольку от этого показателя зависит глубина отверждения функциональных групп применяемой смолы.
2. Количество связующего и плотность внутреннего слоя, т.к. от этого показателя зависит прочность соединения частиц наполнителя друг с другом.

Данные факторы в эксперименте приняты в качестве управляемых. Уровни варьирования этих факторов выбраны исходя из рекомендаций производства традиционных материалов на основе карбамидоформальдегидных смол (фанеры и древесностружечных плит) [1, 2] и представлены в табл.1.

Матрица планирования эксперимента с выходными величинами представлена в табл. 2.

Изготовление экспериментальных образцов номинальной толщиной 10 мм производилось в следующей последовательности:

1. Отбор партии костры льна на 1–2 запрессовки.
2. Сортировка костры на ситах-анализаторах.
3. Сушка костры до влажности 3 % и шпона до влажности 7–10 %.
4. Приготовление связующего, состоящего из карбамидоформальдегидной смолы КФ-Н-66Ф и отвердителя в количестве 1 % к массе абсолютно сухой смолы.
5. Охлаждение костры льна и шпона для предотвращения преждевременного отверждения связующего.
6. Осмоление наполнителя до образования равномерной массы.
7. Формирование пакетов фанеры, при этом в наружных слоях применяется по 2 листа березового шпона толщиной 1,5 мм с взаимно перпендикулярным направлением волокон в смежных слоях.
9. Загрузка пакетов в пресс П-100-400 и прессование фанеры в соответствии с режимами опытов.
10. Размыкание плит пресса, выгрузка фанеры, ее охлаждение и кондиционирование в течение 24 часов, раскрой на образцы для проведения испытаний.

Т а б л и ц а 1

Управляемые факторы и уровни их варьирования

Наименование факторов	Обозначение факторов		Интервал варьирования	Уровень варьирования		
	натуральное	кодированное		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
1. Плотность внутреннего слоя, кг/м <sup>3</sup>	P	X <sub>1</sub>	100	600	700	800
2. Количество связующего во внутреннем слое, %	K <sub>см</sub>	X <sub>2</sub>	5	15	20	25
3. Температура прессования, °C	T	X <sub>3</sub>	15	130	145	160

Матрица планирования с выходными величинами

№ п/п	Управляемые факторы в кодированном обозначении			Управляемые факторы в натуральном обозначении			Предел прочности при изгибе, $\sigma_n$ , МПа		Разбухание по толщине, $P_s$ , %		Водопоглощение, $W_{60}$ , %	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$P$ , кг/м <sup>3</sup>	$K_{св}$ , %	$T$ , °С	значения дублированных опытов	среднее значение	значения дублированных опытов	среднее значение	значения дублированных опытов	среднее значение
1	+1	+1	+1	800	25	160	52,13 55,00 48,00	51,71	10,13 12,24 8,55	10,31	30,27 41,10 52,18	41,18
2	-1	+1	+1	600	25	160	48,76 45,41 51,95	48,71	10,51 8,94 11,89	10,45	40,63 41,67 49,62	43,97
3	+1	-1	+1	800	15	160	40,42 42,77 38,71	40,63	15,01 16,66 14,39	15,35	64,28 58,34 59,26	60,63
4	-1	-1	+1	600	15	160	31,21 35,62 40,01	35,61	14,85 15,21 16,48	15,51	62,35 70,18 77,48	70,00
5	+1	+1	-1	800	25	130	50,43 55,92 60,08	55,48	10,85 12,47 12,38	11,90	62,09 63,34 70,23	65,22
6	-1	+1	-1	600	25	130	48,44 52,42 56,52	52,46	7,92 7,51 5,00	6,81	54,91 51,61 52,31	52,94
7	+1	-1	-1	800	15	130	32,74 38,06 43,57	38,12	13,38 14,29 13,27	13,65	47,01 41,32 49,83	46,05
8	-1	-1	-1	600	15	130	30,18 31,24 32,06	31,16	16,01 15,96 16,92	16,30	71,13 71,35 63,79	68,76
9	+1	0	0	800	20	145	53,18 60,21 67,05	60,15	9,44 10,99 11,33	10,59	71,76 72,68 75,40	73,28
10	-1	0	0	600	20	145	52,13 55,47 58,04	55,21	13,53 14,70 12,31	13,51	57,00 63,48 59,72	60,07
11	0	+1	0	700	25	145	68,92 73,51 77,54	73,32	8,43 9,47 8,94	8,95	39,25 43,96 41,52	41,58
12	0	-1	0	700	15	145	46,07 50,15 53,98	50,07	13,72 14,37 13,91	14,00	46,94 50,06 50,18	49,06
13	0	0	+1	700	20	160	42,16 45,37 47,76	45,10	7,15 9,02 10,52	8,90	43,28 47,12 48,05	46,15
14	0	0	+1	700	20	130	35,57 40,68 46,02	40,76	9,36 9,52 8,25	9,04	52,57 49,48 50,70	50,92

Коэффициенты уравнений регрессии определялись в соответствии с рекомендациями [3]. Полученные значения коэффициентов представлены в табл.3.

После отбрасывания незначимых коэффициентов уравнения регрессии примут вид:

– для предела прочности при статическом изгибе  
 $Y_1 = 59,04 + 2,29X_1 + 8,61X_2 - 16,10X_3^2 - 1,81X_2X_3$ ,

– для разбухания по толщине

$$Y_2 = 9,98 - 2,64X_2 + 2,07X_1^2 + 1,50X_2^2 - X_3^2 + 0,97X_1X_2,$$

– для водопоглощения

$$Y_3 = 52,23 - 4,96X_2 - 2,20X_3 + 14,46X_1^2 - 6,89X_2^2 - 3,67X_3^2 + 5,20X_1X_2 - 6,10X_2X_3.$$

После математических преобразований уравнения регрессии в натуральных обозначениях примут вид:

Расчет коэффициентов уравнения регрессии и оценка их значимости

Коэффициент	Значение коэффициентов для предела прочности при изгибе	Критическое значение коэффициентов	Значимость	Значение коэффициентов для разбухания	Критическое значение коэффициентов	Значимость	Значение коэффициентов для водопоглощения	Критическое значение коэффициентов	Значимость
$\sigma_0$	59,04	3,13	значим	9,98	0,85	значим	52,23	3,51	значим
$\sigma_1$	2,29	1,55	значим	-0,08	0,42	не значим	-0,94	1,74	не значим
$\sigma_2$	8,61	1,55	значим	-2,64	0,42	значим	-4,96	1,74	значим
$\sigma_3$	0,38	1,55	не значим	0,28	0,42	не значим	-2,20	1,74	значим
$\sigma_{11}$	1,35	3,13	не значим	2,07	0,85	значим	14,46	3,51	значим
$\sigma_{22}$	2,67	3,13	не значим	1,50	0,85	значим	-6,89	3,51	значим
$\sigma_{33}$	-16,1	3,13	значим	-1,00	0,85	значим	-3,67	3,51	значим
$\sigma_{12}$	-0,74	1,74	не значим	0,97	0,47	значим	5,20	1,95	значим
$\sigma_{23}$	-1,81	1,74	значим	0,14	0,47	не значим	-6,10	1,95	значим
$\sigma_{13}$	-0,24	1,74	не значим	-0,34	0,47	не значим	-0,22	1,95	не значим

– для предела прочности при статическом изгибе

$$\sigma_u = -1565,87 + 0,02 P + 5,22 K_{cm} + 21,23 T - 0,07 T^2 - 0,024 K_{cm} T,$$

– для разбухания по толщине

$$P_s = 79,69 - 4,29 K_{cm} - 0,24 P + 1,29 T + 0,002 K_{cm} P + 0,06 K_{cm}^2 - 0,004 T^2,$$

– для водопоглощения

$$W_{\text{вод}} = 478,91 - 2,23 P - 7,50 K_{cm} + 6,21 T + 0,01 K_{cm} P - 0,08 K_{cm} T + 0,001 P^2 - 0,28 K_{cm}^2 - 0,02 T^2.$$

### Выводы

1. Композиционная фанера по основной характеристике материала – пределу прочности при статическом изгибе – удовлетворяет требованиям ГОСТ 3916-96 на фанеру общего назначения. Ее физические показатели – разбухание по толщине и водопоглощение – соответствуют требованиям ГОСТ 10632-89 на древесностружечные плиты.

2. Анализ полученных математических моделей показал, что оптимальными условиями прессования композиционной фанеры являются такие, когда плотность внутреннего слоя и температура прессования находятся на основном

уровне, а количество добавляемого связующего во внутренний слой – на верхнем, т.е. когда  $P = 600 \text{ кг/м}^3$ ,  $K_{cm} = 25 \%$ ,  $T = 145 \text{ }^\circ\text{C}$ .

3. Из анализа уравнений регрессии видно, что наиболее значимым из факторов, влияющих на свойства композиционный фанеры, является количество добавляемого связующего.

4. Композиционная фанера является экономически эффективным материалом, т.к. при достаточно невысоких затратах на производство имеет прочностные характеристики на уровне характеристик фанеры общего назначения. По сравнению с фанерой композиционный материал имеет лучшие тепло- и звукоизоляционные свойства, однако более восприимчив к действию воды. Как конструкционный материал композиционная фанера ни в чем не уступает фанере общего назначения.

### Библиографический список

1. Справочник по производству фанеры / А.А. Веселов, Л.Г. Галюк, Ю.Г. Доронин и др.: под ред. Н.В. Качалина. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 432 с.
2. Отлев, И.А. Справочник по производству древесностружечных плит – 2-е изд. / И.А. Отлев, Ц.Б. Штейнберг, Л.С. Отлева. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 384 с.
3. Пижурин, А.А. Исследования процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенлит. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 231 с.

## ЕЩЕ РАЗ К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ МАЛООТХОДНОГО (БЕЗОТХОДНОГО) ПРЕДПРИЯТИЯ, ПРИЕМЛЕМОГО С ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ, В ОБЛАСТИ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

И.С. ГЕЛЕС, *ПетрГУ, канд. техн. наук*

За время промышленной революции, особенно после 1950 г., из недр Земли на поверхность перемещены колоссальные объемы веществ са-

мой различной природы [1, 2]. В производственные процессы включены основные ресурсы поверхностных и подземных вод и значительные



количества атмосферного кислорода [2]. Все это привело и ведет, очевидно, к необратимым негативным последствиям для природы в целом.

Уникальным универсальным сырьем является древесная биомасса, но вопрос о ее самодостаточности в смысле возможности создания такой взаимосвязанной системы процессов, которая бы обеспечила максимально полное использование исходного материала с минимальным отрицательным воздействием на окружающую среду, на наш взгляд, остается открытым. Технологии химико-механической переработки древесной биомассы связаны с большими потоками собственно сырья, химикатов, водо- и энергопотребления, многотысячными кубометрами технологических растворов, оборотных и сточных вод, парогазовыми выделениями, содержащими зачастую токсические вещества. Очевидно, что гармонизация столь различных, часто противодействующих факторов с целью наиболее полного использования потенциала всех составляющих с минимальными выходами в окружающую среду представляется крайне сложно решаемой проблемой.

Одним из критериев эффективности использования сырьевых ресурсов предложено считать количество отходов на единицу продукции [1]. «...Безотходным производством, строго говоря, является такое производство, в котором все исходное сырье в конечном итоге превращается в ту или иную продукцию... использование, переработка или ликвидация отходов является отдельным самостоятельным направлением...». Безотходность имеет и расширенное трактование, когда распространяется на регион и на межотраслевые связи, включая многократное повторное использование вещей, предметов, изделий и т.д. после исчерпания ими своих функций [3, 4]. Количественной оценкой безотходного предприятия (комплекса) считается использование исходных материальных ресурсов на 90–97 % (0,90–0,97), если они использованы на 80–90 % (0,80–0,90), то это уже малоотходное предприятие. Если выход готовой продукции ниже 80 %, то это – рядовое производство [5]. Такое подразделение принято в химической промышленности.

Предложенные классификации включают в себя также экологические оценки производств. Согласно авторам концепции, первые две категории промышленных предприятий не должны оказывать вредное воздействие на окружающую

среду. Можно представить, что какое-то деревообрабатывающее предприятие полностью использует все виды отходов при практическом отсутствии стоков. Таким образом, оно может быть отнесено к безотходному производству, и соответственно, не наносящему ущерб окружающей среде. Но разве для его функционирования не загублены тысячи га леса, когда полностью разрушается природный ценоз, включая растительный и животный мир? На наш взгляд, работа любого предприятия в той или иной степени отрицательно сказывается на природной среде, а так называемые малоотходные производства в контексте вышеизложенного следует рассматривать только как вынужденно экологически приемлемыми...

Декларированные выше общие принципы не дают конкретных указаний даже по приоритетным направлениям при новых подходах к функционированию производства. В статье «Безотходная технология – основа защиты природной среды» [6] сказано, что «...создание замкнутых водооборотных систем – это первый и важнейший этап на пути создания безотходного производства во всех индустриальных отраслях. Другого альтернативного решения сохранения качества природных вод нет... Разработка замкнутых схем должна основываться на локальных методах очистки...». Этот тезис стал основным при развитии концепции малоотходных производств в различных отраслях промышленности, в том числе и в сфере переработки древесной биомассы [7, 8].

При создании максимально замкнутых схем водопользования наряду с системами локальной очистки предусматривается также механическая и биологическая очистка общих стоков с дальнейшим возвратом этой очищенной воды в основное производство. Как показала практика, традиционная биологическая очистка не обеспечивает необходимого показателя по сточным водам не только для сброса в природные водоемы, но и для возврата в производство. Поэтому предлагается дополнительная ступень очистки – доочистка, где используются самые различные методы [9–15].

В одних случаях применяют коагулянты [9, 10], в других – флокулянты [11], фильтрацию через песочные фильтры [16], имеются и различные комбинированные методы очистки [12, 13]. Все это приводит к дополнительным расходам и возникновению новых порций шламов наряду с избыточным активным илом, для утилизации ко-

торых пока нет оптимальных решений. Замкнутые водообороты имеют свои отрицательные стороны – повышенное биообрастание, коррозия оборудования, выделение неприятных запахов и др., что вынуждает использовать биоциды. Это не устраняет, а даже усиливает коррозию оборудования. Во многих случаях замкнутая водооборотная система приводит к ухудшению качества выпускаемой продукции, усложнению технологических схем [7, 13], коррозии не только оборудования, но и бетонных сооружений [13]. Следует отметить, что высказывания о необходимости создания замкнутых водооборотов как о неких «интеллектуальных достижениях» не имеют под собой основы, по крайней мере, в производстве бумаги – создатель бумагоделательной машины уже предусматривал использование подсеточной воды.

Очевидно, возврат в производство оборотных вод имеет свой оптимум, особенно при выпуске экспортной продукции. Не новой представляется и сама идея мало(без)отходного предприятия с межотраслевой производственной кооперацией. Так, «...в годы Великой Отечественной войны на Соликамском ЦБК осуществили полную комплексную схему переработки сульфитного щелока с выработкой этилового спирта, белковых кормовых дрожжей и литейных концентратов...». В новой концепции акцент делается на воздействие производства на природную среду, чему ранее не уделяли должного внимания.

Особое значение имеет то обстоятельство, что ограничение негативного влияния производственной деятельности носит законодательный характер, а не благие пожелания, что ранее полностью отсутствовало. При реализации концепции мало(без)отходных производств применительно к лесному комплексу основное внимание было уделено созданию замкнутых систем водопользования оборотных вод, противоточной промывке, локальной очистке и возврату в производство части сточных вод после их биологической очистки. При этом необходимо обратить внимание на утилизацию различных веществ, растворенных в сточных водах. Например, для получения полуцеллюлозы из древесины березы предложено применять в качестве варочного раствора сульфит-спиртовую барду, последрожжевую бражку и их концентраты.

Сульфитная барда или смесь ее с сульфитным щелоком добавляется в варочный рас-

твор для получения сульфатной целлюлозы. Отработанный щелок от кислой сульфитной варки служит компонентом варочного раствора, содержащего антрахинон, при получении целлюлозы с улучшенными свойствами. Определенное внимание было уделено утилизации щелоков от горячего облагораживания сульфитных целлюлоз. Он использовался для получения как сульфитного варочного раствора, так и сульфатного.

Промывные воды, образующиеся на стадии горячего облагораживания, также рассматриваются как компонент щелочной варки. Не обходятся вниманием щелока от кислородно-щелочной отбелки, причем их можно использовать и при сульфитной и при сульфатной варках. Найдено применение и щелоку от холодного облагораживания целлюлозы. Показано, что использование его в качестве пропиточного раствора, предваряющего сульфитную варку, улучшает размалываемость целлюлозы.

Оригинальное решение по использованию сточных вод предложено в патенте США, когда стоки, содержащие активный ил, волокна и кору, обрабатывают щелочным раствором. В результате образуется щелочной экстракт, используемый для растворения плава с получением варочного раствора, а твердый остаток добавляют к волокнистой массе при производстве картона или ДВП. Отработанный раствор от производства химдревмассы, содержащий наряду с компонентами сырья едкий натрий, углекислый натрий, сульфит натрия, считается пригодным для получения сульфитного варочного раствора.

Определенное внимание было уделено сточным водам производства ДВП мокрого формования, так как они содержат повышенное количество углеводных соединений, при гидролизе которых образуются моносахариды. Так, для увеличения выхода РВ эти сточные воды предложено использовать в качестве водной среды при получении варочного раствора для кислой сульфитной варки. Следует особо отметить, что идея увеличить выход редуцирующих веществ (РВ) и, соответственно, кормовых дрожжей, начала находить воплощение на гидролизно-дрожжевом заводе Братского ЛПК. Аналогичное решение рекомендуется для сточных вод (СВ) производства термомеханической массы (ТММ), когда в раствор переходит 6,0–6,2 % исходной древесины. СВ древесно-подготовительных отделов ЦБП считаются одними из наиболее загрязненных.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что они могут служить водной средой для получения варочного раствора для кислой сульфитной варки. В гидролизно-дрожжевом производстве основным источником загрязнений выступает последрождевая бражка [7]. Опыты показали, что такие, сильно загрязненные, стоки пригодны в качестве жидкой фазы при получении целлюлозы щелочными способами. Список подобных разработок можно было бы еще продолжать и продолжать.

На наш взгляд, отдельные, казалось бы, независимые технические решения переросли в новое направление технической политики – утилизацию растворенных компонентов древесного сырья из различных отработанных растворов и СВ. Такой новый подход позволит сократить потребление свежей воды, повысить выход определенных видов продукции и соответственно коэффициент использования исходной древесины, снизить расход энергии, но в конечном итоге он не ведет к радикальному снижению нагрузки на биологические очистные сооружения, так как в большинстве случаев новые варианты СВ содержат повышенное количество трудноудаляемых соединений. Нужно отметить, что в настоящее время на предприятиях ЦБП РФ используется только аэробный вариант биологической очистки. В то же время известен анаэробный способ, который имеет ряд преимуществ перед аэробным. В частности, этот процесс позволяет переводить полимеры различной природы (углеводы, производные лигнина и т.п.) в мономерные вещества. В конечном счете из части органических соединений образуется биогаз, состоящий главным образом из метана и  $\text{CO}_2$ . Это значит, что в результате анаэробной очистки получают один из самых эффективных энергоносителей – метан, который по химическому составу наиболее близок к водородному топливу, являющемуся самым экологически чистым и энергоемким [2]. Однако отмеченная биотехнология не способна деградировать все классы органических соединений.

Сочетание анаэробной и аэробной очисток позволит в максимальной степени снизить нагрузку на окружающую среду, но такая система связана с существенными капитальными и эксплуатационными затратами. На наш взгляд, в ЦБП, особенно при производстве небеленой сульфатной целлюлозы, имелись все ос-

новные составляющие, связанные с созданием мало(без)отходных производств. Тем не менее, отсутствие системного подхода и комплексной оценки последствий, связанных с ущербом среде обитания, и ряд других причин привели к тому, что ЦБП стала одним из основных загрязнителей природы. До сих пор щелока от различных видов сульфитной варки загрязняют поверхностные воды, что обуславливает проблематичность существования сульфит-целлюлозного производства в России. Особо следует отметить, что развитие концепции мало(без)отходного производства сопровождается ужесточением требований по количеству и составу загрязнений. При оценке перспектив развития ЦБП, акцентируя особое внимание на вопросах сохранения природной среды, в первую очередь были выделены такие направления, как создание нового оборудования и отбелка целлюлозы. При этом на первый план выдвигались вопросы сульфатного производства, так как отбелка такой целлюлозы отягощена эколого-экономическими проблемами. Считается, что вопросы отбелки с минимизацией хлорорганических соединений в СВ гораздо легче решить, если получать небеленую целлюлозу с пониженным содержанием остаточного лигнина. Обращает на себя внимание мнение о том, что проблемы отбелки с замкнутым циклом оборотных вод гораздо проще решаются для сульфитных целлюлоз. Ряд таких предприятий за короткий срок стал «экологически чистым», поскольку для отбелки использовали только кислород и перекись водорода.

Имеются различные взгляды, предложения и разработки в сфере создания мало(без)отходных предприятий. Обычно такого рода технологии рассматриваются в рамках одного вида производства, например сульфатной или сульфитной целлюлозы. Разрабатывая замкнутую систему оборотных вод сульфатного производства с включением в цикл вод отбелки, авторы предложили довольно сложную схему. Особенность ее состоит в том, что при отбелке сохранялась стадия хлорирования, где только часть элементарного хлора (15 % и 50 %) заменялась на двуокись хлора. Именно наличие ионов хлора обусловило чрезмерное усложнение схемы, но были минимизированы объемы сточных вод, поступающих на очистку.

Другим направлением в создании предприятия, приемлемого с разных точек зрения, является получение небеленой сульфатной целлю-

лозы с низким содержанием остаточного лигнина. Это достигается тем, что в сам процесс варки вносятся существенные изменения. Получаемые целлюлозы можно отбелить по так называемой полностью или частично бесхлорной схеме. В первом случае при отбелке совершенно отсутствуют реагенты, содержащие хлор, а во втором – исключается элементарный хлор, но применяется двуокись хлора. Такие схемы позволяют включать значительную часть оборотных вод ступеней отбелки в промывку небеленой целлюлозы, растворение плава и другие стадии и сводить к минимуму объем сточных вод.

В качестве одного из вариантов «экологически чистого» производства целлюлозы считается технология кислородно-щелочной делигнификации древесного сырья. Получаемый щелок содержит органических веществ (по ХПК) в 3–4 раза ниже, нежели сульфатный. Это считается важной положительной стороной этого способа варки. Однако авторы обходят молчанием вопрос о том, как использовать такой щелок. По-видимому, применить его в качестве топлива нецелесообразно из-за низкой его теплотворной способности. Более того, все летучие кислоты окисляют до воды и  $\text{CO}_2$ . Очевидно, это энергозатратный процесс. В варианте окислительного аммонолиза даже при небольшом объеме сточных вод неизбежно эвтрофирование природных вод. Имеются самые различные разработки по построению бессточной схемы того или иного предприятия. В частности, группа специалистов одной из консалтинговых фирм предложила свой вариант бессточного производства газетной бумаги. За основу принято положение, согласно которому газетная бумага будет производиться из 95 % ТММ, отбеленной дитионитом, и 5 % сульфатной целлюлозы (покупной). Оставив в стороне вопросы белизны и печатных свойств такой бумаги, рассмотрим меры по предотвращению загрязнения поверхностных вод. Небольшое количество сточных вод от окорки и стоки от ТММ совместно с концентратом от ультрафильтрационной установки, куда поступают сточные воды от промывки ТММ и некоторые другие, упариваются в вакуум-выпарной установке и сжигаются совместно с отходами окорки в котельной. Для работы выпарки используется нефтяное топливо. Отходы сортирования ТММ после размола сгущаются на дисковом фильтре, стоки с которого поступают в окорочный отдел.

Сточные воды от буммашины выдерживаются в больших емкостях, после чего подвергаются биологической очистке. Доочистку ведут путем введения флокулянтов и фильтрацией через песочные фильтры. Часть такой воды возвращают в производство. Такая «накачка» технологической схемы энергозатратными «очистными» установками приведет в конце концов к экономической неэффективности производства, так как база энергоносителей все время сокращается, а стоимость соответственно возрастает. В данном проекте, на наш взгляд, необходимость сохранения природной среды чрезвычайно тяжелым бременем ложится на производство. Указанные выше разработки рассматривают производство обычно в довольно узких рамках. Поэтому все вспомогательные цеха и очистные сооружения существенно повышают себестоимость продукции. Во многих случаях такие предприятия оказываются не в состоянии решить груз проблем. Так, например, автономно стоявшие гидролизные заводы и цеха мокрого формования в основном прекратили свою работу.

Выше отмечалась тенденция использования компонентов древесины, перешедших в различные технологические растворы и сточные воды. В результате образовывались стоки с повышенной концентрацией трудноокисляемых веществ. Например, использование сточных вод ТММ или ДВП мокрого формования в гидролизном производстве наряду с ростом РВ ведет к возрастанию в стоках производных фурана, леволиновой кислоты, продуктов деструкции лигнина и т.п. Значительное количество трудно биоразрушаемых соединений содержат стоки мокрой окорки, конденсаты выпарных станций, сточные воды сульфит-целлюлозных заводов и др.

Необходимо еще раз отметить, что технология производства беленой сульфатной целлюлозы как господствующего способа, на наш взгляд, находится в кризисном состоянии. Необходимость поддержания здоровой среды обитания требует все больших затрат. В связи с этим сокращение материальных, водных и энергетических ресурсов в целлюлозно-бумажной промышленности все более выходит на первый план. По нашему мнению, это можно реализовать не простым сочетанием, а определенным комбинированием отдельных производств, когда указанная нами тенденция утилизации компонентов древесного сырья и соответствующих реагентов



будет находить свое логическое завершение не только в промежуточных процессах, но, главным образом, в финальных – в виде готовой продукции, регенерации химикатов и использовании энергетического потенциала компонентов сточных вод. Основной отстаиваемый нами тезис состоит в использовании самых загрязненных стоков в основных технологиях химической переработки древесного сырья, а не в их очистке с целью дальнейшего возврата в производство. При этом центром утилизации и одновременно очистки выступает щелочная варка, способная «переварить» как саму древесную биомассу, так и сопутствующие вещества. Здесь процессы переработки исходного сырья и регенерации химикатов и тепла наиболее полно сочетаются и отработаны. Реальность такого подхода показана рядом независимых опытов. Однако не исключается, что в ряде случаев придется чем-то и поступиться. На наш взгляд, со временем, кстати, не столь далеко, необходимо будет сократить производство сульфатной целлюлозы высокой белизны как энергозатратной.

В последние десятилетия в связи с резким сокращением в мире производства сульфитной целлюлозы интерес к проблемам этого способа существенно упал. Очевидно, следует масштабно интенсифицировать исследования в области утилизации лигносульфонатов как в традиционных направлениях, так и в сфере их химической модификации с получением высококачественных продуктов, например ионообменных материалов. Общие и частные решения в этой сфере позволили бы расширить выработку белых сульфитных целлюлоз, технологии отбеливания которых, как показала практика работы ряда предприятий, приемлемы с экономической и экологической точек зрения. Построение таких сложных комплексных производств возможно на основе создания различных моделей с их всесторонней оценкой. Несомненно, требуется проведение и больших экспериментальных работ с тем, чтобы избежать различных возможных негативных проявлений («гипсация» и повышенная коррозия оборудования, образование новых токсикантов и т.д.). На наш взгляд, такой подход, представляющий новый этап совершенствования и создания процессов и технологий химико-механической переработки древесного сырья, обеспечит их существование и дальнейшее развитие.

### Библиографический список

1. Громов, Б.В. Итоги науки и техники. Серия «Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов». Т. 9. Безотходное промышленное производство. Основные принципы безотходных производств / Б.В. Громов, В.А. Зайцев, Б.Н. Ласкорин и др. – М., 1981. – 217 с.
2. Состояние Мира 2001. Доклад Института Worldwatch о развитии по пути к устойчивому обществу. – М.: Весь Мир, 2003. – 416 с.
3. Балацкий, О.Ф. Безотходное производство: экономика, технология, управление / О.Ф. Балацкий, Б.В. Ермоленко, А.Ю. Журавский и др. // Итоги науки и техники. ВИНТИ. – М., 1987. – 184 с.
4. Зайцев, В.А. Безотходное производство: вопросы теории и практики / В.А. Зайцев // Химическая промышленность. – 1987. – № 5. – С. 3–8.
5. Гильденберг, Е.З. Методология оценки химических производств на их соответствие категориям мало- и безотходности / Е.З. Гильденберг, М.И. Качин, Л.А. Слесарева // Химия в защите окружающей среды. – 1990. – Т. XXXV. – № 1. – С. 129–132.
6. Ласкорин, Б.Н. Безотходная технология – основа защиты природной среды / Б.Н. Ласкорин // Вестник АН СССР. Программа биосферных и экологических исследований АН СССР. – 1988. – № 11. – С. 51–56.
7. Евилевич, А.З. Безотходное производство в гидролизной промышленности / А.З. Евилевич, Е.Н. Ахмина, М.Н. Раскин и др. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 182 с.
8. Терентьев, О.А. Охрана окружающей среды в целлюлозно-бумажной промышленности / О.А. Терентьев, М.А. Евилевич // Проблемы качества природных вод. – Черногловка, 1997. – С. 185–197.
9. Заморуев, Б.М. Замкнутый цикл оборотных вод в целлюлозно-бумажном производстве / Б.М. Заморуев // Бумажная промышленность. – 1967. – № 2. – С. 16–18.
10. Черноусов, Ю.И. О влиянии цеховых сточных вод на процесс химической очистки промстоков / Ю.И. Черноусов, В.Н. Костыгин, М.Л. Мурская и др. // Проблемы производства полуфабрикатов и очистки сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. сб. тр. ВНИИБ. – М., 1975. – Вып 67. – С. 155–160.
11. Макаров, В.А. Использование катионных полимерных флокулянтов для доочистки сточных вод гидролизно-дрожжевого производства / В.А. Макаров, Ю.И. Холькин, В.А. Елкин и др. // Гидролизная и лесохимическая промышленность. – 1990. – № 3. – С. 10–12.
12. Кагановский, А.М. Анализ существующих технологических схем доочистки биологически очищенных городских и промышленных сточных вод с целью применения для нужд промышленного водоснабжения / А.М. Кагановский, Т.М. Ткачук // Химия и технология воды. – 1991. – Т. 13. – № 6. – С. 511–516.
13. Гончаров, А.И. Программа превращения Селенгинского ЦКК в экологически чистое предприятие. Этапы осуществления / А.И. Гончаров, Н.А. Алдохин, К.М. Прошкин и др. // Бумажная промышленность. – 1991. – № 6–7. – С. 6–7.
14. Никитин, Я.В. Решение проблем Байкала – водооборот на целлюлозно-картонном предприятии / Я.В. Никитин, М.К. Григорьева // Бумажная промышленность. – 1991. – № 6–7. – С. 8–10.
15. Murch K., Hartmann J. Vermeidung von Reststoffen aus der Abwasserreinigungsanlage (ARA) // Wochenbl. Papierfabrikation 1990. Vol. 118, No 2. S. 55–61.

## АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЙ НА КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ РЕЗАНИИ ПЛИТНЫХ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

Процесс резания материалов сопровождается сложным взаимодействием режущего клина и обрабатываемой заготовки. В результате трения между стружкой и передней поверхностью, задней поверхностью и поверхностью резания происходит износ режущего инструмента. Среди факторов, влияющих на износ режущих кромок, первостепенную роль играет высокая температура в поверхностных слоях режущей части резца.

Она влияет на процессы, происходящие на контактных поверхностях, которые определяют механизмы и интенсивность изнашивания. Температура зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала и материала заготовки, режима резания, геометрии инструмента, условий обработки и других факторов. Контактные поверхности режущего клина имеют малые размеры, что приводит к большим градиентам температуры на этих поверхностях. Современные методы экспериментальных исследований не позволяют с достаточной точностью измерить температуру на таких поверхностях и тем более невозможно учесть влияние всех факторов на процесс взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемой поверхностью. Теоретический анализ явлений, происходящих на контактных поверхностях режущего клина при его взаимодействии с обрабатываемым материалом, основанный на модельном представлении их, позволяет всесторонне оценить влияние на эти процессы как отдельных факторов, так и их совокупности.

Аналізу тепловых явлений процесса резания металлов посвящено большое количество научных работ [1–3]. К настоящему времени создана достаточно строгая теория, позволяющая анализировать тепловые явления в зоне резания в зависимости от режимов и условий резания, геометрии режущего инструмента, физико-механических свойств материала заготовки и режущего инструмента. Эта теория находит успешное применение и для анализа тепловых явлений при резании древесины [4, 5]. Основные положения этой теории могут также использоваться и для анализа тепловых явлений при резании древес-

ных композиционных материалов с учетом их особенностей. В отличие от металлов древесные композиционные материалы обладают значительно меньшей теплопроводностью (их теплопроводность более, чем на два порядка, ниже металлов), а при их обработке скорость резания более, чем на порядок, выше, чем при обработке металлов. Большинство древесных композиционных материалов, особенно на минеральных вяжущих, обладает структурной неоднородностью. Почти все древесные композиционные материалы являются пористыми. Эти особенности необходимо учитывать при анализе тепловых явлений процесса их резания.

В работе [6] предложена структурная модель цементно-стружечной плиты (ЦСП) для целей резания. В этой модели предполагается, что часть усилия резания затрачивается на разрушение цементного камня, которое происходит при упругих деформациях, т.е. разрушение камня носит хрупкий характер. Сколовшийся камень образует стружку надлома, которая не оказывает влияния на величину силы трения на передней поверхности режущего клина. Тепловые потоки, образующиеся вследствие упругой деформации при скалывании цементного камня, полагаются малыми и в уравнении теплового баланса не учитываются. Предполагается также, что в цементном камне (геле) может содержаться до 40 % негидратированных зерен клинкера размером 20–60 мкм. Твердость зерен клинкера сопоставима с твердостью материала режущего клина и сохраняется при нагреве до температуры 2070–2190°C. Такое предположение позволяет рассматривать цементный камень как абразивный материал, а процесс взаимодействия задней поверхности режущего клина с цементным камнем – как процесс микрорезания.

Ниже по предложенной модели производится численный анализ тепловых явлений на контактных поверхностях режущего клина при цилиндрическом фрезеровании различных древесных композиционных материалов: ЦСП, ДСтП и МДФ (древесноволокнистые плиты средней плотности). Выбор этого метода обработки для

анализа тепловых явлений в зоне резания обусловлен тем, что для условий прерывистого резания, характерного и для других видов обработки, существует достаточно строгое математическое обоснование, позволяющее выявить основные теплофизические закономерности без существенного усложнения математической модели. С целью обеспечения сопоставимости результатов расчетов для всех материалов сохраняются постоянными следующие параметры:

– геометрические параметры режущего клина (передний угол  $\gamma = 5^\circ$ , главный задний угол

$\alpha = 11^\circ$ , диаметр фрезы  $D_\phi = 143$  мм); материал режущего клина – твердый сплав ВК8 (коэффициент теплопроводности материала  $\lambda = 54,6$  Вт/(м·К);

– скорость резания  $v = 20,6$  м/с;

– подача на зуб фрезы  $s_z = 1,6$  мм/зуб;

– силы резания  $P_x, P_y, P_z$ ;

– угол контакта зуба фрезы с обрабатываемой поверхностью на длине дуги резания –  $17,5^\circ$ .

Переменными параметрами процесса резания являются теплофизические и физико-механические характеристики обрабатываемых материалов.

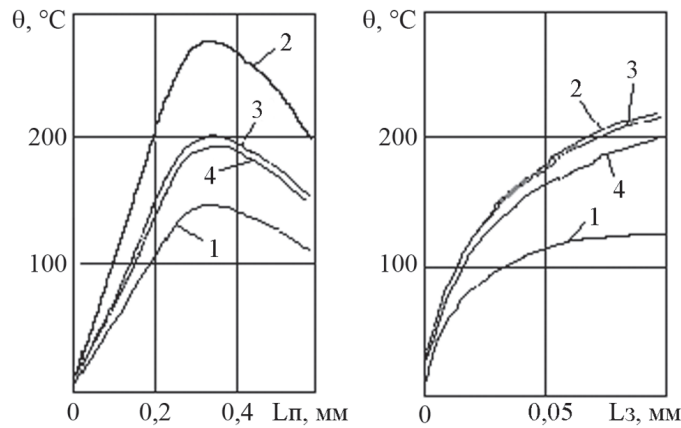


Рис. 1. Распределение температуры на контактных площадках режущего клина при резании ЦСП в зависимости от угла поворота зуба фрезы: 1 – 2,5°; 2 – 7,5°; 3 – 12,5°; 4 – 17,5°

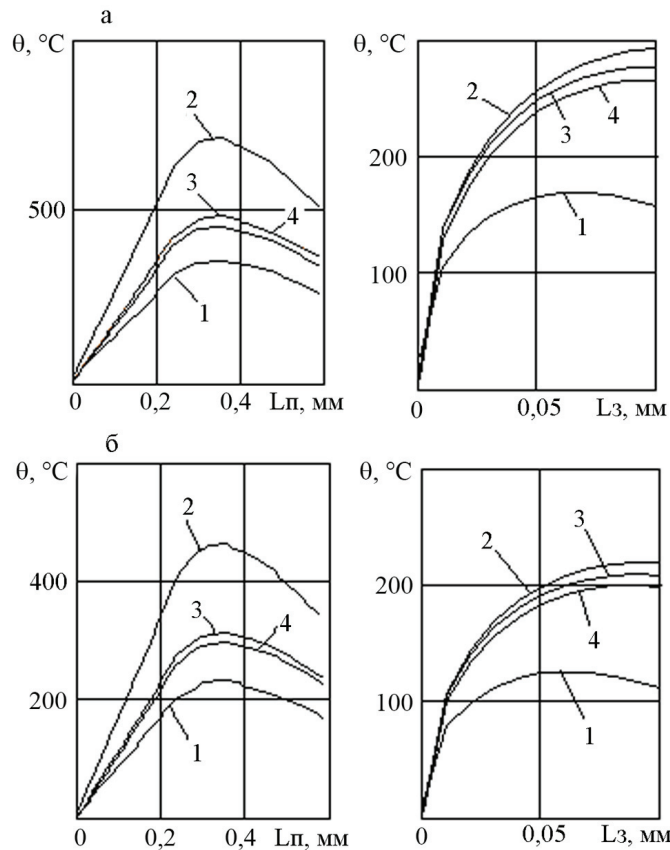


Рис. 2. Распределение температуры на контактных площадках режущего клина при резании ДСтП (а) и МДФ (б): 1 – 2,5°; 2 – 7,5°; 3 – 12,5°; 4 – 17,5°

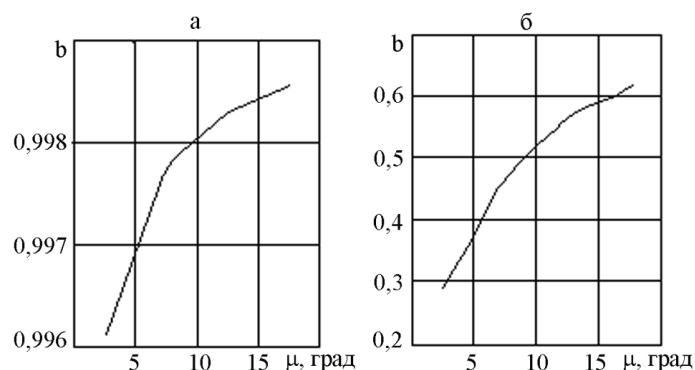


Рис. 3. Зависимость коэффициента, учитывающего распределение теплоты деформации в стружку, от угла поворота зуба фрезы: а) ЦСП; б) сталь

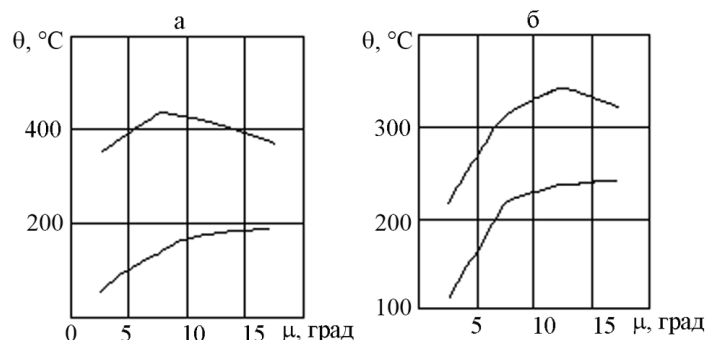


Рис. 4. Температура резания ЦСП (а) и стали 45 (б): 1 – острым резцом; 2 – затупленным резцом

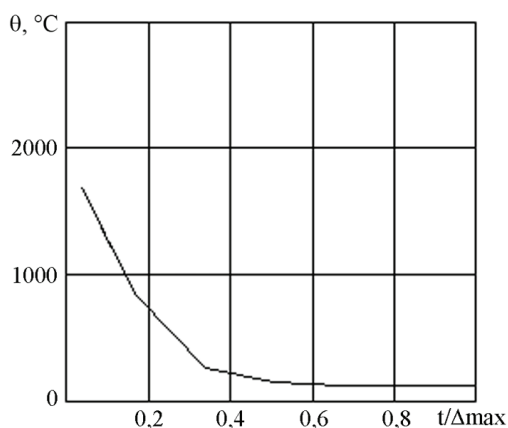


Рис. 5. Температура на контактной поверхности зерна в зависимости от относительной глубины микрорезания

Угол контакта зуба фрезы с обрабатываемой поверхностью на длине дуги резания разбивался на четыре диапазона (2,5°; 7,5°; 12,5° и 17,5°), а длина контакта стружки с передней поверхностью и задней поверхности резца с обрабатываемым материалом разбивалась на 10 равных частей. Для каждого значения угла поворота зуба рассчитывались поверхностная плотность теплового потока и распределение температуры на контактных поверхностях режущего клина. Результаты расчетов представлялись в табличной и графической форме. Программы расчетов реализованы в Mathcad.

На рис. 1 представлены результаты численных расчетов распределения температуры на

контактных поверхностях режущего клина при резании ЦСП плотностью  $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$ .

Уровень максимальных значений температур на передней и задней поверхностях практически одинаков. Характер распределения температуры на контактных площадках резца существенно отличается, что связано с особенностями взаимодействия стружки с передней поверхностью. Низкий уровень температуры на передней поверхности режущего клина обусловлен тем, что часть усилия резания затрачивается на скалывание цементного камня. Основным источником тепла являются силы трения стружки с передней поверхностью, которые имеют максимальное значение в прикромочной области и существенно снижаются по мере удаления от режущего лезвия. Сколовшийся цементный камень в виде мелких частиц с большой скоростью сталкивается с передней поверхностью режущего клина и вызывает ее ударно-абразивный износ.

Характер распределения температур на поверхностях режущего клина при резании ДСтП ( $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ , пористость  $\Pi = 0,61$ ) (рис. 2, а) и МДФ ( $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ , пористость  $\Pi = 0,48$ ) (рис. 2,б) аналогичен резанию ЦСП. Резание ДСтП характеризуется наиболее высоким уровнем температуры как на передней, так и на задней поверхностях режущего клина.



При резании МДФ уровень температуры на передней поверхности несколько выше, а на задней поверхности такой же, как и при резании ЦСП.

Теплота деформации в зоне стружкообразования распределяется между образующейся стружкой и обрабатываемым изделием. Это распределение характеризуется коэффициентом  $b$ , представляющим собой долю теплоты деформации, передаваемой стружке. Коэффициент  $b$  является функцией переднего угла режущего клина, усадки стружки и скорости резания, причем скорость резания оказывает наибольшее влияние на его численное значение. На рис. 3 представлены результаты численных расчетов этого коэффициента для случаев резания ЦСП и стали 45. Как следует из рис. 3, при резании стали значительная доля теплоты деформации передается обрабатываемому изделию, в то время как при резании ЦСП практически вся теплота деформации передается стружке. При резании МДФ и ДСтП численное значение коэффициента  $b$  также близко к единице.

Известно, что затупление лезвия режущего клина приводит к повышению температуры резания. На рис. 4 приведены результаты расчета температуры резания острым и тупым инструментом при резании ЦСП и стали 45. При резании ЦСП тупым инструментом температура резания возрастает более, чем в 2 раза, а при резании стали 45 – в 1,5 раза. Резкое повышение температуры при резании тупым инструментом характерно для всех древесных композиционных материалов и объясняется их низкой теплопроводностью.

В предложенной выше структурной модели ЦСП для целей резания взаимодействие задней поверхности режущего клина с цементным камнем рассматривается как процесс шлифования. В работе [7] представлены результаты статистического моделирования процесса взаимодействия цементного камня с задней поверхностью режущего клина и приведены численные значения температуры, возникающей на контактной поверхности отдельных зерен клинкера. Результаты таких расчетов представлены на рис. 5. Температура на поверхностях контакта отдельных зерен достигает  $1500^{\circ}\text{C}$  и более.

Анализ результатов численного расчета распределения температуры на контактных поверхностях режущего клина при резании различных плитных древесных композиционных материалов позволяет сделать определенные выводы.

1. Распределение температуры на передней поверхности режущего клина характеризуется наличием максимума на некотором расстоянии от режущей кромки, что связано с влиянием сил трения стружки с контактной поверхностью на распределение тепловых потоков, достигающих максимальных значений в этой зоне. Наибольшие значения температуры характерны для случая резания ДСтП, в меньшей степени – МДФ, и существенно ниже температура на передней поверхности режущего клина при резании ЦСП.

2. Температура на задней поверхности режущего клина достигает максимальных значений в конце площадки контакта его с поверхностью резания при повороте зуба фрезы на угол  $17,5^{\circ}$ . Максимальные значения температур в меньшей степени зависят от вида обрабатываемого материала.

3. При резании древесных композиционных материалов практически вся теплота деформации в зоне резания поступает в стружку в отличие от металлов, что объясняется низкими значениями коэффициента теплопроводности этих древесных материалов.

4. Затупление режущего инструмента при обработке древесных материалов оказывает наибольшее влияние на температуру в зоне резания по сравнению с обработкой металлов.

5. Средний уровень температуры на задней поверхности режущего клина недостаточно высок, поэтому первостепенное значение имеют температурные всплески, возникающие на поверхностях отдельных абразивных зерен и влияющие на процессы изнашивания инструментального материала.

#### Библиографический список

1. Клушин, М.И. Резание металлов / М.И. Клушин. – М.: Машгиз, 1958. – 454 с.
2. Талантов, Н.В. Определение температуры контактных поверхностей инструмента с учетом объемности процесса тепловыделения. В сб. теплофизика технологических процессов / Н.В. Талантов, Т.В. Шитова. – Куйбышев, 1970. – С. 16–22.
3. Резников, А.В. Теплофизика резания / А.В. Резников. – М.: Машиностроение, 1969. – 288 с.
4. Лейхтлинг, Р.Л. Исследование нагрева дереворежущего инструмента в процессе резания: авт. ... канд. техн. наук / Р.Л. Лейхтлинг. – Красноярск, 1967. – 17 с.
5. Двоскин, Л.М. Исследование сил резания и тепловых явлений, сопутствующих процессу резания древесины: дисс. ... канд. техн. наук / Л.М. Двоскин. – Минск, 1974. – 172 с.
6. Абразумов, В.В. Моделирование процесса резания древесных композитов на минеральных вяжущих / В.В. Абразумов, В.Д. Котенко // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2005. – № 6(42). – С. 58–62.
7. Абразумов В.В. Анализ особенностей взаимодействия обрабатываемой поверхности ЦСП с задней поверхностью режущего инструмента / В.В. Абразумов. – М., 2005.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МАСС ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА МОТОБЛОКА ПРИ СТАЦИОНАРНОМ КИНЕМАТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

М.В. ПОДРУБАЛОВ, *инж. МГУЛ*

При проведении расчетных исследований вибрации мобильной машины основным вопросом (решение которого в значительной мере определяет выбор математического аппарата, эффективность вычислительных алгоритмов и корректность результатов) является разработка расчетной схемы с достаточной для решения поставленных задач степенью детализации и математической модели, описывающей колебания масс машины в заданных режимах нагружения.

Основным фактором, обуславливающим возникновение динамических нагрузок, является кинематическое воздействие на колеса машины, возникающие от неровностей пути.

Для проведения исследований вибронагруженности на сидении оператора и руле в транспортном режиме работы мотоблока агрегат с оператором будем интерпретировать в виде системы твердых тел, соединенных упругодиссипативными связями.

При использовании в дальнейшем спектрального метода анализа выходных характеристик вибронгруженности необходимо привести линеаризацию уравнений твердых тел в области положения статического равновесия системы.

В общем случае колебания твердых тел, соединенных упругодиссипативными связями, в поле потенциальных сил описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений.

Учитывая это, оценим возможность линеаризации дифференциальных уравнений, описывающих колебания масс мотоблока М-3 с тележкой. Разложим в степенной ряд тригонометрические функции синуса и косинуса для координаты продольного угла колебаний остова транспортного агрегата мотоблока. Тогда при заданной продольной базе агрегата и суммарных прогибах передних (мод. Ф-106) и задних (мод. К-82) шин максимальный наклон остова будет равен  $4,2^\circ$ , и уже вторые члены разложения составят менее 0,5 % от первых. Чуть большие величины получаются и при поперечных колебаниях остова.

Сказанное выше говорит о том, что при теоретических расчетах колебания мотоблока можно считать малыми. В этом случае тригоно-

метрические функции углов колебаний масс динамической системы заменяются первыми членами их разложений в степенные ряды, т.е.

$$\begin{aligned}\sin q &= q \\ \cos q &= 1\end{aligned}$$

Мобильные машины вообще являются динамическими системами с нелинейными упругими и диссипативными связями. К таким нелинейностям относятся ограничители ходов подвесок, «сухое» трение как в направляющих устройствах, так и в упругих и демпфирующих элементах, которые также имеют нелинейные характеристики и др.

Вместе с тем следует отметить, что:

– упругие характеристики подвески сидения и руля в зоне статического прогиба, где в основном происходят колебания, практически линейны;

– упругие и демпфирующие характеристики пневматических шин в области статических прогибов также имеют характер линейных зависимостей;

– при близком к нормальному закону распределения ординат профилей пути и их кинематических воздействий [1, 2] законы распределения выходных оценочных параметров мобильных машин (ускорения, напряжения, прогибы в подвесках) также близки к нормальному [1, 2], что свидетельствует о практической линейности их динамических систем и малом влиянии нелинейности характеристик упругодиссипативных связей при наличии таких мощных фильтров низких частот, какими являются подрессоренные и не подрессоренные массы.

Существующие конструкции мобильных машин являются устойчивыми динамическими системами с большой диссипацией. Как показали экспериментальные исследования, нелинейности связей в реальных конструкциях не вызывают изменения собственных частот колебаний масс системы при изменении интенсивности кинематического воздействия [2].

На основании вышесказанного при построении математической модели колебаний масс динамической системы транспортного агрегата с мотоблоком и оператором считаем, что все упругие и демпфирующие связи между массами системы имеют линейные зависимости.

В дополнение к вышесказанному при построении расчетной схемы и математической модели колебаний агрегата при движении в транспортном режиме принимаем следующие общепринятые допущения:

- 1) агрегат симметричен относительно продольно-вертикальной плоскости, проходящей через центральный шарнир;
- 2) связи считаются телами с бесконечно малой массой;
- 3) агрегат движется прямолинейно с постоянной скоростью, а кинематические воздействия являются непрерывными функциями времени;
- 4) отсутствует влияние продольных и поперечных реакций профиля пути на колебания масс мотоблока;
- 5) неуравновешенность вращающихся масс и их гироскопические моменты равны нулю.

Составим расчетную схему транспортно-агрегата мотоблока с оператором при его движении с постоянной скоростью (рисунок).

На схеме агрегат с оператором интерпретируется в виде системы 4 твердых тел, соединенных упругодиссипативными связями и шарниром, имеющей 4 входа и 7 степеней свободы. Малые колебания масс системы около положения равно-

весия описываются системой обыкновенных линейных уравнений 14 порядка.

На схеме введены следующие обозначения:

- $Q_i$  ( $i = \overline{1,4}$ ) – кинематические воздействия от профиля пути;
- $q_k$  ( $k = \overline{1,7}$ ) – обобщенные координаты;
- $P_1$  – центр инерции мотоблока;
- $P_2$  – центр инерции тележки;
- $O_1$  – проекция точки  $P$  на ось горизонтального шарнира;
- $O_2$  – проекция точки  $P$  на ось горизонтального шарнира;
- $O_3$  – центр инерции оператора и сидения;
- $O_4$  – центр инерции руля;
- $A, B$  – точки регистрации ускорений;
- $F_1, F_2, F_3, F_4$  – точки крепления колес;
- $U_{c1}, U_{c2}$  – точки крепления подвески сидения;
- $E_1, E_2$  – точки крепления подвески руля;
- $E_3, E_4$  – точки соприкосновения руля с руками и рук с туловищем;
- $c_i$  ( $i = \overline{1,8}$ ) – жесткости упругих элементов;
- $k_i$  ( $i = \overline{1,8}$ ) – коэффициенты диссипации.

Для вывода уравнений движения воспользуемся следующими обозначениями:

Радиус-вектор центра масс тела с массой $m_i$ ( $i = \overline{1,4}$ )	Скорости полюсов	Угловые скорости масс
$\vec{r}_1 = (0, 0, Z_{p1})$	$\vec{V}_1 = (0, 0, \dot{q}_1)$	$\vec{\omega}_1 = (\dot{q}_3, \dot{q}_2, 0)$
$\vec{r}_2 = (X_p, 0, Z_{p2})$	$\vec{V}_2 = (0, 0, \dot{q}_4)$	$\vec{\omega}_2 = (\dot{q}_4, \dot{q}_2, 0)$
$\vec{r}_3 = (0, 0, 0)$	$\vec{V}_3 = (0, 0, \dot{q}_3)$	$\vec{\omega}_3 = (\dot{q}_4, \dot{q}_6, 0)$
$\vec{r}_4 = (0, 0, 0)$	$\vec{V}_4 = (0, 0, \dot{q}_7)$	$\vec{\omega}_4 = (\dot{q}_3, \dot{q}_2, 0)$

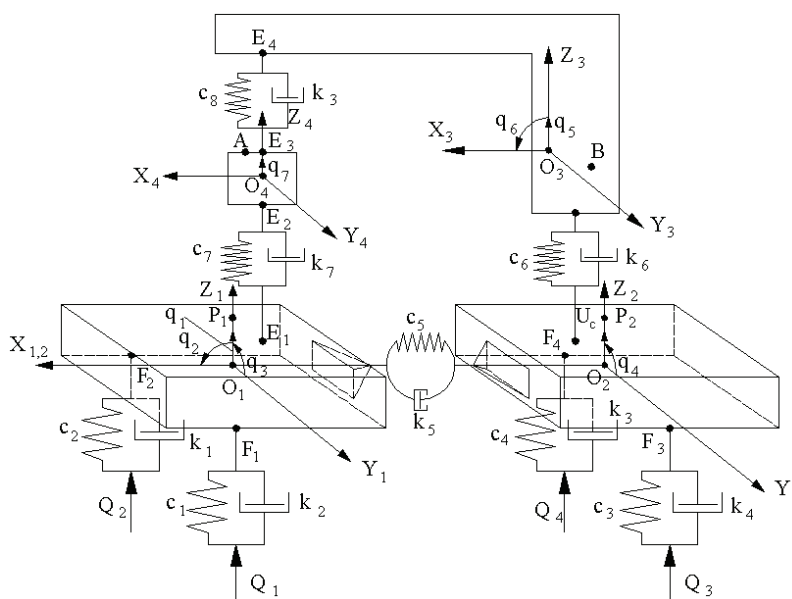


Рисунок. Расчетная схема динамической системы «транспортный агрегат мотоблока – оператор»

Тензоры инерции

$$(Q_i) = \begin{pmatrix} J_{xxi} & 0 & -J_{xxi} \\ 0 & J_{yyi} & 0 \\ -J_{zxi} & 0 & J_{zxi} \end{pmatrix} \quad i = \overline{1,4}$$

Выражение для вычисления кинетической энергии системы имеет вид

$$M = \begin{pmatrix} m_1 + m_2 & -x_{p2} \cdot m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -x_{p2} \cdot m_2 & J_{yy1} + J_{yy2} + J_{yy3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_{xx1} + J_{xx2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_{xx1} + J_{xx2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_{yy3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_4 \end{pmatrix}.$$

Введем обозначения:

$\vec{q} = \|q_1, q_2, \dots, q_7\|^T$  – вектор обобщенных координат системы;  
 $\vec{Q} = \|Q_1, Q_2, Q_3, Q_4\|^T$  – вектор кинематических воздействий;  
 $\vec{\tilde{Q}} = \|\vec{q}_T, \vec{Q}_T\|^T$  – расширенный вектор перемещений;

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 (m_i \cdot v_i^2 + 2m_i (\vec{v}_i \times \vec{\omega}_i) r_i + \vec{\omega}_i (Q_i) \cdot \vec{\omega}_i). \quad (1)$$

Кинетическая энергия является квадратичной формой от обобщенных скоростей  $\dot{q}_k$  ( $k = 1, 7$ ). Запишем матрицу коэффициентов этой квадратичной формы

$T$  – оператор транспонирования.

Выражение для вычисления потенциальной энергии системы представим в виде

$$\Pi = \frac{1}{2} \vec{\tilde{Q}}^T \cdot \Delta^T \cdot \tilde{c} \cdot \Delta \cdot \vec{\tilde{Q}}, \quad (2)$$

где  $\tilde{c} = \text{diag} \{c_i\}$ ,  $i = \overline{1,8}$  – матрица деформаций упругих элементов;

$$\Delta = \begin{pmatrix} -1 & O_1 F_{1x} & -O_1 F_{1y} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & O_1 F_{2x} & O_1 F_{2y} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -O_1 F_{3x} & 0 & -O_2 F_{3y} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & -O_1 F_{4x} & 0 & O_2 F_{4y} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & O_1 U_{C1x} & 0 & 0 & -1 & -O_3 U_{C2x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & O_1 E_{1x} & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & O_3 E_{4x} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Выражение для вычисления диссипативной функции Релея представим в виде

$$R = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \vec{\tilde{Q}}^T \cdot \Delta^T \cdot \tilde{k} \cdot \Delta \cdot \frac{d}{dt} \vec{\tilde{Q}}, \quad (3)$$

где  $\tilde{k} = \text{diag} \{k_i\}$ ,  $i = \overline{1,8}$

Дифференциальное уравнение малых колебаний масс динамической системы агрегата с оператором в матричной форме имеет вид

$$(D^2 M + DK + C) \vec{q} = (DB_1 + B_2) \vec{Q}, \quad (4)$$

где  $D = d/dt$  – оператор дифференцирования;

$K$  – матрица коэффициентов сопротивления;

$C$  – матрица коэффициентов жесткости;

$B_1$  – матрица коэффициентов сопротивления при кинематических воздействиях;

$B_2$  – матрица коэффициентов жесткости при кинематических воздействиях.

Используя соотношения (2) и (3), а также

$$\Delta^T \cdot \tilde{c} \cdot \Delta = \begin{pmatrix} C & -B_2 \\ -B_2^T & \tilde{C} \end{pmatrix},$$

$$\Delta^T \cdot \tilde{k} \cdot \Delta = \begin{pmatrix} K & -B_1 \\ -B_1^T & \tilde{K} \end{pmatrix},$$

где  $\tilde{C}$  – диагональная матрица жесткости;

$\tilde{K}$  – диагональная матрица коэффициентов диссипации шин.

Можно вычислить матричные коэффициенты  $K, C, B_1, B_2$  векторного дифференциального уравнения (4).

Для исследования вынужденных колебаний масс мотоблока и оператора в транспортном режиме работы воспользуемся методами теории автоматического управления, в терминах которой



рассматриваемая система интерпретируется как многомерная, непрерывная, линейная стационарная система управления с разомкнутым контуром управления [3]. Динамическая система такого типа описывается дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Вектор обобщенных координат  $\vec{q}$  является вектором выхода динамической системы, вектор кинематических воздействий  $\vec{Q}$  – вектором входа, а элементы матриц  $M, K, C, B_1, B_2$  – параметрами системы.

Определение реакции динамической системы на показательное воздействие может быть выполнено с помощью матрицы передаточных функций динамической системы, которая находится с помощью интегрального преобразования Лапласа дифференциального уравнения движения (4) при нулевых начальных условиях

$$\vec{q}(t)\Big|_{t=0} = 0 \text{ и } \frac{d}{dt}\vec{q}(t)\Big|_{t=0} = 0. \quad (5)$$

В результате преобразования получим алгебраическое уравнение

$$(P_2 \cdot M + P \cdot K + C) \cdot \vec{q}(P) = (P \cdot B_1 + B_2) \cdot \vec{Q}(P) \quad (6)$$

или

$$A(P) \cdot \vec{q}(P) = B(P) \cdot \vec{Q}(P),$$

где  $P$  – параметр преобразования Лапласа,  
 $A(P) = PM + PK + C, B(P) = PB_1 + B_2$

В рассматриваемом многомерном случае выражение для вычисления матрицы передаточных функций имеет вид  $W(P) = A^{-1}(P)B(P)$ .

Для физически осуществимых устойчивых многомерных систем матрицу передаточных функций можно заменить без потери информации матрицей частотных характеристик, которая является исчерпывающей характеристикой многомерной динамической системы [3].

При исследовании установившегося процесса колебаний при  $t \rightarrow \infty$  получаем чисто мнимое значение для комплексной переменной  $P = j^*\omega$ , где  $j = \sqrt{-1}$ . Матрица частотных характеристик обобщенных координат системы может быть получена с помощью соотношения

$$W(P)\Big|_{p=j\omega} = W(j\omega). \quad (7)$$

Элементы матрицы частотных характеристик характеризуют в мнимой и действительной областях реакцию динамической системы на каждом выходе системы по каждому входу при гармоническом возмущении на входе системы. Для рассмотренной динамической системы агрегата с оператором размерность матрицы частотных характеристик –  $7 \times 4$ .

Матрицу спектральных плотностей  $n$ -й производной компонент вектора выхода линейной динамической системы  $\vec{q}$  легко вычислить, используя предварительно рассчитанные матрицу спектральных плотностей компонент вектора кинематических воздействий  $S_{\vec{Q}(j\omega)}$  и матрицу частотных характеристик системы  $W(j\omega)$ , если воспользоваться известным соотношением

$$S_{\vec{q}^{(n)}}(j\omega) = (-j\omega)^n \cdot \overline{W}(j\omega) \times \\ \times S_{\vec{Q}(j\omega)}(j\omega)^n \cdot W^T(j\omega) \quad (8)$$

где  $\overline{W}(j\omega)$  и  $W^T(j\omega)$  – сопряженная и транспонированная матрицы частотных характеристик;

$S_{\vec{Q}(j\omega)}$  – матрица спектральных плотностей компонент вектора кинематических воздействий.

Матрицу спектральных плотностей  $n$ -х производных деформаций упругих элементов вычислим, используя соотношение

$$S_{\Delta^{(n)}}(j\omega) = \overline{\Delta} \cdot S_{\vec{q}} \cdot \Delta^T \cdot (j\omega)^n, \quad (9)$$

где  $\vec{q} = \|q_1, q_2, \dots, q_7, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4\|^T$  – расширенный вектор кинематических перемещений;

$$S_{\vec{q}}(j\omega) = \left\| \begin{array}{cc} S_{\vec{q}}(j\omega) & S_{\vec{q}\vec{Q}}(j\omega) \\ S_{\vec{Q}\vec{q}}(j\omega) & S_{\vec{Q}}(j\omega) \end{array} \right\|$$

– расширенная матрица спектральных плотностей расширенного вектора кинематических перемещений.

Элементы матрицы  $S_{\vec{q}}$  вычисляются по формулам

$$S_{\vec{Q}\vec{q}}(j\omega) = \overline{W}(j\omega) \cdot S_{\vec{Q}}(j\omega), \quad (10)$$

$$S_{\vec{q}\vec{Q}}(j\omega) = S_{\vec{Q}}(j\omega) \cdot W^T(j\omega). \quad (11)$$

Зная матрицу (8), можно вычислить матрицу спектральных плотностей сил в упругодиссипативных связях динамической системы и матрицу спектральных плотностей диссипативных сил в упругодемпфирующих связях.

Соответственно

$$S_{\vec{F}}(\omega) = \tilde{c} \cdot S_{\Delta^{(n)}}(j\omega) \cdot \tilde{c}^T, \quad (12)$$

$$S_{\vec{J}}(\omega) = \tilde{k} \cdot S_{\Delta^{(n)}}(j\omega) \cdot \tilde{k}^T. \quad (13)$$

Таким образом, разработанная математическая модель стационарных пространственных колебаний масс многомерной динамической системы транспортного агрегата мотоблока М-3 и оператора, представленной в виде системы четырех твердых тел, соединенных восемью упругодиссипативными связями, имеющей четыре

входа и семь степеней свободы, позволяет определить частотные и выходные спектральные характеристики по любой обобщенной координате и проводить оценку уровня вибрации.

**Библиографический список**

1. Динамика системы дорога–шина–автомобиль–водитель / А.А. Хачатуров, В.Л. Афанасьев, В.С. Васильев и др.

Под редакцией А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – С. 110–114.

2. Никитенко, А.Н. Теоретические и экспериментальные исследования эксплуатационной нагруженности несущих металлоконструкций, полуприцепных сеноуборочных агрегатов в транспортном режиме: дисс. ... канд. техн. наук / А.Н. Никитенко. – Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1981. – 175 с.  
3. Пугачев, В.С. Основы автоматического управления / В.С. Пугачев. – М.: Наука, 1971. – 395 с.

**ЗАПРЕТЫ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ СВОЙСТВА  $\nu$ -ГРАММ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ОТ ТРЕХ ПЕРЕМЕННЫХ**

Н.В. НИКОНОВ, *научный сотрудник лаборатории ТВП, Москва*,  
Д.В. УСАНОВ, *сотрудник лаборатории ТВП, Москва*

Данная работа посвящена исследованию систем нелинейных булевых уравнений сдвигового типа [1, 2], порожденных узлом, построенным на базе регистра сдвига с булевой функцией  $f(x_1, \dots, x_n)$  на выходе схемы,  $x_i$  называется  $i$ -й входной переменной,  $y_j$  –  $j$ -м выходным знаком (рис. 1).

$$\begin{cases} f(x_1, \dots, x_n) = \gamma_1 \\ f(x_2, \dots, x_{n+1}) = \gamma_2 \\ \vdots \\ f(x_N, \dots, x_{n+N-1}) = \gamma_N \end{cases} \quad (1)$$

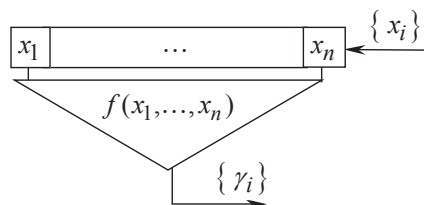


Рис. 1

Опубликовано значительное число статей, относящихся к этой проблематике. Одной из важных задач, возникающих при анализе систем (1), является задача определения совместности системы, которая тесно связана с теорией запретов булевых функций, основы которой были заложены С.Н. Сумароковым [3].

Известно, что если булева функция  $f(x_1, \dots, x_n)$  порождает некоторую несовместную систему (1), то есть имеет запрет, то для некоторого  $\nu$  распределение ее  $\nu$ -грамм  $\gamma_1, \dots, \gamma_\nu$  в последовательности  $\{\gamma_i\}$  на выходе схемы на рис. 1 неравновероятно, что говорит о нарушении критерия Сумарокова отсутствия запрета.

В связи с этим представляет интерес проведение экспериментального исследования распределений  $\nu$ -грамм при различных  $\nu$  для всех

равновероятных функций от 3-х переменных с запретом и получение ответов на следующие вопросы.

1. Нахождение наименьшего  $\nu$  (обозначим его  $\nu_0$ ), при котором впервые нарушается условие равновероятности в распределении  $\nu_0$  – грамм.

Например, если функция  $f(x_1, \dots, x_n)$  равновероятна и с запретом, то  $\nu \geq 2$ , так как распределение выходных знаков (взятых по одному) – равновероятно. Если же функция  $f(x_1, \dots, x_n)$  неравновероятна, то  $\nu = 1$ .

2. Существуют ли примеры функций, для которых  $\nu_0$  совпадает с длиной построенного запрета  $N$  минимальной длины?

3. Может ли значение  $\nu_0$  для равновероятной функции с запретом быть равным 2? Если это возможно, то как характеризуется класс таких функций?

4. Как описываются  $\nu$ -граммы для булевых функций, дающие максимальное отклонение от равновероятного распределения, являющиеся полузапретами функции с максимальным значением эффективности (будем использовать обозначение  $\nu_1$  для таких  $\nu$ -грамм)?

5. Значение  $\nu$  позволяет оценить длину запрета  $N$ , что следует из доказательства критерия Сумарокова. Какова эта связь?

6. Можно ли описать классы функций с запретом при конкретных  $\nu$  и представить некоторую классификацию функций в зависимости от распределения  $\nu$ -грамм на примере равновероятных функций от 3-х переменных?

**1. Основные положения теории запретов булевых функций. Критерий С.Н. Сумарокова**

Рассмотрим булеву функцию  $f(x) = f(x_1, \dots, x_n)$  от  $n$  переменных ( $n \geq 2$ ), при-

чем  $x_1, x_n$  – ее существенные аргументы, а среди  $x_2, \dots, x_{n-1}$  могут быть и фиктивные. Аргументы  $x_1, x_n$  функции  $f(x)$  назовем крайними,  $x_2, \dots, x_{n-1}$  – внутренними.

**Определение 1**

Под весом булевой функции  $f(x)$  понимается число наборов  $(x_1, \dots, x_n)$ , на которых функция принимает значение 1

$$w_f = | \{ (x_1, \dots, x_n) \mid f(x_1, \dots, x_n) = 1 \} |.$$

Функция  $f(x)$  называется равновероятной, если  $w_f = 2^{n-1}$ .

**Определение 2**

Будем говорить, что булева функция  $f(x)$  линейна по аргументу  $x_j$ , если ее можно представить в виде

$$f(x) = x_j + f_1(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n) \pmod{2},$$

где  $f_1(x)$  – некоторая булева функция, не зависящая от аргумента  $x_j$ ; в противном случае будем говорить, что функция  $f(x)$  нелинейна по аргументу  $x_j$ .

**Определение 3 [3]**

Функция  $f(x)$  называется сильно равновероятной, если для любого натурального  $N$  и любого набора значений  $(\gamma_1, \dots, \gamma_N)$  система булевых уравнений (1) имеет ровно  $2^{n-1}$  решений.

Очевидно, любая сильно равновероятная функция является равновероятной (достаточно в системе (1) положить  $N = 1$ ).

**Определение 4**

Комбинация знаков выходной последовательности  $(\gamma_1, \dots, \gamma_N)$  называется запретом функции  $f(x)$ , если система вида (1) несовместна.

Если система (1) для любого  $N$  и любой комбинации знаков  $(\gamma_1, \dots, \gamma_N)$  совместна, то принято говорить, что  $f(x)$  не имеет запрета. При этом число  $N$  называется длиной запрета булевой функции  $f(x)$ .

Сформулируем критерий С.Н. Сумарокова и приведем его доказательство, использующее конструктивное построение комбинации, являющейся запретом функции исходя из нарушения критерия.

**Теорема 1**

Функция  $f(x)$  не имеет запрета тогда и только тогда, когда она сильно равновероятна.

**Доказательство**

Если функция  $f(x)$  сильно равновероятна, она не имеет запрета – достаточность очевидна.

Если функция  $f(x)$  не имеет запрета, она сильно равновероятна – необходимость докажем от противного.

Пусть функция  $f(x)$  не имеет запрета. Предположим, что она не сильно равновероятна. Тогда найдется натуральное  $m$  и такой набор двоичных переменных  $(y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$ , что система булевых уравнений

$$\{ f(x_s, x_{s+1}, \dots, x_{s+n-1}) = y_s^*, s = 1, \dots, m \}$$

имеет:

а)  $2^{n-1} - \alpha$  решений, где  $0 < \alpha < 2^{n-1}$ ;

б)  $2^{n-1} + \alpha$  решений, где  $\alpha > 0$  (заметим, что данный случай не разбирался в работе [3], хотя, вообще говоря, требует пояснений)

**Рассмотрим случай а).**

В этом случае число наборов булевых входных переменных  $(x_1, x_2, \dots, x_{m+n-1})$ , преобразуемых кодирующим устройством с функцией  $f(x)$  в набор булевых  $(y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$  выходных переменных (рис. 1), равно  $2^{n-1} - \alpha$ .

Рассмотрим теперь наборы выходных переменных длины  $(t + 1)m + t(n - 1)$  вида

$$(y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*; y_{m+1}^*, \dots, y_{m+n-1}^*; y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*;$$

$$y_{(2m+n-1)+1}^*, \dots, y_{2m+2(n-1)}^*; y_{m+t(n-1)+1}^*, \dots, y_{m+t(n-1)}^*; y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*) \quad t = 1, 2, \dots, (2)$$

здесь значения двоичных переменных, не помеченных звездочкой \*, произвольны.

Общее число таких наборов для данного  $t$  равно  $(2^{n-1})^t$ . Входные наборы, преобразуемые кодирующим устройством с функцией  $f(x)$  в выходные наборы вида (2), имеют длину  $(t + 1)(m + n - 1)$ , а их общее число равно  $(2^{n-1} - \alpha)^{t+1}$ .

Обозначим через  $\mu_t$  отношение числа входных наборов схемы к числу его выходных наборов, характеризующее среднее число входных наборов, преобразуемых в один и тот же выходной набор вида (2)

$$\mu_t = \frac{(2^{n-1} - \alpha)^{t+1}}{(2^{n-1})^t} = 2^{n-1} \left( 1 - \frac{\alpha}{2^{n-1}} \right)^{t+1}. \quad (3)$$

Ввиду неравенства  $0 < \alpha < 2^{n-1}$  имеем

$$0 < 1 - \frac{\alpha}{2^{n-1}} < 1,$$

поэтому

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mu_t = 0.$$

Отсюда следует, что при достаточно большом  $t$  имеет место неравенство  $\mu_t < 1$ . Значит, некоторый выходной набор вида (2) не будет иметь прообраза, т.е. этот набор будет запретом функции  $f(x)$ . Получено противоречие с отсутствием у функции  $f(x)$  запрета.

**Рассмотрим случай *b*).**

В этом случае число наборов входных переменных  $(x_1, x_2, \dots, x_{n+m-1})$ , преобразуемых кодирующим устройством с функцией  $f(x)$  в набор  $(y_1^{**}, y_2^{**}, \dots, y_m^{**})$  выходных переменных (рис. 1), равно  $2^{n-1} + \alpha$ . Тогда утверждается, что существует некоторый набор  $(y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$  со свойством а) при каком-то  $\alpha'$ ,  $0 < \alpha' < 2^{n-1}$ , то есть число входных наборов, его порождающих, меньше, чем  $2^{n-1}$ . От противного: пусть для любой комбинации  $(y_1^{**}, y_2^{**}, \dots, y_m^{**})$  число порождающих его входных наборов равно  $2^{n-1}$  и хотя бы для одного  $- 2^{n-1} + \alpha$ ,  $\alpha > 0$ . Тогда число всех таких различных наборов будет равно

$$\underbrace{2^{n-1} + \dots + 2^{n-1}}_{2^{m-1}} + (2^{n-1} + \alpha) = 2^{n-1} \cdot 2^m + \alpha = 2^{n+m-1} + \alpha .$$

Получаем противоречие с тем, что данное число больше  $2^{n+m-1}$  – числа всевозможных двоичных входных наборов, порождающих  $m$ -граммы  $(y_1, y_2, \dots, y_m)$ . Таким образом, в этом случае найдется комбинация булевых знаков  $(y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$  со свойством а) и случай *b*) сводится к рассмотрению случая а).

В обоих случаях теорема доказана. Следовательно, если функция  $f(x)$  не имеет запрета, то она сильно равновероятна.

**Следствие**

Если функция  $f(\vec{x})$  неравновероятна, то она имеет запрет.

Данный критерий позволяет получить оценку длины запрета.

**Теорема 2 [3]**

Если  $n \geq 3$  и для функции  $f(x)$  найдется такой набор длины  $m$  двоичных переменных  $(y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$ , что система булевых уравнений  $f(x_s, x_{s+1}, \dots, x_{s+n-1}) = y_s^*$ ,  $(s = 1, \dots, m)$  имеет  $2^{n-1} - \alpha$  решений, где  $0 < \alpha < 2^{n-1}$ , то эта функция имеет запрет длины

$$q \leq m + 2^n(2^{n-2} - 1)(m + n - 1) \quad (4)$$

**Доказательство**

Повторив рассуждения доказательства критерия Сумарокова о выходных наборах вида (2) и  $\lim \mu_t = 0$ , рассмотрим поведение величины  $\mu_t$  подробнее. А именно покажем, что если  $t \geq (2^{n-1} - 1)^2 - 1$ , то для любого натурального  $\alpha \leq 2^{n-1}$  выполняется неравенство  $\mu_t < 1$  и, значит, (теорема 1), функция  $f(x)$  имеет запрет вида (3) длины

$$q = (2^{n-1} - 1)^2 m + ((2^{n-1} - 1)^2 - 1)(n - 1) = m + 2^n(2^{n-2} - 1)(m + n - 1).$$

Найдем те значения  $t$ , при которых неравенство  $\mu_t < 1$  выполняется. Рассмотрим неравенство

$$\left(1 - \frac{\alpha}{2^{n-1}}\right)^{t+1} < \frac{1}{2^{n-1}}.$$

Положим

$$1 - \frac{\alpha}{2^{n-1}} = \frac{1}{1 + \beta},$$

где

$$\beta = \frac{\alpha}{(2^{n-1} - \alpha)} = \frac{1}{\left(\frac{2^{n-1}}{\alpha} - 1\right)} \geq \frac{1}{(2^{n-1} - 1)} > 0.$$

Тогда

$$\left(1 - \frac{\alpha}{2^{n-1}}\right)^{t+1} = \frac{1}{(1 + \beta)^{t+1}} < \frac{1}{1 + (t + 1)\beta}.$$

Рассмотрим неравенство

$$\frac{1}{1 + (t + 1)\beta} \leq \frac{1}{2^{n-1}}, \quad 2^{n-1} \leq 1 + (t + 1)\beta,$$

$$(2^{n-1} - 1) / \beta \leq (t + 1), \quad (t + 1) \geq \frac{2^{n-1} - 1}{1} = (2^{n-1} - 1)^2,$$

поэтому  $t \geq (2^{n-1} - 1)^2 - 1$ . Минимальное  $t$ , при котором последнее неравенство выполняется, есть  $t = (2^{n-1} - 1)^2 - 1$ .

**Теорема 3 [3]**

Если функция  $f(\vec{x})$  линейна хотя бы по одному из крайних аргументов, то она не имеет запрета.

**Определение 5 [4–6]**

Полузапретом назовем выходную комбинацию знаков  $(\gamma_1, \dots, \gamma_N)$ , для которой в системе (1) однозначно определяется одно или несколько входных переменных

$$x_i, i = 1, n + N - 1.$$

Для полузапрета представляется полезным ввести специальный параметр, характеризующий эффективность полузапретной комбинации.

**Определение 6 [4]**

Эффективностью полузапрета, содержащего  $N$  знаков  $\gamma_1, \dots, \gamma_N$  и позволяющего однозначно определить  $v$  неизвестных, назовем отношение

$$e = v / N. \quad (5)$$

В соответствии с этим определением эффективность полузапрета характеризует среднее



число знаков входной последовательности, определяемых благодаря знанию одного знака выходной последовательности. Характеристика (5) позволяет установить важную связь между понятиями запрета и полузапрета.

**Теорема 4 [4]**

Если у булевой функции  $f(\vec{x})$  имеется полузапрет с эффективностью  $e > 1$ , то у функции  $f(\vec{x})$  существует запрет.

**Доказательство**

Последовательность выходных знаков, образующих полузапрет, порождает систему уравнений (1) с  $N + n - 1$  неизвестными. По условию теоремы  $e = (v / N) > 1$ , поэтому среди  $N + n - 1$  выходных знаков  $v$  определены однозначно и  $v > N$ . Следовательно, для общего числа  $\xi$  решений системы (1) справедлива оценка  $\xi = 2^{(N+n-1)-v} < 2^{n-1}$ , свидетельствующая о нарушении условий критерия Сумарокова и наличии у функции  $f(\vec{x})$  запрета.

**2. Вероятностные свойства  $v$ -грамм**

Нахождение запрета функции является весьма сложной задачей, эффективных алгоритмов решения которой пока не найдено. О сложности этой задачи косвенно свидетельствует тот факт, что для некоторых классов функций запрет имеет очень большую длину и проверка несовместности соответствующей системы уравнений сама по себе оказывается исключительно трудной.

Один из подходов к решению задачи проверки несовместности системы вида (1) и получению оценки длины запретной комбинации сводится к нахождению не самой запретной комбинации, а некоторых  $v$ -грамм  $\gamma_1, \dots, \gamma_v$  с распределениями, отличными от равномерного, что указывает на существование запрета у функции (по критерию Сумарокова). При этом, с использованием теоремы 2, оценивается длина запретной комбинации, которая в ряде случаев может быть большой. Отметим, что для конкретных классов булевых функций данную оценку удастся снизить. Исследуя вероятностные распределения  $v$ -грамм  $\gamma_1, \dots, \gamma_v$  выходной последовательности, уже при сравнительно небольшой их длине можно получать оценки длины запрета, не строя при этом саму запретную комбинацию, и устанавливая факт несовместности исследуемой системы. Также, зная распределения  $v$ -грамм небольшой длины, можно получить разбиение всех равновероятных булевых функций от 3-х переменных на классы и использовать полученную классифика-

цию для решения описанных выше задач для целых булевых классов.

Интерес представляет решение для функции  $f(x_1, \dots, x_n)$  вопроса о нахождении минимального  $v_0$ , при котором удастся обнаружить отклонение от равномерности частот появления  $v_0$ -грамм  $\gamma_1, \dots, \gamma_{v_0}$  и нахождения  $v_1$ , при котором существует такая  $v_1$ -грамма  $\gamma_1, \dots, \gamma_{v_1}$ , которая появляется только при одном входе  $x_1, \dots, x_{n+v_1-1}$  (задачи 1, 2, 3, 4). В этом случае данная комбинация является полузапретом функции  $f(x_1, \dots, x_n)$ , при котором определяются все входные переменные  $x_1, \dots, x_{n+v_1-1}$ . В терминах эффективностей полузапрета комбинация  $\gamma_1, \dots, \gamma_{v_1}$  будет являться полузапретом с эффективностью  $e = (n + v_1 - 1) / v_1$  (5). Так как  $e > 1$ , то теорема 4 при этом также гарантирует наличие запрета у функции.

Рассмотрим задачу 5 оценки длины запрета по знанию распределения  $v$ -граммы подробнее.

Пусть для булевой функции  $f(x_1, \dots, x_n)$  найдена некоторая  $v$ -грамма  $\gamma_1, \dots, \gamma_v$ , которая порождается  $2^{n-1} - \alpha$ , входными наборами  $x_1, \dots, x_{n+v-1}$ . Появление такой комбинации гарантируется теоремой 1 (см. доказательство критерия Сумарокова), т.е., соответствующая система (1) имеет ровно  $2^{n-1} - \alpha$ ,  $0 < \alpha < 2^{n-1}$  решений, а вероятность появления комбинации  $\gamma_1, \dots, \gamma_v$  при равномерном распределении входной последовательности  $\{x_i\}$  равна

$$\frac{2^{n-1} - \alpha}{2^{n+v-1}} = \frac{2^{n-1}}{2^{n+v-1}} - \frac{\alpha}{2^{n+v-1}} = \frac{1}{2^v} - \frac{\alpha}{2^{n+v-1}} = \frac{1}{2^v} \left( 1 - \frac{\alpha}{2^{n-1}} \right), \quad 0 < \alpha < 2^{n-1}.$$

В доказательстве теоремы 1 строится некоторая комбинация выходных знаков (2) и доказывается, что если параметр

$$\mu_t = 2^{n-1} \left( 1 - \frac{\alpha}{2^{n-1}} \right)^{t+1}$$

меньше 1, то данная комбинация является запретом длины

$$q = (t + 1)v + t(n - 1) \tag{6}$$

при том  $t$ , для которого выполняется неравенство  $\mu_t < 1$ .

В теореме 2 через оценку параметра  $t$  выводится оценка длины запрета (4), которая в ряде случаев может быть снижена при рассмотрении конкретных значений отклонений  $\alpha$ .

Итак, для понижения оценки длины запрета необходимо найти точное наименьшее значение  $t$ , при котором будет выполняться неравенство

$$\left(1 - \frac{\alpha}{2^{n-1}}\right)^{t+1} < \frac{1}{2^{n-1}}. \quad (7)$$

Рассмотрим все возможные значения отклонения  $\alpha$  для булевых функций от 3-х переменных ( $n = 3$ ) и те  $t$ , при которых условие (7) выполняется.

Если  $\alpha = 1$ , то неравенство

$$\left(1 - \frac{1}{4}\right)^{t+1} < \frac{1}{4} \text{ или } \left(\frac{3}{4}\right)^{t+1} < \frac{1}{4}$$

будет справедливо при  $t \geq 4$ . При этом, полагая в (6)  $t = 4$  (минимальное из допустимых), получаем оценку

$$p_1 = 5v + 8, \quad (8)$$

где  $v$  – минимальная длина  $v$ -граммы, при которой выявлено отклонение  $\alpha = 1$ .

Если  $\alpha = 2$ , то неравенство

$$\left(1 - \frac{2}{4}\right)^{t+1} < \frac{1}{4} \text{ или } \left(\frac{1}{2}\right)^{t+1} < \frac{1}{4}$$

будет справедливо при  $t \geq 2$ . Полагая в (6)  $t = 2$ , получаем оценку

$$p_2 = 3v + 4, \quad (9)$$

где  $v$  – минимальная длина  $v$ -граммы, при которой выявлено отклонение  $\alpha = 2$ .

Если  $\alpha = 3$ , то неравенство

$$\left(1 - \frac{3}{4}\right)^{t+1} < \frac{1}{4} \text{ или } \left(\frac{1}{4}\right)^{t+1} < \frac{1}{4}$$

будет справедливо при  $t \geq 1$ . Из (6) при  $t = 1$  получаем оценку

$$p_3 = 2v + 2, \quad (10)$$

где  $v$  – минимальная длина  $v$ -граммы, при которой выявлено отклонение  $\alpha = 3$ .

Для представления относительного поведения полученных оценок (8), (9), (10) при различных небольших  $v$  и  $\alpha \in \{1, 2, 3\}$  приводится таблица со значениями  $p_1, p_2, p_3$  (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

$\alpha, p$	$v$					
	1	2	3	4	5	6
$\alpha = 1, p_1 = 5v + 8$	13	<u>18</u>	23	28	33	38
$\alpha = 2, p_2 = 3v + 4$	7	<b>10</b>	13	16	19	22
$\alpha = 3, p_3 = 2v + 2$	4	6	<b>8</b>	<b>10</b>	12	14

Таким образом, для каждой отдельной равновероятной функции исходя из полученных оценок (8), (9), (10), зная при этом значения  $v$ , при которых выявлены отклонения в  $v$ -грамме от

равновероятного распределения, можно выбрать оценку, дающую наименьшее значение согласно табл. 1.

### 3. Классификационные исследования распределения $v$ -грамм всех равновероятных булевых функций от 3-х переменных с запретом

Отвечая на вопрос задачи 6, сформулированной вначале, для изучения распределений  $v$ -грамм всех равновероятных булевых функций с запретом от 3-х переменных, построения запретов и получения оценок длин запрета была написана программа подсчета числа входных наборов  $x_1, \dots, x_{n+v-1}$ , порождающих выходную последовательность  $\gamma_1, \dots, \gamma_v$  для каждой возможной  $v$ -граммы при изменении  $v$ . Число таких наборов равно  $2^{n-1} - \alpha$ ,  $0 < \alpha < 2^{n-1}$ , как отмечалось выше, откуда легко получить значение отклонения.

Графы связности вершин всех рассматриваемых равновероятных булевых функций от 3-х переменных с запретом представлены на рис. 2.

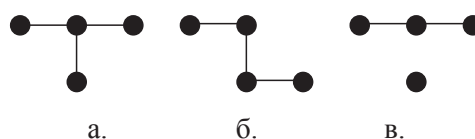


Рис. 2

Классификация всех булевых функций от 3-х переменных, описанная в работе [7], базировалась на классификации графов связности функций. В результате данных классификационных исследований была отмечена косвенная связь, отражающая зависимость строения графа связности функций и структуры запрета. Но данное положение не очевидно и требует дальнейшего рассмотрения.

Данная классификация функций производится с других позиций, то есть не по виду графа связности вершин, а по распределению неравновероятных  $v$ -грамм с максимальными отклонениями  $\alpha$ , что позволяет также установить преемственные связи в распределении  $v$ -грамм функций, вида запретной комбинации и оценок длин запретов.

В представленной ниже таблице (табл. 3) приводятся сводные сведения, систематизирующие результаты экспериментальных исследований, полученные Д.В. Усановым. Рассмотрим подробнее структуру таблицы на примере одной функции (табл. 2)

Т а б л и ц а 2

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NN 1 NL 23 0 0 0 0 1 1 1 0		01 2 10 2	010 3 101 3	0010 3 0100 3 0101 3 0110 3 1001 3 1010 3 1011 3 1101 3	01001 01101 10010 10110 запреты		5	8	34

Каждой равновероятной функции от 3-х переменных выделено 10 полей. В поле № 0 согласно табл. 2 приводится:

- порядковый номер NN (всего рассматриваемых функций 40);
- лексикографический номер NL;
- коэффициенты многочлена Жегалкина.

Для рассматриваемой функции

$$(a_0 a_1 a_2 a_3 a_{12} a_{13} a_{23} a_{123}) = (0 0 0 0 1 1 1 0),$$

поэтому  $f(x_1, x_2, x_3) = x_1 x_2 \oplus x_1 x_3 \oplus x_2 x_3$ .

В поле № 1 приводится графическое задание функции на 3-мерном единичном кубе.

Поля № 2–6 выделены для перечисления выходных  $v$ -грамм рассматриваемой функции при различных  $v$ ,  $2 \leq v \leq 6$  (поле № 2 – для  $v = 2$ , поле № 3 – для  $v = 3$  и т.д.), дающих максимальное из возможных при данном  $v$  отклонение  $\alpha$  ( $1 \leq \alpha \leq 3$ ) от равновероятного распределения, которое также приводится. Например, при  $v = 2$  две  $v$ -граммы 01, 10 дают отклонение  $\alpha = 2$ . В поле № 5 отмечено, что при  $v = 5$  четыре комбинации являются запретами функций: 01001, 01101, 10010, 10110. Поле № 6 осталось незаполненным в связи с тем, что запрет минимальной длины был указан в предыдущем поле.

Три поля с номерами № 7, 8, 9 содержат информацию о следующих параметрах:

- $N$ , длине запрета с минимальной длиной (в нашем случае  $N = 5$ );
- $p$ , минимальной оценке длины запрета исходя из табл. 1. В разбираемом примере биграммы дают отклонение  $\alpha = 2$ , триграммы и 4-граммы дают отклонение  $\alpha = 3$ . Возможные оценки отмечены жирным шрифтом в табл. 1. Минимальная оценка  $p$  достигается при  $v = 3$  и  $\alpha = 3$  и равна  $p = 8$ ;
- $q$ , оценке Сумарокова, согласно формуле (6) ( $q = 34$ ).

#### 4. Анализ результатов экспериментальных исследований

Для равновероятных булевых функций от 3-х переменных с запретом исследования обнару-

жили статистические отличия в вероятностных свойствах последовательностей  $v$ -грамм  $\gamma_1, \dots, \gamma_v$  при значениях  $v$  в пределах  $2 \leq v \leq 6$ .

Все равновероятные функции от 3-х переменных с запретом распадаются на два больших класса. К первому классу относятся функции с  $v_0 = 3$ , то есть распределение биграмм которых равновероятно (это функции с номерами NN 5,6,7,8). Все эти функции обладают графом, представленном на рис. 2. а. Отклонение от равновероятного распределения наблюдается только в триграммах и равно  $\alpha = 1$ . Построенные запреты для рассматриваемых функций имеют длину 5. Полученная для них оценка длины запрета самая большая из достигнутых, за счет равновероятности в появлении биграмм и небольших отклонений в триграммах.

Ко второму классу относятся функции, у которых наблюдается отклонение в распределении  $v$ -грамм от равновероятного распределения уже при  $v_0 = 2$ . Причем разбиение функций по графам связности и в данном случае оказалось не случайным. У всех функций с графом связности, представленном на рис. 2. а., исследуемые биграммы дают отклонение  $\alpha = 2$  с соответствующей оценкой длины запрета  $p = 8$ , сопоставимой с длиной построенных запретов  $N = 5$ . У всех остальных функций с графами, изображенными на рис. 2. б. и 2. в, отклонение  $\alpha$  в биграммах равно 1.

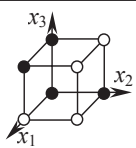
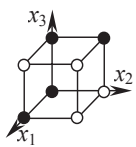
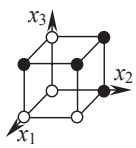
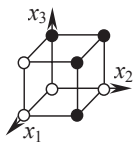
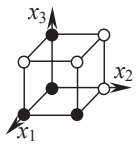
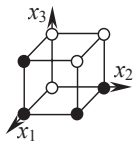
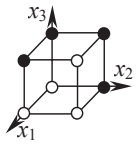
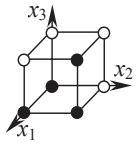
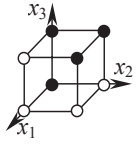
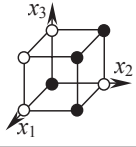
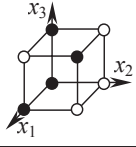
При  $v = 3$  класс функций с графом на рис. 2.б. распадается на подклассы со всевозможными отклонениями  $\alpha \in \{1, 2, 3\}$ . Причем функции с порядковыми номерами 17, 18 и 19, 20 (табл. 3) обладают запретными комбинациями длины 3: 0 1 0 и 1 0 1, соответственно.

Функции с графом связности на рис. 2. в. при  $v = 3$  распадаются на два класса: с  $\alpha = 3$  (функции с номерами NN 21,22,23,24) и длиной запрета, равной 5 ( $p = 8$ ), и с  $\alpha = 2$  (функции с номерами NN 37,38,39,40) и длиной запретной комбинации 6 ( $p = 13$ ).

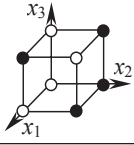
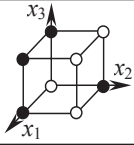
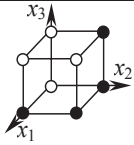
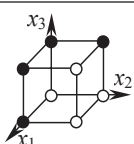
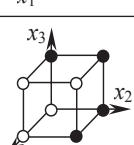
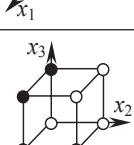
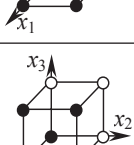
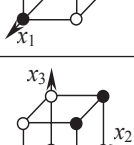
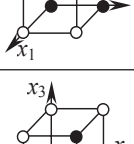
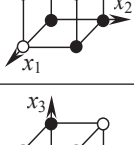
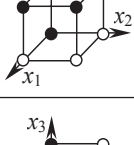
Таблица 3

Поряд. номер NN Лекс. номер NL Многочлен $a_0 a_1 a_2 a_3 a_{12} a_{13} a_{23} a_{123}$	Графическое задание функции	$\nu$ -грамма параметр $\alpha$					$N$	$p$	$q$	
		$\nu = 2$	$\nu = 3$	$\nu = 4$	$\nu = 5$	$\nu = 6$				
NN 1 NL 23 0 0 0 0 1 1 1 0		01 2 10 2	010 3 101 3	0010 3 0100 3 0101 3 0110 3 1001 3 1010 3 1011 3 1101 3	01001 01101 10010 10110 запреты	5	8	34		
NN 2 NL 232 1 0 0 0 1 1 1 0										
NN 3 NL 77 0 1 0 1 1 1 1 0		00 2 11 2	000 3 111 3	0000 3 0001 3 0011 3 0111 3 1000 3 1100 3 1110 3 1111 3	00011 00111 11000 11100 запреты	5	8	34		
NN 4 NL 178 1 1 0 1 1 1 1 0										
NN 5 NL 43 0 1 1 0 1 1 1 0		Равно- вер.	000 1 010 1 101 1 111 1	0000 1 1000 1 0001 1 1010 1 0010 1 1011 1 0100 1 1101 1 0101 1 1110 1 0111 1 1111 1	01000 10111 запреты	5	23	43		
NN 6 NL 212 1 1 1 0 1 1 1 0										
NN 7 NL 113 0 0 1 1 1 1 1 0					00010 11101 запреты	5	23	43		
NN 8 NL 142 1 0 1 1 1 1 1 0										
NN 9 NL 27 0 1 0 0 0 1 1 0					01 1 10 1	010 2 101 2	1010 запрет	4	13	34
NN 10 NL 172 1 0 0 1 1 1 1 0										
NN 11 NL 39 0 0 1 0 0 1 1 0										



Поряд. номер NN Лекс. номер NL Многочлен $a_0 a_1 a_2 a_3 a_{12} a_{13} a_{23} a_{123}$	Графическое задание функции	$\nu$ -грамма параметр $\alpha$					$N$	$p$	$q$
		$\nu = 2$	$\nu = 3$	$\nu = 4$	$\nu = 5$	$\nu = 6$			
NN 12 NL 228 1 1 0 0 0 1 1 0		0 1 1 1 0 1	0 1 0 2 1 0 1 2	0 1 0 1 запрет			4	13	34
NN 13 NL 216 1 0 1 0 0 1 1 0									
NN 14 NL 53 0 0 1 0 1 1 1 0									
NN 15 NL 83 0 0 0 1 1 1 1 0									
NN 16 NL 202 1 0 1 0 1 1 1 0									
NN 17 NL 46 0 1 1 0 1 0 1 0									
NN 18 NL 116 0 0 1 1 1 0 1 0									
NN 19 NL 139 1 0 1 1 1 0 1 0									
NN 20 NL 209 1 1 1 0 1 0 1 0									
NN 21 NL 147 1 1 1 1 0 1 0 0									
NN 22 NL 201 1 0 1 0 0 1 0 0		0 1 0 3	0 0 1 0 3 0 1 0 0 3 0 1 0 1 3 1 0 0 1 3 1 0 1 0 3	0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 запреты			5	8	34

Продолжение таблицы 3

Поряд. номер NN Лекс. номер NL Многочлен $a_0 a_1 a_2 a_3 a_{12} a_{13} a_{23} a_{123}$	Графическое задание функции	$\nu$ -грамма параметр $\alpha$					$N$	$p$	$q$
		$\nu = 2$	$\nu = 3$	$\nu = 4$	$\nu = 5$	$\nu = 6$			
NN 23 NL 54 00100100		01 1 10 1	101 3	0101 3 0110 3 1010 3 1011 3 1101 3	01101 10101 10110 запреты	5	8	34	
NN 24 NL 108 01110100									
NN 25 NL 58 01101100		00 1 11 1	111 3	1111 запрет		4	8	34	
NN 26 NL 92 01011100									
NN 27 NL 114 00110110									
NN 28 NL 78 01010110									
NN 29 NL 141 10110110									
NN 30 NL 177 11010110									
NN 31 NL 163 11011100									
NN 32 NL 197 11101100									
NN 33 NL 71 00011010									
			000 1 001 1 011 1 100 1 110 1 111 1	0011 запрет		4	18	34	

Поряд. номер NN Лекс. номер NL Многочлен $a_0 a_1 a_2 a_3 a_{12} a_{13} a_{23} a_{123}$	Графическое задание функции	$\nu$ -грамма параметр $\alpha$					$N$	$p$	$q$
		$\nu = 2$	$\nu = 3$	$\nu = 4$	$\nu = 5$	$\nu = 6$			
NN 34 NL 226 1 1 0 0 1 0 1 0		00 1	000 1 001 1 011 1 100 1 110 1 111 1	0011 запрет		4	18	34	
NN 35 NL 184 1 0 0 1 1 0 1 0				1100 запрет					
NN 36 NL 29 0 1 0 0 1 0 1 0									
NN 37 NL 57 0 1 1 0 0 1 0 0		00 1 11 1	000 2 111 2			6	13	34	
NN 38 NL 156 1 0 1 1 0 1 0 0					00000 2 10000 2 00001 2 10001 2 00010 2 10111 2 00011 2 11000 2 00111 2 11100 2 01000 2 11101 2 01110 2 11110 2 01111 2 11111 2				001000 111000 111011 запреты
NN 39 NL 99 0 0 1 1 0 1 0 0									
NN 40 NL 198 1 1 1 0 0 1 0 0									

Отметим, что для ряда функций оценку длины запретной комбинации удалось снизить до 8, тогда как данная оценка у Сумарокова С.Н. достигала 34-х. У функций с порядковыми номерами 5, 6, 7, 8 ( $\nu_0$  у которых равняется 3) оценка длины запрета по С.Н. Сумарокову  $q = 43$ , уточненная оценка  $p = 23$  (максимальная из полученных), которая будет справедливой для всех булевых функции от 3-х переменных и также, как и оценка Сумарокова, является весьма завышенной. Отметим, что у всех функций длина запрета  $N \in \{3, 4, 5, 6\}$ .

Отклонение от равновероятного распределения некоторых  $\nu$ -грамм последовательности гарантирует наличие запрета у функции. Обладающие максимальным отклонением  $\alpha = 3$  (при  $n = 3$ )  $\nu$ -граммы позволяют находить все входные переменные, формирующие данную комбинацию.

При изучении поставленных вопросов у отдельных функций при  $n \geq 3$  экспериментально обнаруживается следующая тенденция: если у функции  $f(x_1, \dots, x_n)$  простейший из найденных запретов имеет большую длину (число знаков в запретной комбинации  $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ ), то и параметр  $\nu_0$  большой. Иными словами, на множестве равновероятных функций с запретом длина наименьшего запрета  $N$  растет вместе с ростом  $\nu$ . Данное наблюдение требует дальнейших исследований и обобщений.

### 5. Отдельный пример функции

В ряде работ [3, 7, 8] рассматривалась булева функция  $f(x_1, x_2, x_3) = x_2 \oplus x_1 x_3$  (NN 23 (табл. 3)), графическое задание которой приводится на рис. 3.

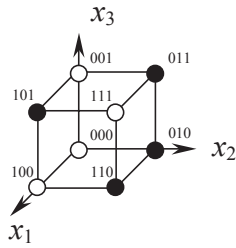


Рис. 3

В работе [3] данная функция была приведена в качестве примера того факта, что нелинейность по каждому внутреннему существенному аргументу не есть необходимое условие отсутствия запрета у функции – и у нее был найден запрет 10101.

В работе [8] для функции  $f(x_1, \dots, x_n) = x_m \oplus x_1 x_n$  были получены точные вероятности распределения некоторых  $v$ -грамм в случае, когда  $(m - 1, n - m) = 1$ . А именно, при случайном равномерном поступлении входных переменных (входные переменные – независимые равномерно распределенные случайные величины) выполняются равенства

$$P\{(\gamma_1, \dots, \gamma_v)\} = \frac{1}{2^v}, 1 \leq v \leq n - 2, \quad (11)$$

$$P\{(\underbrace{1, \dots, 1}_{n-1})\} = \frac{1}{2^{n-1}} + \left(-\frac{1}{4}\right)^{n-1}. \quad (12)$$

То есть распределение любой  $v$ -граммы с длиной, не превосходящей  $n - 2$ , равномерно, однако уже у  $(n - 1)$ -граммы, состоящей из  $(n - 1)$  единиц, наблюдается отклонение от равномерного распределения, определяемое величиной  $(-1/4)^{n-1}$ .

Приведенные значения вероятностей (11), (12) совпали с экспериментальными исследова-

ниями, проводимыми в работе [7], в которой рассматривалась функция

$$f(x_1, \dots, x_6) = x_3 \oplus x_1 x_6 \quad (m = 3; n = 6).$$

В нашем случае (при  $m = 2; n = 3$ ) для функции  $f(x_1, x_2, x_3) = x_2 \oplus x_1 x_3$  величина  $n - 2$  равна 1 и распределение выходных знаков последовательности будет равновероятным, в силу равномерности функции (рис. 4 а), что согласуется с (11) (на рисунке представлены все возможные  $v$ -граммы ( $v \in 1, 5$ ) при различных  $v$  со значениями, определяющими количество входных последовательностей, порождающих соответствующие выходные  $v$ -граммы). В распределении биграмм заметно отклонение от равномерного распределения (рис. 4б).

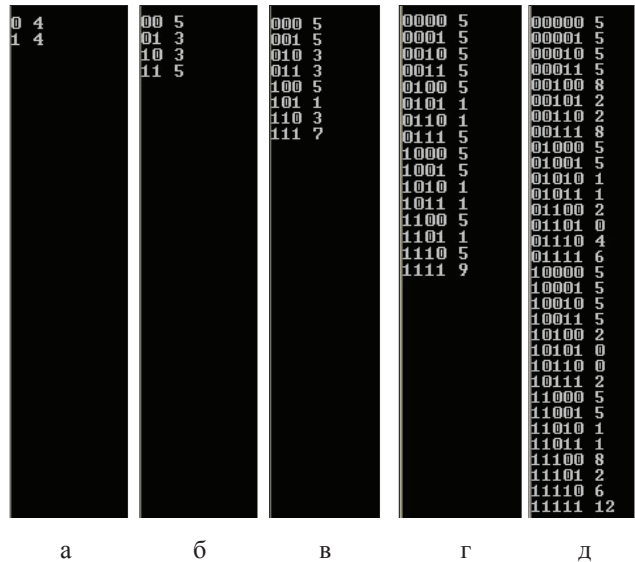


Рис. 4

В частности, комбинация 1 1 появляется при 5-ти возможных вариантах входной последовательности  $x_1, x_2, x_3, x_4$ , а именно

$$\begin{cases} x_2 \oplus x_1 x_3 = 1 \\ x_3 \oplus x_2 x_4 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \begin{cases} x_2 = 1, x_1 x_3 = 0 \\ x_3 = 1, x_2 x_4 = 0 \end{cases} \\ \begin{cases} x_2 = 0, x_1 x_3 = 1 \\ x_3 = 1, x_2 x_4 = 0 \end{cases} \\ \begin{cases} x_2 = 1, x_1 x_3 = 0 \\ x_3 = 0, x_2 x_4 = 1 \end{cases} \\ \begin{cases} x_2 = 0, x_1 x_3 = 1 \\ x_3 = 0, x_2 x_4 = 1 \end{cases} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \begin{cases} x_2 = 1, x_1 = 0 \\ x_3 = 1, x_4 = 0 \end{cases} \\ \begin{cases} x_2 = 0, x_1 = 1 \\ x_3 = 1, x_4 = 0 \text{ либо } 1 \end{cases} \\ \begin{cases} x_2 = 1, x_1 = 0 \text{ либо } 1 \\ x_3 = 0, x_4 = 1 \end{cases} \\ \text{противоречие с} \\ x_1 \cdot 0 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (0, 1, 1, 0) \\ (1, 0, 1, 0) \\ (1, 0, 1, 1) \\ (0, 1, 0, 1) \\ (1, 1, 0, 1) \end{cases} \text{решения.}$$



Получаем пять решений, что отражено на рис. 4б. Всего число возможных входов, порождающих биграммы, равно  $2^4 = 16$ . Тогда

$$P\{1,1\} = \frac{5}{16} = \frac{4}{16} + \frac{1}{16} = \frac{1}{4} + \frac{1}{16} = \frac{1}{2^{3-1}} + \left(-\frac{1}{4}\right)^{3-1},$$

что соответствует значению вероятности (12) при  $n = 3$ .

Аналогичные рассуждения можно провести и для комбинаций 1 1 1 (рис. 4 в), 1 1 1 1 (рис. 3 г) и 1 1 1 1 1 (рис. 4 д).

Выберем  $v_0$ -грамму 0 1 с минимальным  $v$ , равным 2, дающим отклонение  $\alpha = 1$  от равномерного распределения из табл. 3 (лист 3) для функции с номером NN 23. Рассмотрим систему вида (1) для комбинации 01

$$\begin{cases} x_2 \oplus x_1x_3 = 0 \\ x_3 \oplus x_2x_4 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_2 = x_1x_3 \\ x_3(1 \oplus x_1x_4) = 1 \end{cases},$$

значит,

$$x_3 = 1, x_2 = x_1$$

$$x_1x_4 = 0$$

Получаем три решения: (0010); (0011); (1110), что соответствует числу  $2^{n-1} - \alpha = 4 - 1 = 3$ , записанному в таблицу для функции с порядковым номером 23.

Аналогичные рассуждения можно провести и для  $v_1$ -граммы 1 0 1 с максимально возможным отклонением  $\alpha = 3$ , при котором число решений системы вида (1) равно 1.

Сравнивая оценки длин запрета при  $\alpha = 1$   $v$ -граммы 01 и при  $\alpha = 3$   $v$ -граммы 101 согласно табл. 1 (эти значения в таблице подчеркнуты) получаем, что  $p_1 = 18, p_3 = 8$ . Таким образом, наименьшим из двух оценок будет  $p_3 = 8$ , что и отражено в табл. 3 в соответствующей позиции для исследуемой функции с номером NN 23. Заметим, что оценка Сумарокова (4) при этом достигает, соответственно, значений

$$q = 2 + 2^3(2^{3-2} - 1)(2 + 3 - 1) = 2 + 8 \times 4 = 34$$

для  $v$ -граммы 01 и

$$q = 3 + 2^3(2^{3-2} - 1)(3 + 3 - 1) = 3 + 8 \times 5 = 43$$

для  $v$ -граммы 101.

Длина построенного при этом запрета равна 5.

### Выводы

В результате проведенных исследований показано, что при анализе совместности систем

булевых уравнений сдвигового типа и поиске запретной комбинации эффективным промежуточным этапом является изучение вероятностей появления  $v$ -грамм на выходе соответствующего узла с функцией  $f(x_1, \dots, x_n)$ . Вероятностное распределение позволяет не только обнаружить факт наличия запрета у функции, но и оценить длину запретной комбинации, учитывая при этом значения отклонений  $\alpha$  от равномерного распределения в выявленной неравновероятной  $v$ -грамме. Кроме того, вероятностный подход представляет и самостоятельный интерес для решения целого ряда прикладных задач, таких, как нахождение разностей расстояний между существенными переменными функции  $f(x_1, \dots, x_n)$ , выделение функции из некоторого класса допустимых вариантов  $f(x_1, \dots, x_n) \in F$ , а также определение отдельных входных переменных на основании наблюдаемого отрезка знаков выхода.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (НШ-8564.2006.10)

### Библиографический список

1. Алферов, А.П. Основы криптографии: учебное пособие / А.П. Алферов, А.Ю. Зубов, А.С. Кузьмин и др. – М.: Гелиос АРВ, 2001.
2. Смирнов, В.Г. Системы булевых уравнений рекуррентного типа / В.Г. Смирнов // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 2. – Вып. 3. – М.: Научное издательство «ТВП», 1995.
3. Сумароков, С.Н. Запреты двоичных функций и обратимость для одного класса кодирующих устройств / С.Н. Сумароков // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 1. – Вып. 1. – М.: Научное издательство «ТВП», 1994.
4. Никонов, В.Г. Запреты  $k$ -значных функций и их связь с проблемой разрешимости систем уравнений специального вида / В.Г. Никонов, Н.В. Никонов // Вестник РУДН, серия прикладная и компьютерная математика. – Т. 2. – 2003. – № 1.
5. Никонов, Н.В. О связях и отличиях полузапретов I, II-ого рода и запретов  $k$ -значных функций / Н.В. Никонов // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2006. – № 1 (43).
6. Никонов, Н.В. О классах  $k$ -значных функций без полузапретов / Н.В. Никонов // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 12. – Вып. 1. – М.: ОпиПМ. – 2005.
7. Никонов, Н.В. О классификации всех булевых функций от 3-х переменных с обобщенными запретами / Н.В. Никонов // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2004. – № 5 (36).
8. Колесников, О.В. Использование запретов двоичных функций при решении систем уравнений / О.В. Колесников // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 2. – Вып. 3. – М.: Научное издательство «ТВП», 1995.

## ОБ УТОЧНЕНИИ ОЦЕНКИ ВЕСА ПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОРОГОВОЙ ФУНКЦИИ

В.Б. НЕТЫКШО, доц. каф. высшей математики МГУЛ, канд. техн. наук

Оценка веса произвольной пороговой функции сводится к оценке вероятности единичного значения функции. В статье [3] были разработаны принципиально новые методы оценки вероятностей выходных значений пороговых функций, их подфункций, а также апостериорных вероятностей значений входных переменных по известным выходным значениям пороговых функций. При этом первоначально рассматривались вероятности переоценок значений переменных для пороговых функций с определенными ограничениями на весовые коэффициенты, при которых задача переоценки вероятностей решалась с помощью одной из центральных предельных теорем теории вероятностей. Хотя скорость сходимости к предельному распределению невысока и оценивается как

$$O\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right),$$

где  $n$  – количество входных переменных,  $n \rightarrow \infty$ , приемлемая точность вычислений достигается уже при небольших  $n$ . В дальнейшем апостериорные вероятности удалось оценить с использованием геометрического подхода. Необходимо отметить, что никакие ограничения на пороговые функции при этом не накладываются. Формула оценки вероятности единичного значения пороговой функции на основе геометрического подхода была приведена без доказательства. В настоящей статье этот недостаток будет устранен.

В [3] новый метод был распространен и на булевы функции с ограниченной пороговой структурой. Оценка соответствующей вероятности также была дана без указания точности. Суммарная погрешность в худшем случае складывается из погрешностей для каждого события в отдельности. Поэтому достаточно привести доказательство точности оценки единичной вероятности для пороговой функции.

Напомним, в чем состоит сущность геометрического метода оценки вероятностей единичного (нулевого) значения произвольной пороговой функции.

Пусть пороговая функция задана следующим образом

$$f: f(\bar{x}) = 1 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n a_i x_i \geq c, |a_1| \geq \dots \geq |a_n|.$$

Опишем около  $n$ -мерного единичного куба  $V_n$ , на котором задана функция  $f$ , сферу  $S_n$  с центром в точке с координатами

$$\left(\underbrace{\frac{1}{2}, \dots, \frac{1}{2}}_n\right)$$

и радиусом

$$R = \frac{\sqrt{n}}{2}.$$

Очевидно, что все вершины куба  $V_n$  лежат на построенной сфере. Введем в  $n$ -мерном пространстве евклидову метрику

$$\|a - b\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}, \quad a, b \in R^n.$$

Определим множества

$$A_i = \left\{ x \in S_n \mid \begin{array}{l} \|x - x_i\| < \|x - x_j\| \\ \text{для всех } j = 1, 2^n, j \neq i \end{array} \right\},$$

где  $x_i, x_j$  – точки с координатами из множества  $\{0, 1\}$ ,  $i, j = 1, 2^n$  и множества

$$\overline{A_i} = \left\{ x \in S_n \mid \begin{array}{l} \|x - x_i\| \leq \|x - x_j\| \\ \text{для всех } j = 1, 2^n, j \neq i \end{array} \right\}.$$

Введенные множества удовлетворяют следующим соотношениям:

$$\bigcup_{i=1}^{2^n} \overline{A_i} = S_n, \quad A_i \cap A_j = \emptyset \text{ и } |A_i| = |A_j|$$

для всех  $i \neq j$ ;

$$\sum_{i=1}^{2^n} |A_i| = |S_n|, \quad |A_i| = |S_n| 2^{-n}$$

для любого  $i$ .

Здесь  $|S_n|$  – площадь поверхности сферы  $S_n$ ,  $|A_i|$  – площадь  $A_i$ ;

Площадь поверхности  $n$ -мерной сферы с радиусом

$$R = \frac{\sqrt{n}}{2}$$

равна

$$|S_n| = k_n \pi^{\lfloor n/2 \rfloor} R^{n-1} = k_n \pi^{\lfloor n/2 \rfloor} n^{n-1/2} 2^{1-n},$$

где  $k_n$  – константа, зависящая от  $n$ .

Рассмотрим геометрическую модель пороговой функции. Псевдобулево равенство задает  $n$ -мерную гиперплоскость  $L$ , которая разбивает  $n$ -мерный единичный куб на две части: по одну сторону от плоскости все вершины куба единич-

ные, по другую – нулевые. Если удастся вычислить площадь части сферы, расположенной по одну сторону от секущей сферу гиперплоскости, то тем самым будет с некоторой точностью оценена одна из вероятностей  $p\{f=1\}$  или  $p\{f=0\}$ .

Уравнения построенной сферы  $S_n$  и секущей ее плоскости  $L$  имеют вид соответственно

$$\sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{1}{2}\right)^2 = \frac{n}{4} \text{ и } \sum_{i=1}^n a_i x_i = c.$$

Произведем несколько преобразований координат [1].

1 шаг. Осуществим параллельный перенос системы координат так, что центром новой системы является точка с координатами

$$\left(\underbrace{\frac{1}{2}, \dots, \frac{1}{2}}_n\right)$$

в старой системе. Тогда в новых координатах уравнения сферы  $S_n$  и плоскости  $L$  примут вид

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \frac{n}{4} \text{ и } \sum_{i=1}^n a_i \left(x_i + \frac{1}{2}\right) = c \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n a_i x_i = c - \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{2} = c'.$$

Пусть без ограничения общности  $c' \geq 0$ .

2 шаг. Повернем систему координат в плоскости  $X_1OX_2$  на угол  $\alpha_2$ , косинус которого равен

$$\frac{a_1}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2}},$$

а синус равен

$$\frac{a_2}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2}}.$$

В новой системе уравнения  $S_n$  и  $L$  будут выглядеть следующим образом

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \frac{n}{4} \text{ и } \frac{a_1^2 + a_2^2}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2}} x_1 + \sum_{i=3}^n a_i x_i = c'.$$

$i$ -й шаг. Повернем систему в плоскости  $X_1OX_i$  на угол  $\alpha_i$ , косинус которого равен

$$\frac{\sqrt{\sum_{s=1}^{i-1} a_s^2}}{\sqrt{\sum_{s=1}^i a_s^2}},$$

а синус равен

$$a_i / \sqrt{\sum_{s=1}^i a_s^2}.$$

Уравнения преобразуются

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \frac{n}{4} \text{ и } \sqrt{\sum_{s=1}^i a_s^2} x_1 + \sum_{j=i+1}^n a_j x_j = c'.$$

После  $n$ -го шага получим следующие уравнения сферы и плоскости соответственно

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \frac{n}{4} \text{ и } \sqrt{\sum_{s=1}^n a_s^2} x_1 = c'.$$

Пересечением  $n$ -мерных сферы и гиперплоскости является  $(n-1)$ -мерная сфера  $S_{n-1}(R')$ , уравнение которой в последней системе координат имеет вид

$$\sum_{i=2}^n x_i^2 = (R')^2,$$

где

$$R' = \sqrt{\frac{n}{4} - \frac{(c')^2}{\sum_{i=1}^n a_i^2}}$$

– радиус сферы  $S_{n-1}(R')$ .

Ее площадь поверхности в  $(n-1)$ -мерном пространстве обозначим через  $|S_{n-1}(R')|$ .

Любая единичная вершина куба  $V_n$  является корнем уравнения  $n$ -мерной плоскости  $L_t$

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i = t \geq c \tag{1}$$

при некотором  $t \geq c$ . Оценкой вероятности  $p\{f=1\}$  служит величина, равная площади поверхностей семейства  $(n-1)$ -мерных сфер, являющихся пересечением  $n$ -мерных сферы и плоскости  $L_t$ , заданной уравнением (1), для всех  $t \geq c$ , деленной на площадь поверхности  $n$ -мерной сферы, то есть

$$p = p\{f=1\} \approx$$

$$\approx \frac{\int_a^b |S_{n-1}(R \cos \varphi)| R d\varphi}{|S_n(R)|} = \frac{\int_a^b \cos^{n-2} \varphi d\varphi}{\int_{-b}^b \cos^{n-2} \varphi d\varphi} = \frac{I_1}{I},$$

где

$$a' = \arcsin \left( \frac{c - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i}{R \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2}} \right), \quad b = \frac{\pi}{2}, \quad R = \frac{\sqrt{n}}{2}.$$

Рассмотрим интегралы  $I_1$  и  $I$  для нечетного числа  $n = 2m + 1$  (для четного числа  $n$  будем решать эту задачу для подфункций исходной функции)

$$I_1 = \int_{a'}^b \cos^{2m+1} \varphi d\varphi =$$

$$= \int_a^1 (1-t^2)^m dt = \sum_{i=0}^m \binom{m}{i} (-1)^i \frac{1-(a')^{2i+1}}{2i+1}$$

$$I = \int_{-b}^b \cos^{2m+1} \varphi d\varphi = \int_{-1}^1 (1-t^2)^m dt = 2 \sum_{i=0}^m \binom{m}{i} \frac{(-1)^i}{2i+1},$$

где

$$a = \frac{c - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i}{R \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2}}, \quad b = \frac{\pi}{2}, \quad R = \frac{\sqrt{n}}{2}.$$

**Теорема**

Для вероятности  $p\{f = 1\}$  верна следующая оценка

$$\left| p\{f = 1\} - \frac{I_1}{I} \right| \leq \frac{(a' - a'') \sup_{\varphi \in [a'', a']} \cos^{n-2} \varphi}{\int_{-b}^b \cos^{n-2} \varphi d\varphi}, \quad (2)$$

где

$$a' = \arcsin \left( \frac{c - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i}{R \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2}} \right),$$

$$a'' = \arcsin \left( \frac{c - a_1 - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i}{R \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2}} \right)$$

для всех  $n > 1$ .

**Доказательство**

Рассмотрим множество

$$R = \left\{ \bar{x} \mid \sum_{i=1}^n a_i x_i \geq c \right\}.$$

Без ограничения общности считаем, что  $a_1 > 0, c > 0$ .

**Лемма**

Если некоторая вершина  $\bar{b} = (b_1, \dots, b_n)$  куба  $V_n$ , принадлежит множеству  $R$ , то любая соседняя для нее вершина  $\bar{b}' = (b_1, \dots, b_i \oplus 1, \dots, b_n)$  принадлежит множеству

$$R_{a_1} = \left\{ \bar{x} \mid \sum_{i=2}^n a_i x_i \geq c - a_1 \right\}.$$

Имеем  $b_i \oplus 1 \equiv 1 - b_i$ . Доказательство леммы следует из цепочки равносильностей

$$\begin{aligned} a_1 b_1 + \dots + a_i (b_i \oplus 1) + \dots + a_n b_n &\geq c - a_1 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow a_1 b_1 + \dots - a_i b_i + \dots + a_n b_n &\geq c - a_1 - a_i \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow a_1 b_1 + \dots + a_i b_i + \dots + a_n b_n &\geq c - a_1 - a_i + 2a_i b_i. \end{aligned}$$

Но

$$a_1 b_1 + \dots + a_i b_i + \dots + a_n b_n \geq c,$$

тогда

$$a_1 b_1 + \dots + a_i b_i + \dots + a_n b_n \geq c - a_1 - a_i + 2a_i b_i,$$

так как

$$a_1 + a_i \geq 2a_i \geq 2a_i b_i.$$

Справедливость оценки (2) покажем с помощью математической индукции по размерности пространства  $n$ .

Обозначим через  $|S_c|$  площадь поверхности части сферы, расположенной по одну сторону от плоскости  $L$ , которая задается уравнением

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i = c,$$

и содержащей единичные и не содержащей нулевые вершины пороговой функции  $f$ .

1. Пусть  $n = 2$ . Будем предполагать, что выполняется неравенство

$$\frac{|S_c|}{|S_2|} < p.$$

В противном случае перейдем к рассмотрению вероятности  $1 - p = p\{f = 0\} = p\{\bar{f} = 1\}$ . Легко показать, что существует единственная плоскость  $L_p$ , такая, при которой  $L_p \parallel L$  и

$$\frac{|S_d|}{|S_2|} = p,$$

где  $L_p$  задается уравнением

$$\sum_{i=1}^2 a_i x_i = d,$$

а  $|S_d|$  – площадь части окружности, удовлетворяющей неравенству

$$\sum_{i=1}^2 a_i x_i \geq d.$$

Тогда, сдвигая плоскость  $L$  на величину  $-a_1$  и используя лемму, получим

$$\frac{|S_{c-a_1}|}{|S_2|} \geq p.$$

При этом плоскость  $L_p$  также задает функцию  $f$ , то есть

$$f(\bar{x}) = 1 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n a_i x_i \geq d.$$

Итак, для  $n = 2$  получили двойное неравенство

$$\frac{|S_c|}{|S_2|} < p \leq \frac{|S_{c-a_1}|}{|S_2|}.$$

2. Предположим, что для любого  $m < n$  и любой пороговой функции верна формула

$$\frac{|S_b|}{|S_m|} < p \leq \frac{|S_{b-b_1}|}{|S_m|},$$

где  $b$  и  $b_1$  – ее порог и максимальный по модулю весовой коэффициент, соответственно.

3. Пусть  $m = n$ . Рассмотрим подфункции  $f_n^1$  и  $f_n^0$  исходной функции  $f$ , в которой переменную с номером  $n$  зафиксируем единицей и нулем.



Эти подфункции – пороговые. Они задаются формулами

$$f_n^1(x_1, \dots, x_{n-1}) = 1 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^{n-1} a_i x_i \geq c - a_n \text{ и}$$

$$f_n^0(x_1, \dots, x_{n-1}) = 1 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^{n-1} a_i x_i \geq c.$$

Обозначим их единичные вероятности через

$$p_1 = p\{f_n^1 = 1\} \text{ и } p_0 = p\{f_n^0 = 1\}.$$

Для рассмотренных подфункций выполняется предположение индукции. То есть справедливы следующие двойные неравенства:

$$\frac{|S_{c-a_n}|}{|S_{n-1}|} < p_1 \leq \frac{|S_{c-a_n-a_1}|}{|S_{n-1}|} \text{ и } \frac{|S_c|}{|S_{n-1}|} < p_0 \leq \frac{|S_{c-a_1}|}{|S_{n-1}|}. \quad (3)$$

Проведем над неравенствами (3) некоторые преобразования, получим цепочку равносильных двойных неравенств:

$$\frac{1}{2} \left( \frac{|S_{c-a_n}|}{|S_{n-1}|} + \frac{|S_c|}{|S_{n-1}|} \right) < p = \frac{1}{2} (p_1 + p_0) \leq$$

$$\leq \frac{1}{2} \left( \frac{|S_{c-a_n-a_1}|}{|S_{n-1}|} + \frac{|S_{c-a_1}|}{|S_{n-1}|} \right) \Leftrightarrow \frac{\|f_{c,n}^1\| + \|f_{c,n}^0\|}{2^n} <$$

$$< p \leq \frac{\|f_{c-a_1,n}^1\| + \|f_{c-a_1,n}^0\|}{2^n} \Leftrightarrow \frac{\|f_c\|}{2^n} < p \leq \frac{\|f_{c-a_1}\|}{2^n},$$

где  $f_c$  и  $f_{c-a_1}$  – пороговые функции со свойством

$$\frac{\|f_c\|}{2^n} = \frac{|S_c|}{|S_n|} \text{ и } \frac{\|f_{c-a_1}\|}{2^n} = \frac{|S_{c-a_1}|}{|S_n|},$$

а  $f_{c,n}^1$ ,  $f_{c,n}^0$ ,  $f_{c-a_1,n}^1$  и  $f_{c-a_1,n}^0$  – их подфункции при фиксации  $n$ -й переменной значениями 1 и 0.

Следовательно,

$$\frac{|S_c|}{|S_n|} < p \leq \frac{|S_{c-a_1}|}{|S_n|}.$$

## ВЫБОР ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ НЕРАВНОВЕСНОГО ПАРОВОГО ПОТОКА

А.Н. ШУЛЬЦ, доц. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук

Расчетные характеристики тепловых труб (ТТ) в значительной мере зависят от принимаемой модели состояния пара, которая должна учитывать всю совокупность физических процессов, протекающих по длине парожидкостного тракта. В большинстве работ [1] принимается модель равновесного парового потока, замороженного по отношению к фазовым переходам. В общем случае процесс теплопереноса в ТТ необходимо считать

Тогда для оценки вероятности верна формула погрешности

$$\left| p - \frac{|S_c|}{|S_n|} \right| \leq \left| \frac{|S_{c-a_1}|}{|S_n|} - \frac{|S_c|}{|S_n|} \right| = \frac{\int_{a''}^{a'} |S_{n-1}(R \cos \varphi)| R d\varphi}{|S_n|} =$$

$$= \frac{\int_{a''}^{a'} \cos^{n-2} \varphi d\varphi}{\int_{-b}^b \cos^{n-2} \varphi d\varphi} \frac{(a' - a'') \sup_{\varphi \in [a'', a']} \cos^{n-2} \varphi}{\int_{-b}^b \cos^{n-2} \varphi d\varphi},$$

где

$$a' = \arcsin \left( \frac{c - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i}{R \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2}} \right), \quad a'' = \arcsin \left( \frac{c - a_1 - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i}{R \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2}} \right).$$

Доказательство окончено.

### Следствие

При  $n \rightarrow \infty$  точность оценки (2) асимптотически совпадает с погрешностью оценки, полученной с помощью ЦПТ Линдберга-Леви для функций 1-го и 2-го типов [2, 3], и составляет величину порядка

$$O\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right).$$

### Библиографический список

1. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1984.
2. Нетыкшо, В.Б. О некоторых вероятностных свойствах пороговых функций / В.Б. Нетыкшо // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2002. – № 11. – С. 48–56.
3. Нетыкшо, В.Б. Об исследовании и применении вероятностных и геометрических свойств пороговых функций / В.Б. Нетыкшо // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2003. – № 1(26). – С. 102–112.

Традиционные способы исследования теплопереноса в ТТ основаны на термодарных измерениях. Полученные температурные поля и балансовые измерения становятся единственным критерием правильности выбранной расчетной модели состояния парового потока. Принимаемые расчетные модели значительно упрощают истинную картину протекающих в паровом потоке физических явлений. Так, например, в [1] утверждается, что объемная конденсация в ТТ вряд ли возможна, так как необходимая степень пересыщения в паровом потоке труднодостижима. Данное утверждение не учитывает влияние на процесс зарождения новой фазы таких явлений, как капельный выброс из пор фитиля испарителя вследствие наступления термокапиллярной или барокапиллярной неустойчивости межфазной поверхности [3] при больших удельных тепловых нагрузках. Известно, что присутствие таких капель в паровом потоке облегчает появление зародышей новой фазы в результате гетерофазных флуктуаций [2]. Электростатический заряд, появляющийся в результате трения между частицами в паровом потоке, также облегчает появление зародышей новой фазы [3]. Кроме того, ТТ представляет собой идеальную камеру Вильсона. Случайное воздействие космического излучения на пересыщенный паровой поток создаст огромное количество зародышей, которые будут длительное время поддерживать взрывной механизм гетерофазных флуктуаций [3]. Таким образом, термодарные измерения должны быть дополнены оптическими средствами контроля.

**Выбор оптических средств контроля** состояния парового потока обусловлен прежде всего тем, что они не искажают температурного поля, поскольку энергия, поглощаемая средой, мала по сравнению с энергией, передаваемой в процессе теплообмена. Данные методы практически безынерционны, что позволяет произвести регистрацию всего поля оптических неоднородностей на одной фотографии.

**Интерференционные методы** основаны на регистрации разности фаз и позволяют установить количественные связи в распределении оптических неоднородностей по всему полю течения. Эти данные могут послужить основой для оценки распределений плотности влажного пара, степени пересыщения парового потока, выявить распределение тепловых потоков по зонам теплообмена, оценить изменение энтальпии пара по ходу потока вдоль ТТ.

**Теневые методы** основаны на измерении освещенности и идентификации световых лучей. Они позволяют выявить области наибольших градиентов оптических неоднородностей по ходу течения влажного пара, определить положение и форму скачков конденсации в результате визуализации каустических линий. Данные методы очень удобны для исследования нестационарных процессов тепло- и массообмена.

**Световой «нож»** позволяет выявить наличие жидкой фазы в паровом потоке, оценить размеры и количество капелек в паровом потоке, зафиксировать на фотографии треки частиц, их форму и размеры.

Дополненные термодарными измерениями температуры пара в реперных точках (для расшифровки и интерферограмм), эти методы позволяют получить объективную информацию о механизмах переноса тепла, массы и импульса в паровом потоке ТТ, недоступную для традиционных методов экспериментального исследования.

### Расшифровка интерферограмм

Р. Кеннард [6] и Х. Шардин [7] указали на возможность применения интерферометра Маха-Цендера для исследования теплообмена и описали метод расшифровки интерферограмм. Так, например, для теплового пограничного слоя в приближении идеального газа предполагалось, что поле показателей преломления есть однозначная функция температуры ( $P = \text{const}$ ,  $n = f(T)$ ). Для нашего случая этот метод неприемлем, так как поле показателей преломления в ТТ создается процессами вдува-отсоса массы при практически изотермичных условиях.

Появление в паровом потоке зародышей жидкой фазы  $r_j$  является результатом гетерофазных флуктуаций. В этой связи возникает необходимость *исследовать влияние этого процесса на показатель преломления рабочей среды*.

Известно, что показатель преломления является функцией, зависящей от диэлектрической проницаемости среды  $n = f(\epsilon)$ . В свою очередь,  $\epsilon$  есть функция плотности  $\rho$  в линейном приближении  $\Delta\epsilon = (d\epsilon/d\rho)\Delta\rho$ . Следовательно, флуктуация плотности однозначно определяет флуктуацию показателя преломления.

Определим гетерофазную флуктуацию как результат тепловой флуктуации плотности среды  $\rho$ . Следуя [4], рассмотрим нашу рабочую среду как физическую систему, состоящую из  $N$  независимых

одинаковых частей (молекул пара как идеального газа). Пусть  $f$  – флуктуирующая величина. Флуктуацией этой величины называется отклонение  $\Delta f = f - \bar{f}$  мгновенного значения этой величины от её среднего значения. В силу аддитивности этой величины соответствующая величина для всей системы будет  $\bar{F} = \sum \bar{f}_i = N\bar{f}$ , где индекс  $i$  опущен, так как предполагается, что все составные части системы тождественны. Далее,

$$F^2 = (\sum f_i)^2 = \sum f_i^2 + \sum_{i \neq j} \sum f_i f_j,$$

а так как эти части независимы, то

$$\overline{f_i f_j} = \bar{f}_i \bar{f}_j = (\bar{f})^2.$$

Следовательно,

$$\bar{F}^2 = N(\bar{f})^2 + N(N-1)(\bar{f})^2.$$

Так как  $F$  – величина постоянная, то

$$\Delta \bar{F}^2 = \bar{F}^2 - (F)^2 = N[\bar{f}^2 - (\bar{f})^2].$$

Отсюда следует

$$\frac{\sqrt{\Delta F^2}}{F} = \frac{\sqrt{N} \sqrt{(\Delta f)^2}}{N\bar{f}} = \frac{\sqrt{(\Delta f)^2}}{\sqrt{N} \times \bar{f}}.$$

Таким образом, относительная флуктуация величины  $F$  обратно пропорциональна квадратному корню из  $N$ . При больших  $N$  относительные флуктуации ничтожны. Применим эту формулу для флуктуации плотности. Пусть  $N$  – общее количество молекул в рабочем участке, а  $\dot{n}_i$  – число молекул в объеме зарождающейся флуктуации. Среднее число молекул в зародыше объемом  $v$  будет  $\dot{n}_i = \dot{n} = Nv/V = N\eta$ , где  $\eta = v/V$  – вероятность нахождения молекулы в объеме зародыша  $v$ . Следуя [4], возьмем теперь в качестве  $f_i$  следующие величины  $f_i = 1$ : если  $i$ -я молекула находится внутри объема  $v$ , и  $f_i = 0$ , если она находится в оставшемся объеме  $V - v$ . Тогда число молекул  $\dot{n}$  в объеме зародыша можно представить в виде  $\dot{n} = \sum f_i$ , предполагая, что суммирование ведется по всем  $N$  молекулам объема  $V$ . Ясно, что  $f_i = f_i^2 = f_i^3 = \dots$ , поэтому для их осредненных значений следует записать  $\sum f_i^2 = \eta$ . Следовательно,

$$\overline{\Delta f_i^2} = \overline{f_i^2} - (\bar{f}_i)^2 = \eta - \eta^2 = \eta(1 - \eta).$$

Так как величины  $f_i$  статистически независимы, то

$$\overline{\Delta \dot{n}^2} = N\eta(1 - \eta) = (1 - \eta)\dot{n}.$$

Поскольку объем  $V$  бесконечно велик, то  $\eta \rightarrow 0$ , следовательно,  $\overline{\Delta \dot{n}^2} = \dot{n}$ .

Для относительной флуктуации плотности пара получим

$$\sqrt{(\overline{\Delta \rho^2})/\bar{\rho}} = 1/\sqrt{\dot{n}},$$

откуда следует, что в объеме рабочего участка  $V$  относительные флуктуации малы и труднодоступ-

ны наблюдению. Значит, флуктуацией коэффициента показателя преломления можно пренебречь, если *состояние рабочего вещества далеко от критической точки*.

Флуктуации плотности в окрестности критической точки уже нельзя считать *статистически независимыми* (теория флуктуаций, Эйнштейн и Смолуховский, [4]). Интенсивность рассеянного света в этом случае описывается Эйнштейном так:

$$I = \frac{\pi^2}{\lambda^4} \times \frac{(1 + \cos^2 \nu)}{2r^2} V I_0 \rho^2 \times (d\varepsilon/d\rho)^2 \times \frac{kT}{(-v\partial P/\partial v)_T}.$$

Флуктуации плотности в окрестности критической точки становятся очень большими, так как  $\partial P/\partial v$  стремится к нулю. Этим объясняется *критическая опалесценция* – сильное рассеяние света в окрестности критической точки. В этом случае данная формула неприменима. Орнштейн и Цернике [4] обобщили формулу Эйнштейна для случая рассеяния света вблизи критической точки. Установлено, что линейный размер неоднородности становится больше длины волны  $\lambda$  и рассеяние света перестает быть симметричным, индикатриса рассеяния сильно вытянута вперед к падающим лучам.

Процессы вдува-отсоса в ТТ могут создать благоприятные условия для роста зародышей и образования капель вдали от критической точки. В этом случае очень полезно интерферометрические методы сочетать с теневыми методами для надежной регистрации и изучения причин возникновения подобных явлений.

В смешанных процессах тепло- и массообмена изменение показателя преломления зависит от двух величин в соответствии с соотношением

$$dn = (\partial n/\partial T)_c dT + (\partial n/\partial C)_T dC.$$

Общее физическое соотношение между показателем преломления  $n$  и плотностью среды  $\rho$  описывается уравнением Лоренца–Лоренца

$$[(n^2 - 1)/(\rho(n^2 + 2))] = \check{r}(\lambda),$$

где  $\check{r}(\lambda) = const$  – удельная преломляющая способность рабочей среды.

Состояние пара в ТТ далеко от критической точки, поэтому оно близко к параметрам идеального газа, для которого показатель преломления  $n \approx 1$ . В этом случае можно воспользоваться более простым выражением

$$[2(n - 1)/3\rho] = \check{r} = const. \quad (1)$$

Из (1) получим в упрощенном виде уравнение Гладстона–Дейла

$$\frac{n(X, Y) - 1}{n_0 - 1} = \frac{\rho(X, Y)}{\rho_0},$$

где  $n_0$  и  $\rho_0$  определены по результатам термодинамических измерений температуры в начале зоны испарения.

Смещение интерференционных полос  $S(X, Y)$  описывается уравнением идеального интерферометра Маха–Цендера [6, 7]

$$S(X, Y) = (L/\lambda) [n(X, Y) - n_k], \quad (2)$$

где  $L$  – ширина плоского канала,

$\lambda = 0,6328$  мкм – длина волны излучения гелий-неонового лазера,

$n_k$  – показатель преломления среды в компенсационной камере интерферометра.

Из (1) и (2), с учетом того, что в ТТ  $(\partial n/\partial C)_T dC \gg (\partial n/\partial T)_C dT$ , получим требуемое соотношение

$$\frac{\rho_i(X, Y)}{\rho_0} = 1 - \frac{\lambda S(X, Y)}{L[n_0 - 1]}. \quad (3)$$

В начале зоны испарения, где паровой поток практически неподвижен, а градиенты температур и давлений близки к нулю, состояние пара соответствует параметрам насыщения ( $\rho_0, T_0$ ), определяемым экспериментально по показаниям термометра.

В нашем случае был выбран метод настройки интерферометра на полосу бесконечной ширины. Преимущество такой настройки объясняется большим количеством полос в исследуемом поле ( $S > 5$ ). Кроме того, в плоском канале поле оптических неоднородностей не зависит от геометрического пути светового луча, так как ширина канала постоянна. В этом случае интерферограмма легко расшифровывается как поле линий одинаковой оптической плотности.

Конвективный перенос массы при вдувотсосе можно описать как

$$m = -D_k(dp_i/dy).$$

Дальнейшая обработка интерферограмм проводится в приближении модели идеального газа

$$\frac{P_i}{P_0} = \frac{\rho_i T_i}{\rho_0 T_0} = \frac{T_i}{T_0} \left[ 1 - \frac{\lambda S(X, Y)}{L[n_0 - 1]} \right],$$

где  $P_i = P_0 - P(X, Y)$ , аналогично  $\rho_i$  и  $T_i$

$i$  – точка в поле интерферограммы.

При этом очень важным является допущение, что данный газ представляет собой пар как смесь мономер-димер-полимер, замороженную по отношению к фазовым переходам.

### Определение энтальпии парового потока

По интерферограммам двумерных или цилиндрических объектов можно определить не только поля плотности и температуры, но и информацию общего характера, например, энтальпию парового потока в выделенном объеме шлиры. Из [8] следует, что теплосодержание шлиры  $H$ , [Дж] прямо пропорционально изменению показателя преломления в области шлиры

$$H(X, Y, Z) = k_n \Delta n(X, Y, Z), \quad (4)$$

где  $k_n$  – коэффициент пропорциональности, а  $\Delta n$  – изменение показателя преломления относительно невозмущенной среды. Во всей области шлиры полное теплосодержание будет

$$H_n = \iiint H(X, Y, Z) dx dy dz,$$

или

$$H_n = k_n \iiint \Delta n(X, Y, Z) dx dy dz.$$

Интегрирование частично выполняется световым лучом. Эта часть интеграла получается в виде разности фаз

$$S(X, Y) = 1/\lambda \int_{\textcircled{0}} \Delta n dz, \quad (5)$$

где  $\textcircled{0}$  – траектория луча.

Для энтальпии относительно невозмущенной среды можно записать

$$H_n = \rho C_p (T - T_\infty), \quad (6)$$

$$\Delta n = (n - n_\infty) = (dn/dT)(T - T_\infty), \quad (7)$$

где  $C_p, \rho, n$  и  $T$  – удельная теплоемкость, плотность, показатель преломления и температура в объеме шлиры (средние для всей области шлиры);  $n_\infty$  и  $T_\infty$  – показатель преломления и температура невозмущенной среды (в нашем случае на границе выделенного объема шлиры);  $dn/dT$  – температурный градиент показателя преломления (физическая постоянная среды).

Из соотношений (4, 6, 7) получаем

$$kn = \frac{H_n}{\Delta n} = \frac{\rho C_p (T - T_\infty)}{(dn/dt)(T - T_\infty)} = \frac{\rho C_p}{(dn/dt)}.$$

Данная формула справедлива для произвольной среды, в которой  $k_n$  и, следовательно,  $\rho, C_p$  и  $(dn/dT)$  можно считать постоянными при малых изменениях температуры. В ТТ эти условия предполагаются выполнимыми. В особых случаях (ударные волны, скачки конденсации) требуются дополнительные связи. Поскольку для обработки интерферограмм принята модель идеального газа, то следует принять  $n \approx 1$ . Используя уравнение Гладстона–Дейла (3) и уравнение состояния идеального газа, получим:

$$\begin{aligned} (n - 1) &= 3/2 [(\check{r} p)/(RT_0)], \\ (\partial n/\partial T) &= 3/2 [\check{r}(p/R)] \text{ Ч } (1/T^2). \end{aligned} \quad (8)$$



Выражение (7) можно разложить в ряд по степеням  $\Delta T = T - T_\infty$

$$(\partial n / \partial T) = -3/2[(\check{r} p) / (RT_\infty^2)] + 3[(\check{r} p) / (RT_\infty^2)] \times (\Delta T / T_\infty) - 9/2[(\check{r} p) / (RT_\infty^2)] (\Delta T / T_\infty)^2.$$

В этом уравнении все члены, кроме первого, дают незначительный вклад. Например, при  $\Delta T = 5 \text{ К}$  и  $T_\infty = 300 \text{ К}$  их вклад составляет менее 1%. Выражение для  $k_n$  будет следующим

$$k_n = -2/3(C_p T_\infty / \check{r}) \times (\rho / \rho_\infty).$$

Для средней плотности шлиры  $\rho$ , которую определили ранее по результатам обработки выделенного объема, можно записать

$$H_n = -2/3(C_p T_\infty / \check{r}) \times (\rho / \rho_\infty) \lambda \iint S(X, Y) dx dy.$$

Описанный выше метод был использован в опытах Ханнеса [8] для исследования электрического разряда в воздухе. Такой разряд создает неупорядоченную шлиру с неопределенными рваными границами, поэтому определить энтальпию [Дж/м<sup>3</sup>] невозможно. При этом было принято весьма сомнительное допущение, что в изучаемой области  $\rho / \rho_\infty = 1$ . Тем не менее погрешность метода не связывалась с принятым допущением, а объяснялась погрешностью при обработке интерферограммы и оценивалась в 11 %.

В нашем случае поле показателей преломления обусловлено процессами вдува-отсоса при практически изотермичных условиях. Возникающая в паровом канале шлира существует в четко обозначенных границах с известной температурой. Следовательно, объем шлиры известен, что позволяет перейти к удельным параметрам. Световой луч, проходя через рабочую среду, производит суммирование разности фаз, возникающих в поле показателей преломления по ходу луча в соответствии с уравнением (5), независимо от характера протекающего в ней процесса. Поскольку полное теплосодержание рабочей среды в объеме ТТ для нас не представляет интереса, то, переходя к удельным параметрам, можно исключить неопределенность, обусловленную зависимостью  $k_n$  от  $\rho / \rho_\infty$ . Умножим  $H_n$  на  $(\rho V)^{-1}$ , тогда

$$J = H_n \check{C} (\rho V)^{-1} = =2/3(C_p T_\infty / \check{r}) \times \mathcal{N}(V_i \rho_\infty) \iint S(X, Y) dx dy,$$

где  $V_i$  – объем, выделенный в шлире;

$T_\infty$  и  $\rho_\infty$  – параметры пара, определенные в начале зоны испарения, где пар практически неподвижен.

Далее, разобьем рабочий участок ТТ на объемы одинаковой величины, в пределах которых можно считать  $k_n \check{C} (\rho V)^{-1} = \text{const}$ . Тогда в пер-

вом объеме будет определена энтальпия торможения  $J_o$ , а в следующих –  $J_{oi}$ . Разность между этими значениями будет отражать тепломассообмен, состоявшийся на границах и внутри выделенного объема. Формула для расшифровки интерферограммы в конечном виде будет

$$J = -2/3(C_p T_\infty / \check{r}) \times (\mathcal{N}(V_i \rho_\infty)) \sum_{y=0}^{y=n} \Delta y \left[ \sum_{x=0}^{x=n} (S \Delta x) \right]. \quad (9)$$

Следовательно, расшифровка интерферограмм по данной методике позволяет выявить важные составляющие для анализа процессов в ТТ:

- распределение плотности пара в объеме парожидкостного тракта,
- распределение тепловых потоков вдоль теплообменных плит ТТ,
- относительное изменение энтальпии пара по ходу потока,
- потери энергии в скачке конденсации,
- оценка степени пересыщения пара в ТТ.

### Интерференционная картина и ее расшифровка

Методика расшифровки демонстрируется на примере линии  $y_5$ . В точках пересечения линии  $y_5$  с линиями интерференционных полос, изображенных черными кружками, определяются разности фаз  $S$  и переносятся на верхний рисунок  $S(X)$ . Подобным образом определяются разности фаз от других интерференционных полос, попадающих на линии  $y_5$ , и переносятся на верхний рисунок (белые точки). Для каждой из линий  $y_i$  строится  $S_i(X)$ .

Семейство этих кривых представлено на топографической диаграмме разности фаз  $S(X, Y)$  эйконала шлиры, представленный на рис. 16, где показаны контурные линии разности фаз  $S = 0,5; 1,5; 2,5; 3,5$ . Так эти линии выглядят на интерференционной картине, возникающей при настройке интерферометра на полосу бесконечной ширины. Но такая диаграмма непригодна для количественной обработки, и линии переносятся на рис. 1а.

В дальнейшем производится планиметрическое определение интеграла  $H(Y) = \int S(X) dx$  для различных плоскостей пересечений линий  $y_i$ . Его значение представлено на рис. 2.

Интегрирование кривой на рис. 2 дает интеграл  $\iint S(X, Y) dx dy$ , пропорциональный полному теплосодержанию в шлире  $H(X, Y)$ . Далее, по формуле (9) определяется энтальпия парового потока в выделенном объеме ТТ.

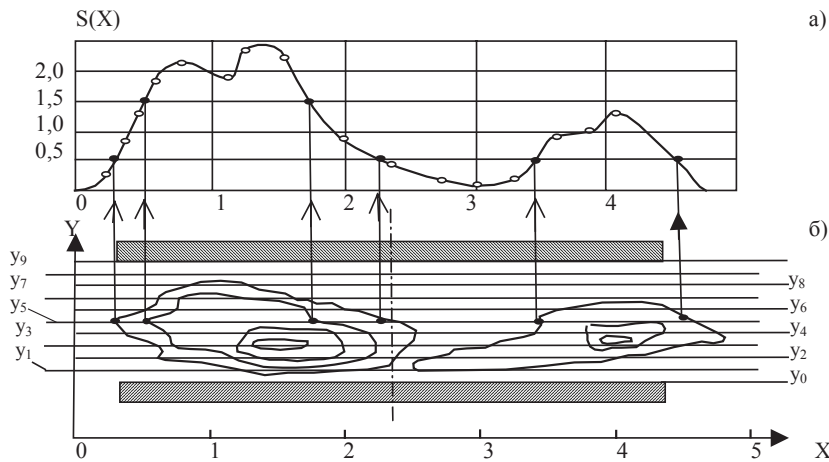


Рис. 1. Пример расшифровки интерферограммы шлиры по Ханнесу [8]: а) распределение разности фаз  $S$  по горизонтали  $y_5$ ; б) топографическая диаграмма эйконала шлиры (настройка интерферометра Маха-Цендера на полосу бесконечной ширины);  $X$ , см.,  $y_i$  – координаты разбиения канала по высоте, мм

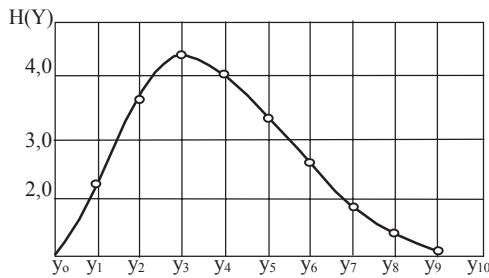


Рис. 2. Зависимость  $H(Y) = \int S(X)dx$ , полученная для плоскостей пересечений горизонталей  $y_i$

**Теневой метод**

Выбран теневой метод Теплера с образованием изображения. По чувствительности этот метод превосходит другие, в том числе интерференционные методы. В случаях малых градиентов показателя преломления данный метод является единственно возможным. Например при исследовании течения разреженных газов [2].

В противоположность методам без образования изображения, в которых поле линий постоянных отклонений  $\epsilon = \text{const}$  можно получить только расчетным путем, в методах с образованием изображения можно регистрировать такое поле в виде теневой картины неоднородной области. Метод очень удобен для исследования скачков оптических неоднородностей, например ударных волн или скачков конденсации.

Теневой прибор Теплера получается переоборудованием интерферометра Маха-Цендера путем перекрытия опорного светового пучка и установкой «ножа» в фокусе выходной линзы (рис. 3).

Параллельный пучок света, проходя через рабочую камеру, отклоняется в сторону более плотной среды и собирается в фокусе (точка 2). Часть преломленных лучей отсекается «ножом».

На экране наблюдается постепенное изменение освещенности, обусловленное градиентом оптической неоднородности в шлирной линзе, возникающей в рабочей камере при протекании процесса теплообмена. Распределение освещенности регистрировалось фотографически и исследовалось фотометрическим методом.

**Метод светового «ножа»**

Суть данного метода заключается в следующем. Излучение лазера развертывается в плоскость с помощью цилиндрической линзы, конденсора, коллиматора и далее направляется для просвечивания рабочей среды в модели ТТ.

В плоскость светового «ножа» попадают капли разных размеров. Регистрация их на фотографии зависит от разрешающей способности аппаратуры. Известно [4], что угловое разрешение аппаратуры можно оценить критерием Рэля  $\nu \geq 1,22 \times (\lambda/D)$ , где в нашем случае  $\lambda = 0,6328$  мкм,  $D = 10$  см (диаметр телескопического объектива системы Максутава). Для этих значений получаем  $\nu = 7,72 \times 10^{-5}$  рад. Следовательно, минимальное расстояние между двумя светящимися каплями, когда мы их регистрируем как отдельные точки, будет равно  $L = a \times \sin \nu = 4,63$  мкм, где  $a = 0,6$  м – расстояние от объектива до плоскости светового «ножа». Из-за дифракции каждая капля изобразится дифракционным кружком. В этом случае определить истинные размеры капель становится весьма затруднительно.

Получить изображение капли без существенных дифракционных искажений можно увеличением фокусного расстояния объектива и уменьшением диафрагмы.



Рис. 3. Схема теневого прибора Теплера: 1 – фокус неискаженного светового пучка, 2 – фокус измерительного светового пучка

С увеличением фокусного расстояния объектива различие в геометрических длинах центрального и периферийного лучей будет все меньше и меньше. Когда это различие достигнет  $\lambda/8$ , надобность в объективе отпадает. Роль объектива может играть круглое отверстие (камера обскура). Идею такого способа регистрации изображения разъясняет Рэлей. Уменьшение размеров диафрагмы имеет смысл до тех пор, пока дифракционные ошибки не превзойдут геометрические. Наилучшая четкость изображения достигается при таких размерах, когда эти ошибки примерно одинаковы. Рэлей теоретически и экспериментально нашел для наивыгоднейшего размера диафрагмы

$$D = 1,8\sqrt{ab\lambda/(a+b)},$$

при этом размер изображения будет равен размеру капли. В эксперименте имели: расстояние от плоскости «ножа» до диафрагмы  $a \approx 0,6$  м, расстояние от диафрагмы до изображения  $b \approx 0,03$  м, тогда  $D = D_k = 0,243$  мм. Следовательно, капли размерами  $D_k \leq 243$  мкм регистрировались в эксперименте с дифракционными искажениями.

Если оптическая однородность среды нарушена присутствием капель, беспорядочно распределенных по объему рабочей среды, то происходит рассеяние света. Такую среду называют *оптически мутной*. Распространение света в ней происходит не только в прямом направлении, но и рассеивается в стороны. Рассеяние света в таких средах экспериментально исследовал Тиндаль (явление **тиндалевского рассеяния**). Теория этого явления была дана Рэлеем. Если капля освещается линейно поляризованным светом, то и рассеянный свет поляризован линейно, причем электрический вектор лежит в плоскости, проходящей через ось диполя  $\mathbf{p}$  и направление излучения. Для интенсивности излучения, рассеянного одной сферической каплей, электродинамика дает

$$I_k = I_0 \cdot 9\epsilon_0^2 [(\epsilon - \epsilon_0)/(\epsilon + 2\epsilon_0)] \times (\pi^2 V^2/\lambda^4) \times (\sin^2 \nu)/r^2,$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего света,

$V$  – объем капли,

$r$  – расстояние до точки наблюдения.

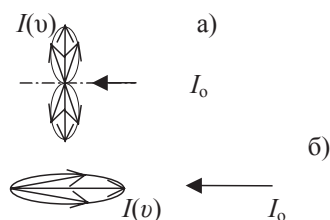


Рис. 4. Индикатриссы рассеяния света в плоскости светового «ножа»; а) для капелек размером  $r_k \leq \lambda$ ; б) для капелек  $r_k \gg \lambda$ ,  $I_0$  – интенсивность падающего света;  $\leftarrow$  направление лучей светового «ножа»

Данная формула справедлива для капель размером  $r_k \leq \lambda$ . Для капелек размером  $r_k \geq \lambda$  интенсивность рассеянного света растет не пропорционально четвертой степени частоты, а более медленно. Кроме того, рассеяние перестает быть симметричным относительно плоскости, перпендикулярной к падающим лучам: *вперед рассеивается больше света, чем назад* (рис. 4).

Межфазная граница капли (жидкость-пар) не бывает абсолютно гладкой. Тепловое движение создает неровности, на которых свет претерпевает дифракцию. Если высота неровностей мала по сравнению с длиной волны, то интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна второй степени длины волны. Поверхностное натяжение сглаживает неровности, появившиеся из-за тепловых флуктуаций.

Процессы дробления и коагуляции капель должны вызывать изменение их формы. Поверхность капли сильно деформируется. В таком случае должны возникнуть колебания межфазной поверхности, обусловленные конкуренцией между силами поверхностного натяжения и массовыми силами. В поле светового «ножа» эти колебания межфазной поверхности совместно с вращением капли должны сопровождаться вспышками, которые могут налагаться на изображение траектории. Подбирая экспозицию (длительность выдержки, освещенность), а также чувствительность фотопленки, можно попытаться зафиксировать траекторию капель с метками от вспышек.

Энергия лазерного излучения (ЛГН-404А,  $\lambda \approx 0,53$  мкм), использованного для метода светового «ножа», составляла примерно 2 Вт. В этой связи возникает необходимость оценить возможность возникновения явления Мандельштама-Бриллюэна (нелинейный оптический эффект). При большой мощности лазерного излучения возникает электрострикционное давление  $\mathbb{H} = \frac{1}{8}\pi \times \rho (d\epsilon/d\rho)^2 I_0$ , которое может достигать огромных значений (до сотни атмосфер и более), вследствие чего потребу-

ется учет световых и акустических волн. В эксперименте данное обстоятельство рассматривалось. Принимались меры для понижения удельной мощности излучения в плоскости светового «ножа» до приемлемых минимальных значений, исходя из необходимости получения качественных снимков.

### Фотолюминисценция рабочей среды

При облучении рабочей среды ультрафиолетовым светом ( $\lambda = 0,337$  мкм) молекулы теплоносителя могут переизлучать свет в видимом диапазоне. Это свойство целесообразно использовать совместно с другими оптическими средствами для расширения области собираемой информации о рабочем процессе в ТТ.

### Выводы

Оптические методы контроля состояния парового потока обеспечивают регистрацию всего поля неоднородностей без искажения рабочего процесса.

Интерференционные методы обеспечивают определение:

- плотности пара в поперечных сечениях и вдоль парожидкостного тракта,
- распределения тепловых потоков вдоль теплообменных плит ТТ,
- распределения плотности пара в областях вдува-отсоса,
- энтальпию пара по ходу потока,
- потери энергии в конденсационном скачке,

– степени пересыщения пара,  
Теневые методы позволяют выявить области максимальных градиентов оптических неоднородностей.

Метод светового «ножа» позволяет определить:

- наличие жидкой фазы в объеме парового потока,
- количество и размеры капель жидкости,
- треки капель,
- вихревые структуры в паровом потоке.

### Библиографический список

1. Ивановский, М.Н. Физические основы тепловых труб / М.Н. Ивановский, В.П. Сорокин, И.В. Ягодкин. – М., 1978.
2. Дейч, М.Е. Газодинамика двухфазных сред / М.Е. Дейч, Г.А. Филиппов. – М.: Энергия, 1968. – 422 с.
3. Павлов, П.А. Динамика вскипания сильно перегретых жидкостей / П.А. Павлов. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988. – 241 с.
4. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Оптика: учебное пособие. – 2-е изд., испр / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1985. – 752 с.
5. Шульц, А.Н. Экспериментальное исследование механизмов тепломассопереноса в паровом потоке тепловых труб: автореферат дисс. ... канд. техн. наук / А.Н. Шульц. – М., 1990. – 22 с.
6. Kennard R. B., An optical method for measuring temperature distributions and convective heat transfer, *Bur. Std. Res.*, **8**, 1932. 787-805
7. Schardin H., Die Schlierenverfahren und ihre Anwendungen, in "Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften", Bo 20, Springer, Berlin, 1942, S. 303-439.
8. Hannes H., Inerferometrische Messung der thermischen Energie von elektrischen Funken, *Forsch. Geb. Wes.*, №29, (1963). 169–175 p.

## ОПТИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В НЕРАВНОВЕСНОМ ПАРОВОМ ПОТОКЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

А.Н. ШУЛЬЦ, доц. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук

Практика расчетов ТТ основана на использовании осредненных по поперечному сечению парового канала уравнений неразрывности движения и энергии потока переменной массы с учетом сжимаемости, трения и реального профиля скорости пара [1]

$$\frac{d}{dx}[\rho_n \bar{u}_n] = \pm m / f_n,$$

$$\frac{d}{dx}[P_n + \beta \rho_n \bar{u}_n^2] = -\xi \frac{\bar{u}_n^2}{2d_n} \rho_n,$$

$$\frac{d}{dx}[\rho_n \bar{u}_n (J_n + 1/2 \alpha \bar{u}_n^2)] = -\pm (m / f_n)(J'_n + v^2 / 2),$$

где  $\bar{u}_n = 2/R_n^2 \int u(r_n, x) \times r_n dr_n$  – средняя по сечению канала скорость пара;

$u$  – текущее значение скорости вдоль оси  $x$ ;  
 $v = m/(\pi d_n C_f \rho_n)$  – радиальная скорость вдуваемого (конденсирующегося) пара на капиллярной структуре;

$\xi$  – коэффициент сопротивления трения;

$$\beta = 2/(\bar{u}_n^2 R_n^2) \int_0^{R_n} u^2(r_n, x) r_n dr_n$$

– коэффициент потока импульса;

$$\alpha = 2/(\bar{u}_n^3 R_n^2) \int_0^{R_n} u^2(r_n, x) r_n dr_n$$

– коэффициент потока энергии;

$J_n, J'_n$  – энтальпия пара в паровом канале и вдуваемого пара, соответственно;



$\epsilon_f$  – поверхностная пористость капиллярной структуры.

В приведенных выше уравнениях массовый расход вдуваемого (конденсирующегося) пара на единицу длины парового канала  $m$  определяется из условий неравновесного тепло- и массопереноса при испарении и конденсации, сопровождающихся скачком температуры на поверхности раздела фаз. При этом принимается модель равновесного двухфазного состояния пара, согласно которой пар представляет собой равновесную смесь идеального газа и жидкости. Считается, что при достоверных значениях коэффициентов  $\beta$ ,  $\xi$  и  $\alpha$  данный подход позволяет правильно описать распределение параметров пара по длине зон испарения и конденсации в условиях ламинарного и турбулентного течений. Там же указано, что для этих расчетов значения  $\beta$ ,  $\xi$  и  $\alpha$  достаточно хорошо **изучены для установившихся течений с равномерным вдувом – оттоком теплоносителя и постоянным давлением поперек канала**. Поэтому они могут быть использованы для расчета параметров пара **только для изотермических или близких к ним режимов работы ТТ**. В [1] также отмечается, что **границы перехода от ламинарного режима течения к турбулентному мало изучены**.

Интенсификация тепло- и массопереноса в ТТ сопровождается ростом удельных тепловых нагрузок и, следовательно, более глубоким проникновением параметров парового потока внутрь метастабильной области. Это касается особенно процессов запуска. В этих случаях расчет параметров ТТ по модели равновесного состояния парового потока является некорректным.

### 1. Результаты визуализации методом светового «ножа» и интерферометрическим методом

На рис. 1 (а, в, д, е) представлены фотографии течения паров ацетона для различных режимов и зон теплообмена, полученные **методом светового «ножа»**. На рис. 1а представлена фотография установившегося течения в зоне испарения для режима  $Q = 230$  Вт,  $Re = 460$ ,  $Re_c = 30$ . Выявлено наличие жидкой фазы в паровом потоке. Треки капель визуализируют вихревые структуры. На выходе из испарителя (сечение и-и) обнаружено два поперечных вихря (Z-валы), вращающихся по направлению вдув – отсос. Эти вихри создавали реальные гидродинамические границы, вдоль которых двигался основной поток

пара и поступал в конденсатор. Положение данных вихрей не зависело от тепловой нагрузки. В испарителе по ходу течения выявлены Z-валы в областях вдува от верхней и нижней поверхностей испарителя. Основной поток пара совершал синусоидальное движение между этими вихрями. В начале испарителя первый вихрь занимал все сечение парового канала. С увеличением осевого массопереноса по ходу потока размеры поперечных вихрей уменьшались и стабилизировались.

В динамике осредненное положение и размеры этих трех гидродинамических структур практически неизменны и разделяют пространство примерно поровну. Устойчивый размер вихревых структур можно принять равным  $1/3$  высоты канала  $\delta$ .

На рис. 1 б представлены **интерферограммы течения**, совмещенные с соответствующими областями на верхней фотографии. Интерферограммы получены настройкой интерферометра Маха-Цендера на полосу бесконечной ширины. При такой настройке интерферометрическая картина визуализирует линии равной плотности. Следует особо отметить, что вихри, визуализируемые методом светового «ножа», не отображаются интерферограммой.

На выходе из испарителя осевой поток резко изменяется. Поперечные вихри практически мгновенно трансформируются в продольные X-валы. Масштаб этих вихрей значительно меньше поперечных. Здесь же наблюдается резкий рост размеров и количества капель. В начале зоны конденсации интерферограмма изображает след от устойчивой области возврата – вихревого течения (правый снимок, рис. 1 б). На фотографии эта область изображена темным клином (рис. 1 в). В нижней части снимка показан след повышенной концентрации капель, возникающий в области возрастающего градиента давления  $(\partial P/\partial X) > 0$ . Далее, по ходу потока наблюдался рост капель и их выпадение на нижнюю поверхность конденсатора.

На рис. 1с представлен парокapельный поток при запуске ТТ. Разрывы потока и форма его границ обусловлены неустойчивой работой испарителя.

## 2. Обсуждение результатов

### 2.1 Определение вдуваемой массы

В измерительном плече интерферометра происходит суммирование всех оптических разностей фаз от объектов, попавших в объем све-

тового пучка. Интерферометрическая картина представляет собой линии равной плотности рабочей среды. Поэтому устойчивая по времени и пространству оптическая неоднородность должна соответствующим образом отражаться в этой картине. Однако этого не происходит.

В плоскость светового «ножа» толщиной 2 мм попадает небольшая часть объема рабо-

чей среды. В этой плоскости изображается срез Z-вала, который вдоль оси может иметь неустойчивую форму, изменяющуюся в пространстве и времени. По этой причине мы видим на фотографии вихрь, а на интерферограмме его изображения нет. Доказательством этому служит область устойчивого возвратно – вихревого течения, визуализируемая обоими методами рис. 1 (б,в).

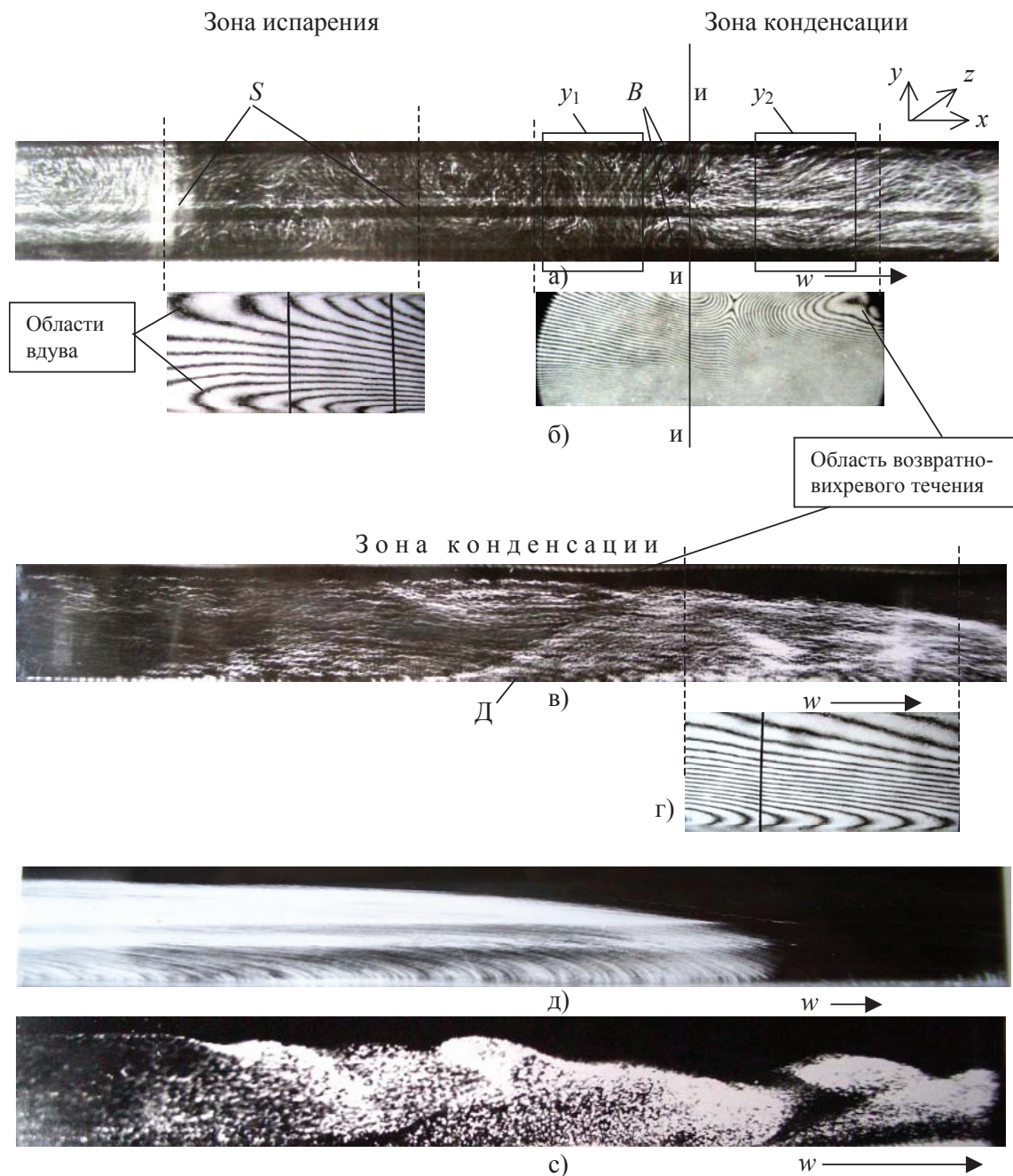


Рис. 1. а) визуализация оптических неоднородностей методом светового «ножа». Теплоноситель – ацетон. Тепловая нагрузка  $Q = 230$  Вт. Совмещение фотографии с интерферограммой по сечению и-и, выхода из испарителя, В – вихри на выходе из испарителя, S – синусоидальное движение основного потока; влажность в указанных областях:  $y_1 \rightarrow \epsilon = 3,8\%$ ,  $y_2 \rightarrow \epsilon = 20\%$ ; б) интерферограммы течения. Настройка интерферометра Маха-Цендера на полосу бесконечной ширины; в) зона конденсации, Д-область ( $dP/dX > 0$ ); г) интерферограмма течения в конденсаторе; д) движение капель в поле аэродинамических и гравитационных сил, тепловая нагрузка  $Q = 200$  Вт; е) конденсатор, парок капельный поток при пуске ТТ на мощность  $Q = 230$  Вт

По данным балансовых измерений для испарителя имеем: осевое число Рейнольдса  $Re = 460$ , радиальное  $Re_r = 30$ . Следовательно, осевой поток необходимо считать ламинарным. На фотографиях оптического «ножа» видим упорядоченную вихревую структуру, а на интерферограмме – неупорядоченную. Данный факт указывает на то, что вдув пара оказывает сильное возмущающее действие на осевой ламинарный поток. Перенос тепла и массы в таком потоке определяется в основном конвекцией (вихрями), а не процессом молекулярной диффузии. Доказательством того, что такое вихревое течение ламинарное по существу, служит мгновенная перестройка вихревых структур на выходе из испарителя. Возмущения (пульсации), созданные процессом вдува, не возрастают по ходу потока, а подавляются вязкими силами. Один вид конвективных течений при вдуве (Z-валы в испарителе) сменяется на другой вид (X-валы в конденсаторе) при отсосе.

Протяженность поперечного переноса моля в нашем случае обусловлена масштабом выявленных вихревых структур. По этой причине для дальнейшего анализа используем методы исследования, изложенные в полуэмпирической теории турбулентности (несмотря на то, что осевое число Рейнольдса явно указывает на ламинарное течение). Наиболее удобно воспользоваться длинной пути перемешивания, введенной Прандтлем.

Бай Ши-И [2] исследовал задачу о турбулентном перемешивании двух газов в плоском канале при постоянной температуре. Если течение стабилизировалось, то для осредненных параметров с учетом приближений пограничного слоя он приходит к следующим соотношениям для коэффициентов турбулентного обмена:

$$\begin{aligned} \text{для диффузии } \varepsilon_c &\equiv l_c v', \\ \text{для вязкости } \varepsilon &= l v', \end{aligned}$$

где  $l_c$  – путь перемешивания для концентрации;  
 $l$  – для вязкости;  
 $v'$  – пульсация скорости вдува.

Расчетным путем в [2] показано, что при  $\varepsilon = \varepsilon_c$  влияние разности плотностей двух газов на параметры перемешивания весьма незначительно.

В эксперименте поддерживалась высокая изотермичность теплообменных плит испарителя. Тогда, согласно [1], осуществлялся равномерный вдув ( $v = \text{const}$ ). В таком процессе пульсации  $v'$  вдуваемого потока должны быть максимальны вблизи фитиля и постоянны вдоль него

( $v'(X) = \text{const}$ ). В поперечном направлении пульсации должны угасать за счет действия вязких сил,  $v'(y) \rightarrow 0$ . Такая картина качественно совпадает с результатами экспериментальных исследований Лауфера [9] по распределению турбулентных пульсаций в плоском канале. Плотности вдуваемого пара и основного потока практически равны. Геометрические размеры вихрей по ходу течения уменьшаются и стабилизируются в пределах  $1/3\delta$ . На этом основании можно положить, что  $l_c = l = 1/3\delta$ ,  $\varepsilon = \varepsilon_c = \text{const}$ . Не пренебрегая молекулярным переносом, коэффициент диффузии для потока в целом запишем так

$$\varepsilon_u + \varepsilon_c = 1/3(\langle u \rangle \lambda + \delta v') = \text{const}.$$

Тогда для массообмена получим

$$m_u = \text{const} (dp/dY) = \text{const}^* dS/dY,$$

для теплообмена

$$q_u = r m_u = r \text{const}^* dS/dY.$$

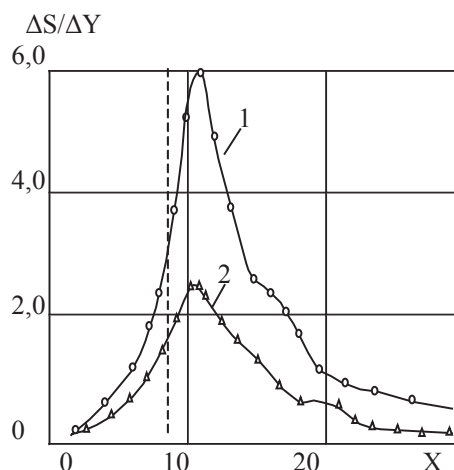


Рис. 2. Оценка процессов вдува при  $T_u = \text{const}$ . Режим по рис. 1: изменение градиентов оптических неоднородностей вдоль фитиля ТТ; 1 –  $Y = 0$ , 2 –  $Y = 1$ ; выход их испарителя  $X = 7,6$ ,  $\Delta S/\Delta Y$ , 1/мм

Следовательно, градиенты оптической неоднородности должны отражать процесс тепло- и массообмена в испарителе ТТ, рис. 2.

Расход массы вдуваемого пара в испарителе описывается как

$$m_u = 2f\pi d\pi \epsilon_f / (2-f) \left[ \frac{\mu}{2\pi R} \right]^{1/2} \left[ \frac{P_u}{\sqrt{T_u}} - \frac{P_n}{\sqrt{T_u}} \right],$$

где  $P_u$  – давление насыщенного пара при температуре поверхности жидкости  $T_u$ ;

$P_n$  – давление пара над поверхностью жидкости.

Пар в испарителе ускоряется, давление пара по ходу потока падает на оси и над поверхностью жидкости, поэтому

$$\frac{P_u}{\sqrt{T_u}} > \frac{P_n(x)}{\sqrt{T_u}}$$



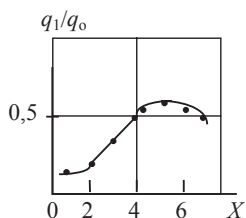


Рис. 3. Неравномерность тепло- и массообмена в испарителе;  $q_0$  при  $Y = 0$ ,  $q_1$  при  $Y = 1$

Отсюда следует, что **изотермичность фитилей испарителя не обеспечивает равномерный вдув.**

Производительность верхней плиты выше нижней. Данное обстоятельство отражает специфику плоских течений. В режимах, превышающих  $Re_r > 6$ , значительны инерционные эффекты в паре. Тепловая нагрузка в эксперименте соответствовала  $Re_r = 30$ . Это и вызвало положительный градиент давления  $dP/dX > 0$ , который привел к возникновению зоны возвратно-вихревого течения в торце конденсатора. Фитиль ТТ разорван по краям рабочего участка окнами модели. Снабжение теплоносителем фитиля верхней плиты с нижней исключается. Через 15 минут после пуска в ТТ завершаются переходные процессы и зона возвратно-вихревого течения стабилизируется в виде сильно вытянутой вихревой структуры вдоль верхней поверхности конденсатора. Если в ТТ присутствует неконденсируемый газ, то этот процесс происходит быстрее. Отношение градиентов

$$(dS/dY)_{Y=1} / (dS/dY)_{Y=0} = q_1/q_0$$

отражает разную производительность и неравномерность вдува от верхней и нижней плит в испарителе по совокупности всех физических процессов в ТТ, рис. 3.

### 2.2. Определение скорости гетерофазных флуктуаций

Причина возникновения капель в паровом потоке исследовалась в [3]. Интерферограммы течения влажного пара позволили определить распределение степени пересыщения пара в поперечных сечениях испарителя. Эти данные послужили основой для расчетной оценки скорости зародышеобразования по формулам (1, 2).

$$J = P^2 V_m / (kT)^2 (1/\rho') \sqrt{2\sigma / (\pi m)} \exp \left\{ -\frac{4\pi\sigma r_{кр}^2}{3kT} \right\},$$

$$r_{кр} = \frac{2\sigma\mu}{\rho' RT \ln(P'' / P''_\infty)}. \quad (1)$$

$$\ln(P'' / P''_\infty) = (2\sigma / r_{кр}) = \frac{m_\mu}{\rho' RT}. \quad (2)$$

Расчеты показали, что для достигнутой степени пересыщения пара на выходе из испарителя  $(P''/P''_\infty) = 1,6$  критический радиус капли, находящейся в термодинамическом равновесии с окружающим паром, равен  $r_{кр} = 22,3 \text{ Е}$ , что соответствует содержанию в капле 160 молекул ацетона. Скорость образования таких капель из самих паров чрезвычайно мала:  $J = 2,7 \text{ Ч } 10^{-13} [1/(m^3 \text{ с})]$ . Значит, капли попали в паровой поток при испарении из фитиля. Размер капель, оцениваемый по фотографиям, превышал 50 мкм. Капли размером менее 22,3 Е труднодоступны для фотографирования. Рост капель в испарителе не наблюдался.

На выходе из испарителя поток обжигался вихревыми структурами до  $1/3\delta$  размеров высоты канала. Плотность капель в этом сечении возрастала, что способствовало дальнейшему увеличению степени пересыщения пара. При попадании в зону теплоотвода (конденсатора) этот процесс обеспечил рост готовых капель. Наблюдаемое на фотографиях увеличение количества капель, очевидно, связано с ростом уже готовых ядер конденсации с  $r > r_{кр}$ .

Следует заметить, что расчет кинетики гетерофазных флуктуаций по методикам М. Фольмера [5] и других авторов не позволяет получить достоверные данные из-за большого количества допущений, не учитывающих тепловыделение при конденсации, начальное состояние капель – находится ли пар в перегретом, насыщенном или переохлажденном состоянии.

### 2.3. Результаты визуализации теньвым методом

Теневые методы широко используются для изучения процессов возникновения ударных волн и скачков конденсации в сверхзвуковых потоках рис. 5, [4].

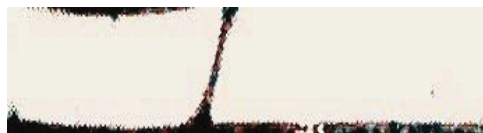


Рис. 4. Скачок оптических неоднородностей при пуске ТТ на установленную мощность в стационарном режиме  $Q = 230 \text{ Вт}$ . Теплоноситель – ацетон.  $T_u = 333 \text{ К}$ ,  $T_k = 293 \text{ К}$



Рис. 5. Скачок конденсации в сверхзвуковом потоке влажного пара (сопло Лавалья); влажность  $(1 - x) = 2,5 \%$ ,  $x$  – степень сухости, результаты из [4]



При пуске ТТ наблюдалась область значительных градиентов оптических неоднородностей на выходе из испарителя, рис. 4.

Подобная картина возникала при наблюдении этого процесса в интерферометре. В этом же месте возникала каустическая линия, из которой, как из источника, выходили интерференционные линии в сторону испарителя и конденсатора, приобретая в завершающей стадии пуска изображение интерферограммы в стационарном режиме.

Эйнштейн и Смолуховский [6] исследовали явление **критической опалесценции** – сильное рассеяние света в окрестности критической точки. Флуктуации плотности в окрестности критической точки становятся очень большими, так как  $\partial P/\partial v$  стремится к нулю. Этим объясняется критическая опалесценция. Линейный размер неоднородности становится больше длины волны  $\lambda$ , и происходит сильное рассеяние света. Следовательно, картина, изображенная на рис. 4, отображает результат процесса объемной конденсации в паровом потоке.

В пусковой период паровой поток максимально пересыщен и переохлажден. В этот момент складывается благоприятная обстановка для возникновения ядер-зародышей новой фазы из самих молекул теплоносителя (гомогенная объемная конденсация). Если в результате флуктуации возникает димеризованная молекула, то необходимая степень пересыщения для развития спонтанной объемной конденсации резко падает. Так, например, необходимая степень пересыщения для возникновения спонтанной объемной конденсации из молекул ацетона, рассчитанная по формуле (2), равна  $\chi = (P''/P''_{\infty}) = 28$ , из димеризованных молекул –  $\chi = 4,22$ . Для очень малых капель  $r < 10E P$ . Толмин [9] получил выражение поправки для  $\sigma$ , которое меньше  $\sigma_{\infty}$  для плоской капли:  $\sigma/\sigma_{\infty} = 1/[(1 + 2\sigma/r)]$ . С учетом этой поправки для димеризованных молекул ацетона получим  $\chi = 2,38$ , что вполне достижимо в процессе пуска. При наличии капель, выброшенных из фитиля испарителя, этот процесс будет значительно облегчен.

На рис. 6 представлены результаты эксперимента по режиму рис. 1. Распределение давления пара в стационарном режиме качественно совпадает с распределением давлений в сверхзвуковом потоке влажного пара, рис. 7. Действительно, в нашем случае имеются признаки объемной конденсации на выходе из испарителя, рис. 1а, но без образования скачка конденсации.

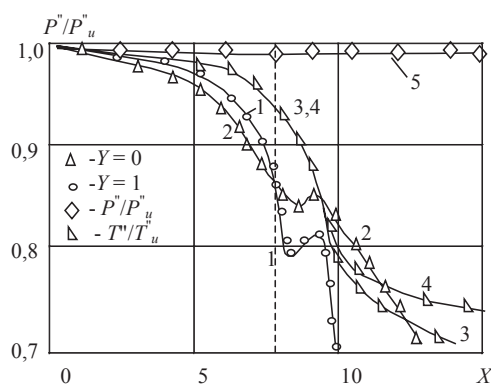


Рис. 6. Распределение параметров влажного пара вдоль нижней  $Y = 0$  и верхней  $Y = 1$  поверхностей фитиля НТТ. Теплоноситель – ацетон. Режим  $Q = 230$  Вт. 1–2 – распределение относительного давления  $P''/P''_u$ ; 1 –  $Y = 1$ , 2 –  $Y = 0$ , по результатам расшифровки интерферограмм 3–4 – относительной температуры  $T''/T''_u$ , 3 –  $Y = 1$ , 4 –  $Y = 0$  по результатам расшифровки интерферограмм; 5 – относительное давление  $P''/P''_u$  по расчету.  $X = 7,6$  – выход из испарителя, показан пунктиром

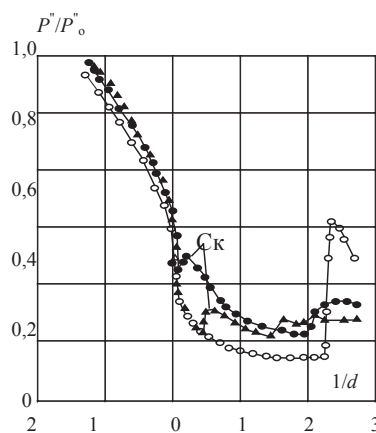


Рис. 7. Изменение относительного давления в сверхзвуковом потоке водяного пара. Сопло Лавала.  $1/d = 0$  – срез сопла. Данные работы [4]. Ск-скачки конденсации:  $\circ$  – перегретый пар на оси;  $\bullet$  – влажный пар на оси,  $y = 3\%$ ;  $\triangle$  – влажный пар на оси,  $y = 14\%$ .  $(1 - x) = y$  – степень влажности

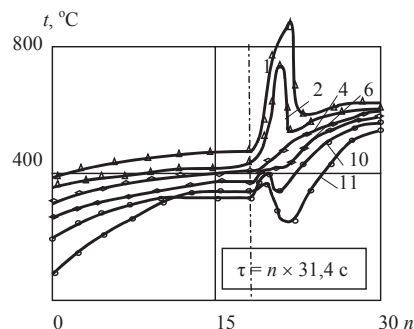


Рис. 8. Фрагмент нестационарного температурного поля при пуске натриевой ТТ из замороженного состояния теплоносителя. Запуск ТТ осуществлялся при установленной мощности радиационного нагревателя  $N_u = 1700$  Вт. В конденсаторе – радиационный сброс тепла на охлаждаемые стенки вакуумной камеры. После переходных процессов произошло восстановление работоспособности ТТ. 1–4 – номера термопар, расположенных в испарителе; 6–11 – номера термопар в конденсаторе;  $t$ ,  $^{\circ}C$ ;  $\tau = n \times 31,4$  с

Это означает, что необходимая степень пересыщения для скачка конденсации в стационарном режиме не была достигнута.

#### 2.4. Потери энергии в скачке конденсации

В энергетических силовых установках основной причиной возникновения скачков конденсации является переохлаждение сверхзвукового парового потока. Эти процессы достаточно хорошо изучены [4]. В ТТ предыстория возникновения скачка конденсации иная. В испарителе пар пересыщен процессом вдува и обогащен капельками жидкой фазы. Перед входом в зону конденсации паровой поток обжимается вихрями. Возникает диффузорно – конфузорное течение дозвукового потока в НТТ. Такое воздействие увеличивает концентрацию капель, значит, пересыщение и влажность возрастают по ходу потока. На выходе из испарителя изменяется знак расходного воздействия (и теплового), что создает необходимую степень пересыщения для развития конденсационного скачка.

В жидкометаллических ТТ границы, создаваемые вихрями, в пределах которых ускоряется сверхзвуковой поток, подобны соплу Лавала. Ван-Андел [7] предположил возможное уменьшение критического сечения в круглой трубе и предложил ввести для расчета звукового предела переносимой мощности коэффициент 0,4. Вопрос о возможности запираания потока в критическом сечении вследствие образования скачка конденсации проанализированы Леви [7]. Из его анализа следует, что скачок конденсации происходит при достижении  $M = 1,25$ , то есть в зоне конденсации в диапазоне температур от  $475^\circ$  до  $650^\circ\text{C}$ . На рис. 8 представлен срыв запуска жидкометаллической ТТ из замороженного состояния теплоносителя. Нестационарное поле температур показывает осушение стенки испарителя, временное прекращение его работы, а затем восстановление работоспособности ТТ. Причиной срыва запуска явилось нарушение соотношения между движущим капиллярным напором и потерями на трение в парожидкостном потоке  $\Delta P_{\text{кап}} < (\Delta P_n + \Delta P_{\text{жс}})$ . По характеру нестационарного температурного поля становится очевидным, что потери в паре стали основной причиной срыва запуска. Кратковременное прекращение работы испарителя создало благоприятную обстановку для восстановления работоспособности, так как в этот момент исчезли потери в паре. После этого капиллярный напор обеспечил приток

жидкого теплоносителя на перегретую стенку ТТ. Теперь есть все основания полагать, что причиной срыва явились не вязкие ограничения, так как температура конденсатора перед срывом была на уровне  $425^\circ\text{C}$  (выше этой температуры наблюдается сплошное течение), а другая причина. Этой причиной мог быть конденсационный скачок.

Влияние скачка конденсации на дозвуковой поток совершенно иное, чем на сверхзвуковой поток. Это объясняет теорема обращения воздействий Вулса. Тем не менее, потери полного давления в паре имеют место в обоих случаях.

Со скачком конденсации в потоке пересыщенного и переохлажденного пара возникают разные виды потерь: потери от переохлаждения, волновые потери (для сверхзвукового потока), потери на трение частиц в двухфазном потоке. Потери от переохлаждения связаны с уменьшением располагаемой кинетической энергии по сравнению с равновесным процессом расширения в зоне влажного пара и необратимостью процессов изменения термодинамических параметров.

Потери энергии в конденсационном скачке можно найти, определив располагаемый перепад энтальпий перед скачком в потоке пересыщенного пара  $H_{01}$  и за скачком  $H_{02}$  по результатам расшифровки интерферограмм для НТТ. Для жидкометаллической ТТ – расчетным путем. Коэффициент потерь энергии в скачке конденсации будет

$$\zeta = 1 - (H_{02}/H_{01}).$$

#### 2.5. Сопоставление экспериментальных данных, полученных в НТТ, с экспериментальными данными, полученными для натриевой ТТ

Реализовать запуск ТТ можно тремя способами: ударный запуск  $Q_u = Q_{\text{стац}} = \text{const}$ , плавный запуск –  $Q_u = f(t)$ , прогрев всей ТТ с последующим теплоотводом в конденсаторе  $Q_{\text{к}} = Q_{\text{стац}} = \text{const}$ . Предпочтителен первый способ.

На рис. 1с представлен парокapельный поток при запуске ТТ первым способом. Разрывы потока и форма его границ обусловлены неустойчивой работой испарителя. В процессе пуска наблюдались интенсивные пульсации под составным фитилем с частичным осушением его и выбросом капель в паровой поток испарителя. С увеличением теплоподвода возрастала частота и амплитуда пульсаций. Фронт жидкой пленки двигался в сторону конденсатора и являлся источником интенсивного выброса капель. После

осушения значительной части фитиля испарителя ~ 60 % фронт возвращался в исходное состояние, завершая период автоколебательного процесса.

На рис. 8 представлен фрагмент нестационарного температурного поля при запуске натриевой ТТ первым способом. Момент срыва показан пунктиром. Показания 10 и 11 термопар, расположенных в конце конденсатора, отражают в этот момент интенсивный теплоприток, что может быть объяснено попаданием в эту область капель, выброшенных испарителем. На рис. 9 представлено нестационарное температурное поле при запуске ТТ с плавным нарастанием подводимой к испарителю тепловой мощности. В области, отмеченной кружком, нетрудно заметить, что термопары 16–18, расположенные за 15 термопарой (ближе к концу зоны конденсации), показывают более высокую температуру в процессе пуска. Относительное расположение этих термопар приблизительно такое же, как и в области Д, отмеченной на рис. 1в. Возможно, здесь имеет место совпадающий эффект повышенного теплоподвода от выпадающих капель из парок капельного потока на нижнюю часть ТТ, подобно тому как это происходило в НТТ, см. рис. 1, область Д. В правом верхнем углу жирным пунктиром показана граница, выше которой происходил срыв запуска ТТ.

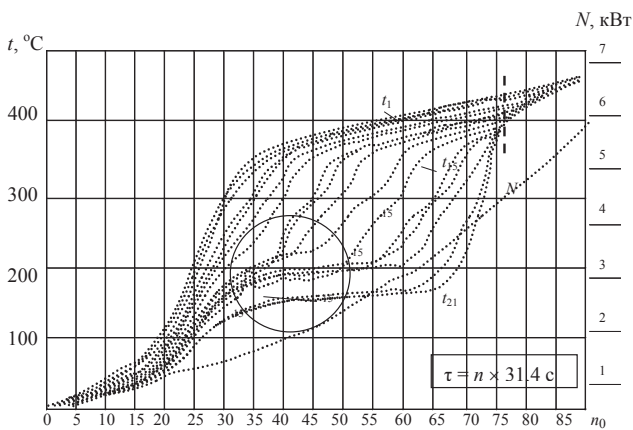


Рис. 9. Нестационарное температурное поле при плавном пуске натриевой ТТ из замороженного состояния теплоносителя.  $t$ , °C,  $\tau = n \times 31,4$  с,  $n$  – номер цикла измерений,  $N$ , кВт. В правом верхнем углу жирным пунктиром указана граница, выше которой происходит срыв запуска ТТ

Значительные перегревы зоны испарения перед срывом могли вызвать выброс капель из фитиля испарителя натриевой ТТ аналогично тому, как это происходило в НТТ. Наличие таких капель облегчает процесс зарождения новых

ядер конденсации и способствует развитию скачка конденсации.

### Выводы

1. Интерферометрическим методом выявлены распределения плотности влажного пара в нестационарных условиях [4].
2. Методом светового «ножа» обнаружены частицы жидкой фазы в паровом потоке НТТ. Треки этих частиц позволили обнаружить и изучить вихревые структуры в испарителе и конденсаторе ТТ. Установлен факт гетерогенной объемной конденсации в паровом потоке в стационарном режиме.
3. Выявлен скачок объемной конденсации при пуске НТТ.
4. Основным фактором зарождения процессов объемной конденсации явились капли, выброшенные из фитиля испарителя.
5. Разработаны и реализованы методы расшифровки интерферограмм.
6. Получены распределения степени пересыщения парового потока поперек и по ходу течения пара в ТТ.
7. Объективная оценка параметров состояния парового потока должна включать два независимых параметра:

- степень пересыщения пара  $P_s$ ,
- влажность пара  $y = (1 - x)$ .

### Библиографический список

1. Жидкометаллические теплоносители тепловых труб и энергетических установок / П.И. Быстров, Д.Н. Каган, Г.А. Кречетова и др. – М.: Наука, 1988. – 263 с. ISBN 5-02-0065888-9.
2. Бай Ши-И. Турбулентное течение жидкостей и газов / Бай Ши-И. – М.: Изд-во иностр. литер. 1962. – 344 с.
3. Шульц, А.Н. Механизмы переноса тепла, массы и импульса в испарительно-конденсационных теплообменниках / А.Н. Шульц // Лесной вестник. – 2000. – № 2(11). – С. 32–38.
4. Дейч, М.Е. Газодинамика двухфазных сред / М.Е. Дейч, Г.А. Филиппов. – М.: Энергия, 1968. – 422 с.
5. Вегенер, П.П. Конденсация в сверхзвуковых и гиперзвуковых аэродинамических трубах / П.П. Вегенер, Л.М. Мак // Проблемы механики. – Вып. III. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961.
6. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Оптика: учебное пособие. – 2-е изд., испр / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1985. – 752 с.
7. Ивановский, М.Н. Физические основы тепловых труб / М.Н. Ивановский, В.П. Сорокин, И.В. Ягодкин. – М., 1978.
8. Tolmin R. C., J. Chem. Phys., 1949. № 17.
9. Laufer J., Investigation of turbulent flow in a two dimensional channel, NASA TN № 2123, also TR 1053, 1951.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО СПРОСА НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСЛУГИ НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ О СРЕДНИХ ДОХОДАХ ЖИТЕЛЕЙ Г. КОРОЛЕВА

В.М. КУРЗИНА, *доц. каф. высшей математики МГУЛ, канд. техн. наук,*  
П.А. КУРЗИН, *ст. преп. каф. высшей математики*

**В** настоящее время задача заключается в необходимости исследования зависимости спроса на образовательные услуги от предложения, численности населения определенного возраста, уровня образования и уровня доходов населения в областях, определяющих спрос на образовательные услуги в данном регионе, и построения адекватной математической модели.

Рассматривая зависимость спрос-предложение образовательных услуг для жителей г. Королева Московской области, авторы опирались на тот факт, что известен среднегодовой доход на душу населения этого города и что потребители могут (готовы) использовать на образование до 30 % своих доходов. При численности населения в возрасте 16–28 лет, составляющей 13 000 человек, для этого города рынок потребления образовательных услуг не превышал в 2005/2006 учебном году 6 400 человек (45 % от общего числа желающих получить образование имеют для этого возможность). При этом в последнее время увеличилось число абитуриентов старше 28 лет, для которых вопрос получения диплома о высшем образовании поставлен руководством в связи с тем, что они занимают соответствующую должность, но не имеют документального подтверждения своей квалификации. Этот сегмент образовательных услуг еще не исчерпал себя и в условиях рыночной экономики, направленной на тотальное изменение профессиональной ориентации работников, скорее всего не исчерпает себя еще длительное время. Сокращение численности армии и переход на сокращенные сроки службы для солдат может привести к тому, что появится спрос на дистанционные образовательные услуги и неочные формы обучения. При этом потеря уровня школьной подготовки, которой достигают выпускники школ на момент окончания школы, приводит к необходимости восстановления знаний школьной программы, а следовательно, должен повышаться спрос на образовательные услуги, предназначенные для этого или позволяющие проверить уровень знаний до проведения вступительных экзаменов в вуз.

В зависимости от пожеланий и материальной обеспеченности абитуриента комплекс современных образовательных услуг может включать в себя следующие формы: консультации, практические занятия, различного вида тестирования, пробные экзамены, дистанционные тесты и контрольные, а также различного уровня обучающие программы или методические материалы различного вида. Все эти формы образовательных услуг предлагаются в настоящее время образовательными учреждениями различных направлений и видов обучения. Как правило, абитуриент стремится проверить свои знания именно в том вузе, который выбрал для себя как наиболее привлекательный.

Так, в 2004 г. спрос на комплекс платных дополнительных услуг одного из пяти расположенных вблизи г. Королева вузов, а именно МГУЛ, составил 4 000 условных учетных единиц, а по Централизованному тестированию – 2 000 условных учетных единиц. Условной учетной единицей считается полный комплекс проведенных образовательных мероприятий для одного абитуриента, в который включались тренинг и тестирование по трем предметам. Примерно таким же был спрос и на образовательные услуги в период проведения приемных экзаменов. В 2005 г. величина спроса несколько увеличилась и составила 4 200 по дополнительным платным услугам и 2 189 – по Централизованному тестированию.

На спрос образовательных услуг влияет демографическая ситуация. «Россия переживает демографическое опустошение, беспрецедентное среди индустриально развитых стран», – констатирует московское представительство Всемирного банка (ВБ), опубликовавшее свой доклад в декабре 2005 года. С 1992 по 2003 год численность населения России сократилась со 149 млн до 143 млн человек. При сохранении таких тенденций в течение следующих 50 лет население сократится более, чем на 30 %. Россия – одно из немногих государств в мире, где наблюдается снижение ожидаемой продолжительности жизни. Продолжительность жизни в СССР и США



40 лет назад была одинаковой, а сегодня вероятность того, что 15-летний мальчик не доживет до 60 лет, в России составляет 40 %. Население России сокращается в основном за счет его мужской части. Согласно статистике, российские мужчины более подвержены сердечно-сосудистым заболеваниям, чаще попадают в ДТП, погибают от насильственных деяний и самоубийств. Средняя продолжительность жизни российского мужчины (58 лет) на 14 лет меньше, чем женщины.

Оценки темпов прироста населения [1] прогнозируют убыль населения России в период с 2005 г. по 2025 г. на 10–15 %, т.е. в среднем на 0,5–0,75 % в год. Естественно предположить, что спрос на образовательные услуги также будет снижаться в этот период, причем в той мере, в какой на него влияет численность населения определенной возрастной группы. В то же время спрос на образовательные услуги определяется не только количеством населения в возрасте от 17 до 35 лет, но и доходами населения, а также востребованностью специалистов в экономике страны. На фоне растущих доходов россиян появилась категория обучающихся на платной основе лиц старше 45 лет, получение диплома для которых становится необходимым для сохранения рабочего места или для их карьерного роста в новых экономических условиях. Поэтому в последние несколько лет, несмотря на прогнозы по уменьшению количества абитуриентов, связанного с уменьшением количества выпускников школ, училищ, колледжей, реальные цифры количества поданных заявлений растут. Увеличивается количество лиц, получающих образование по заочной форме обучения. В условиях планового сокращения числа мест, финансируемых из бюджета, происходит «выдавливание» части абитуриентов в сектор платного образования. При этом при совпадении наименования специальностей и «престижности» вуза приоритетом у мужской части населения пользуются вузы с военной кафедрой и меньшей суммой оплаты за обучение. Таким образом, в ближайшие годы вряд ли существенно уменьшится спрос на образовательные услуги, тем более что все большее число молодых специалистов требуется на производстве.

Наряду с пессимистическими прогнозами о судьбе населения России появились работы других аналитиков, которые оценивают будущую демографическую ситуацию в России в более оптимистическом ключе. Институт мировой

экономики и международных отношений РАН (ИМЭМО), Торгово-промышленная палата РФ и Фонд перспективных исследований и инициатив представили новый прогноз развития мира и России на 2006 г., в котором отмечают [3], что в 2004 г. произошел перелом в демографическом развитии России. Впервые с 1990 г. смертность населения сократилась до 15,9 человека на тысячу населения при одновременном росте рождаемости (рост начался в 2000 г.). В 2005 г. наблюдалось колебание – смертность снова возросла до 16,2 человека, что тем не менее ниже, чем в 2003 г. В целом неопределенность в динамике этого важнейшего показателя будет сохраняться несколько ближайших лет. Но в дальнейшем прогнозируется улучшение демографической ситуации в России, поскольку улучшается материальное положение молодежи, становятся более доступными достижения современной медицины, наметились улучшения в проводимой социальной политике.

При сохранении спроса на платные образовательные услуги и тенденции снижения численности выпускников школ в 2006 г. следует ожидать меньшего числа абитуриентов, которые изъявят желание получить платные образовательные услуги. Тем не менее, при учете инфляции 2005 г. (на начало января 2006 г. она оценена цифрой 10,9 % [2]) и росте доходов населения, показанном на конец 2005 г. в размере 10 % (реальные доходы), или 12,2 % (розничная торговля), или 13,2 % (банковские вклады и покупка валюты населением) [3], следует ожидать, что спрос на образовательные услуги в 2006 г., по крайней мере, сохранит свои тенденции изменения.

Согласно данным, размещенным на сайте приемной комиссии МГУЛ, средний конкурс в целом по всем специальностям в 2004 г. составил 2,38 чел./место. Поскольку в 2004 г. зачислено 875 человек, то можно считать, что база для оказания платных образовательных услуг составляла в 2004 г.  $\approx 1210$  человек, аналогичные расчеты дают следующие результаты: в 2003 г. – 1114, в 2002 г. – 1000 человек. На основании этих данных временную зависимость числа абитуриентов можно представить следующими функциями спроса, полученными с помощью линейной регрессии на основании временного ряда за последние 5 лет:

полиномиальная функция спроса

$$F(x) = -9x^2 + 141x + 868, R^2 = 1;$$

логарифмическая функция спроса

$$F(x) = 188,28 \ln(x - 1) + 995,56, R^2 = 0,9899;$$

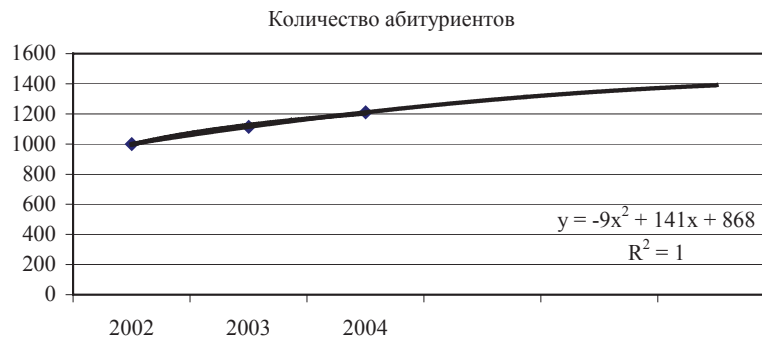


Рисунок. Полиномиальная модель функции спроса

степенная функция спроса

$$F(x) = 997,4(x - 1)^{0,1716}, R^2 = 0,9946;$$

показательная функция спроса

$$F(x) = 912,93e^{0,0953(x-1)}, R^2 = 0,9942,$$

где  $x$  – значение последней цифры года, уменьшенной на единицу.

Нетрудно заметить, что наиболее достоверным является моделирование функции спроса при помощи полиномов. На основании полученных результатов оптимизации функции спроса в 2006 г. можно ожидать, что число абитуриентов, желающих получить платные образовательные услуги, составит от 1390 до 1470 человек.

Функции спроса получились возрастающие при рассматриваемых изменениях аргумента. Исследуем изменение эластичности полученных функций спроса в течение последующих лет.

Для полиномиальной функции спроса эластичность равна

$$E_x(F) = 2 + \frac{141x + 1736}{9x^2 - 141x - 868}.$$

Причем для любых значений аргумента эластичность функции спроса больше единицы, т.е. имеет место эластичный спрос. Согласно теории ценообразования при эластичном спросе большая прибыль может быть получена даже при некотором снижении цены услуг.

Для логарифмической функции спроса эластичность равна

$$E_x(F) = \frac{188,28x}{(188,28 \ln(x-1) + 995,56)(x-1)}.$$

Для всех лет начиная с 2002 г. эластичность менее единицы и спрос неэластичен.

Для степенной функции спроса эластичность равна

$$E_x(F) = \frac{0,1716x}{x-1}.$$

Для всех лет начиная с 2002 г. эластичность менее единицы и спрос неэластичен.

Для показательной функции спроса эластичность равна

$$E_x(F) = 0,0953x.$$

Для 2006–2010 годов спрос оказывается неэластичным. Спрос становится эластичным только с 2011 года.

Таким образом, на современном этапе рынок образовательных услуг еще далек от своего становления. Тем не менее полиномиальная функция в силу своей эластичности позволяет с определенной долей уверенности прогнозировать спрос вне зависимости от цены.

Итак, на данном этапе развития ситуации со спросом на образовательные услуги для функции спроса рекомендуется использовать полиномиальную модель, график которой представлен на рисунке.

Хотя согласно полиномиальной модели спроса цену на платные образовательные услуги можно изменять в сторону ее увеличения, темпы роста цены ограничены темпами роста среднего дохода на душу населения и не могут превышать их. В настоящее время существует конкуренция в предложении различных платных услуг, и неразумная политика предложения платных образовательных услуг может привести к уменьшению их спроса там, где потребитель может выбирать подходящий ему уровень цен при равных уровнях качества – по его оценкам.

Не малую роль играет здесь и скрытая антиреклама, в которой выпускники какого-либо вуза объявляются недостаточно качественными специалистами или которым якобы отказывают при приеме на работу «уважающие себя фирмы». На выбор конкретного потребителя влияет выбор других потребителей (мода, обычаи, амбиции) и реклама. Степень этого влияния различна и трудно представима количественно. Повышение цены на платные образовательные услуги не повлияет на спрос в том случае, когда реальность подтверждает востребованность специалистов, выпускае-

мых институтом, что должно быть подкреплено статистикой профессионального продвижения и наличия работающих крупных специалистов в известных местному населению организациях.

Кроме того, спрос на платные образовательные услуги может увеличиться, поскольку начинает возрождаться ряд отраслей промышленности, особенно ВПК, следовательно, для них нужно будет выпускать специалистов, например дизайна, электроники и системного программирования. Здесь уже заинтересованные предприятия могут пойти на оплату обучения именно тех специалистов, которые им требуются. При этом необходимо дополнять программные курсы новыми, не входящими в обязательную программу обучения, дающими знания по тем дисциплинам, которые требуются для специалистов направленного образования.

Полученные представления функции спроса справедливы при рассмотрении как единого целого всего ансамбля потребителей такого

среднестатистического рынка потребителей, каковым является население г. Королева. В результате более или менее осознанного выбора элементарных потребителей (домохозяйств), действующих в соответствии со своими предпочтениями, бюджетными возможностями, взаимовлиянием и воздействием других факторов, формируется рыночный спрос. При нормальной общеэкономической ситуации выявление реального представления функций спроса на платные образовательные услуги поможет формировать инвестиционную политику, адекватную задачам социально ориентированной экономики смешанного типа.

#### Библиографический список

1. Короп, Е. Рост кровяного давления опережает рост ВВП. Источник: ООН, база данных по населению / Е. Короп // Профиль. – 2005. – № 46.
2. «Российская газета», № 2 от 11 января 2006 года.
3. Дынкин, А. Россия и мир: 2006 / А. Дынкин, В. Барановский // Профиль. – 2006. – № 01.

### КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ПРОЦЕССОВ ПРОДАЖ ПРОДУКЦИИ КОМПАНИИ

В.Г. ДОМРАЧЕВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук*,  
О.М. РОЩУПКИН, *соискатель каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ*

При решении задач прогнозирования и управления процессами продаж продукции перед компаниями возникает необходимость в изучении обобщенного процесса продаж как единого целого для множества покупателей (потенциальных и реальных). В ходе анализа выяснилось, что в CRM-системах (автоматизированных системах продаж) имеется упрощенная аналитика для изучения процессов продаж на микроуровне, ориентированная на сопровождение каждого процесса продаж. Даже в продвинутых системах отсутствует технология для анализа и прогноза процесса продаж на макроуровне как процесса с уникальными характеристиками и параметрами.

Вместе с тем, в действующих CRM-системах (в банках, торговых компаниях и др.) постоянно накапливается первичная информация по индивидуальным процессам продаж продукции и услуг для многих сотен и тысяч клиентов [1]. Поэтому нетрудно с помощью прикладной статистики провести ее обобщение и выявить сложившиеся (статистические) закономерности развития процессов продаж на основе «закона больших чисел». Однако это только часть решения данной

проблемы, т.к. статистическое обобщение еще недостаточно для прогнозирования процессов продаж на макроуровне, в том числе для эффективного управления продажами на реальном рынке.

Цель работы – изложение методических аспектов создания и применения новой технологии для прогнозирования макропроцесса продаж компании на примере воронки продаж типа PSEIRF.

#### Компьютерная технология

В 2002 г. авторами был предложен и затем опубликован принципиально иной подход к отображению процесса продаж – процесс продаж на макроуровне [2]. Главная идея этого подхода – применение метода научной аналогии [3] в совершенно разнородных макропроцессах: 1) развития продаж вне и внутри виртуальной воронки продаж; 2) течения идеальной жидкости вне и внутри физической воронки.

Такая аналогия открывает возможности применения теоретического и математического аппарата гидродинамики в решении прикладной проблемы, когда развитие процесса продаж на

макроуровне удастся описать уравнениями движения условной жидкости, состоящей из множества «интеллектуальных частиц» – клиентов или покупателей вне и внутри воронки продаж.

В качестве примера иллюстрации подхода приведем описание виртуальной воронки продаж типа PSEIRF и ее математической модели,

- где  $P$  – потенциальные покупатели продукции (вне воронки);  
 $S$  – чувствительные к продукции покупатели (вне воронки);  
 $E$  – покупатели в начальной стадии воронки продаж (изучение «сильных и слабых» сторон продукции) компании (на входе и внутри воронки);  
 $I$  – покупатели в заключительной стадии воронки продаж (согласования условий договора купли-продажи внутри и на выходе воронки);  
 $R$  – покупатели, оплатившие продукцию компании (вне воронки);  
 $F$  – покупатели, отказавшиеся от продукции по разным причинам (вне воронки).

Процесс движения условной жидкости из множества «интеллектуальных частиц» как вне, так и внутри этой воронки идет по схеме  $P \rightarrow S \rightarrow E \rightarrow I \rightarrow (R, F)$ , что имеет полную аналогию с процессом движения идеальной жидкости в физической воронке той же структуры. В гидродинамике при решении прикладных задач часто используются математические модели движения жидкости, которые отвечают уравнениям Эйлера для идеальной жидкости [4]. Если опустить некоторые теоретические подробности и упрощения в системе уравнений Эйлера, то применительно к виртуальной воронке продаж типа PSEIRF можно получить систему уравнений ее макромодели.

В общем случае это система нелинейных интегродифференциальных уравнений в частных производных с характерными начальными и граничными условиями процесса продаж [3]. Ввиду высокой сложности данной модели при изучении ее свойств нам потребовалась разработка специальной компьютерной технологии, которая включает следующие этапы:

- 1) накопление и систематизацию первичной информации об индивидуальных процессах продаж (микроуровень), которая осуществляется средствами CRM-систем;
- 2) специальную обработку первичной информации и формирование обобщенной ин-

формации о процессах продаж (макроуровень), которая обеспечивает верификацию параметров и функций макромодели процесса продаж;

- 3) оценку характеристик и параметров макромодели обобщенного процесса продаж по вторичной информации;
- 4) анализ и прогноз обобщенного процесса продаж путем численного решения уравнений верифицированной макромодели с помощью метода сеток [5].

### Математическая модель воронки продаж типа PSEIRF

Рассмотрим процесс продаж продукции компании в виде воронки с 6-ю стадиями-состояниями, структура которой показана на рис. 1.

При отображении обобщенного процесса продаж согласно схеме (рис. 1) нами использовались следующие обозначения:

- $t$  – календарное время (дни);
- $\tau$  – время для каждого покупателя, прошедшее с момента входа в воронку (дни);
- $T$  – максимальная длительность пребывания покупателей в воронке (ось по  $\tau$ );
- $p(t)$  – плотность распределения потенциальных покупателей по оси  $t$  в состоянии ( $P$ );
- $x(t)$  – плотность распределения «чувствительных» покупателей по оси  $t$  в стадии ( $S$ );
- $\alpha$  – доля «чувствительных» покупателей  $x(t)$  среди потенциальных  $p(t)$ ;
- $u(\tau, t)$  – плотность распределения покупателей по  $(\tau, t)$  в стадии ( $E$ );
- $y(\tau, t)$  – плотность распределения покупателей по  $(\tau, t)$  в стадии ( $I$ );
- $r(t)$  – плотность распределения покупателей по  $t$  в стадии ( $R$ );
- $z(t)$  – плотность распределения покупателей по  $t$  в стадии ( $F$ );
- $\rho$  – интенсивность работы отдела маркетинга среди потенциальных покупателей по продвижению продукции;
- $\lambda$  – интенсивность работы отдела маркетинга среди чувствительных покупателей по продвижению продукции;
- $\{\gamma(\tau)d\tau, \delta(\tau)d\tau\}$  – вероятности завершения макропроцесса продаж в стадиях ( $E, I$ ) воронки соответственно;
- $(a, b)$  – параметры «эффektivности» работы отдела продаж с покупателями внутри воронки (% выхода покупателей из «воронки» без приобретения продукции).



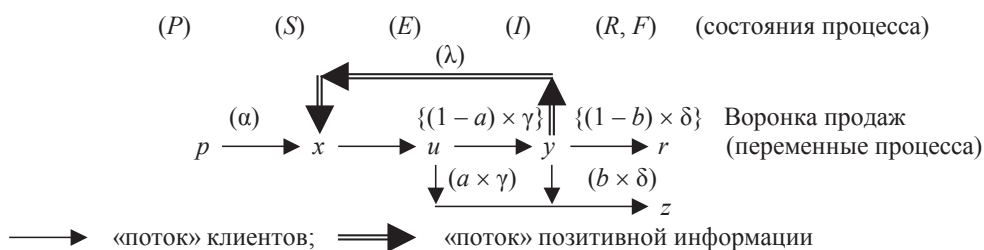


Рис. 1. Структура обобщенного процесса продаж типа PSEIRF:  $p$  – потенциальные покупатели (вне воронки);  $x$  – чувствительные к продукции компании покупатели (вне, но уже около входа в воронку);  $u$  – покупатели в стадии изучения «сильных и слабых» сторон продукции компании (на входе и внутри воронки);  $y$  – покупатели в стадии согласования условий договора на продукцию (внутри и на выходе воронки);  $r$  – покупатели, оплатившие продукцию компании (вне воронки);  $z$  – покупатели, отказавшиеся от продукции по разным причинам (вне воронки).

С учетом этих обозначений математическая модель развития процесса продаж для воронки типа PSEIRF имеет вид

$$1) dp(t)/dt = -\rho * p(t);$$

начальное условие  $p(t_0) = p(t_0)$ ;

$$2) dx(t)/dt = \mu * p(t) - u(0, t) =$$

$$= \mu * p(t) - \lambda * \{x(t)/p(t)\} * \int_0^T y(\tau, t) d\tau;$$

начальное условие  $x(t_0) = \alpha * p(t_0)$ ;

$$3) \partial u(\tau, t)/\partial \tau + \partial u(\tau, t)/\partial t = -\gamma(\tau) * u(\tau, t);$$

начальное условие  $u(\tau, t_0) = u(\tau)$ ;

$$4) \partial y(\tau, t)/\partial \tau + \partial y(\tau, t)/\partial t =$$

$$= + (1 - a) * \gamma(\tau) * u(\tau, t) - \delta(\tau) * y(\tau, t);$$

начальное условие  $y(\tau, t_0) = y(\tau)$ ;

$$5) dz(t)/dt = \int_0^T \{a * \gamma(\tau) * u(\tau, t) + b * \delta(\tau) * y(\tau, t)\} d\tau;$$

начальное условие  $z(t_0) = z_0$ ;

$$6) dr(t)/dt = \int_0^T \{(1 - a) * \gamma(\tau) * u(\tau, t) + (1 - b) * \delta(\tau) * y(\tau, t)\} d\tau;$$

начальное условие  $r(t_0) = r_0$ ;

7) граничные условия процесса

$$u(0, t) = \lambda * \{x(t)/p(t)\} * \int_0^T y(\tau, t) d\tau; y(0, t) = 0;$$

8) оценки числа покупателей внутри «воронки» продаж

$$u(t) = \int_0^T u(\tau, t) d\tau; y(t) = \int_0^T y(\tau, t) d\tau.$$

### Вычислительный алгоритм макромоделли продаж

На первый взгляд, при изучении свойств системы уравнений (1–8) возникают определенные трудности, т.к. ее аналитическое решение отсутствует, а реализация вычислительного алгоритма имеет характерные особенности. Однако после ее анализа стало ясно, что при переходе от непрерывных уравнений по  $(\tau, t)$  к разностной

схеме ( $\Delta\tau, \Delta t$  – определение последующего состояния системы через предыдущее) достаточно знать значения неизвестных функций воронки продаж –  $\{p(t), x(t), u(\tau, t), y(\tau, t), z(t), r(t)\}$  лишь в узкой области значений  $0 \leq \tau \leq T$  (из-за соответствующих интегралов в правых частях). Иначе говоря, двумерная задача сводится к квазиодномерной, при этом все расчеты проводятся вдоль длинного «полотна задачи» по календарному времени  $t_0 < t < t_1$ , имеющему ширину  $0 < \tau < T$ . Кроме того, из физической интерпретации макропроцесса можно видеть, что  $\Delta\tau = \Delta t = 1$  (время однородно как внутри, так и вне воронки), что весьма существенно при реализации разностной схемы.

Исходя из этого был реализован вычислительный алгоритм для решения системы уравнений (1–8) по двум циклам расчетов по  $(\tau, t)$  – «внутреннему» и «внешнему» циклам:

– по «внутреннему» циклу интегрируются уравнения 3 и 4 с шагом  $\Delta\tau = 1$  или  $\tau = \tau + \Delta\tau$ , в области значений  $0 \leq \tau \leq T$  при постоянном календарном времени  $t = \text{const}$ ;

– по «внешнему» циклу интегрируются уравнения (1,2) и (4–7) с шагом  $\Delta t = 1$  по  $t = t + \Delta t$ , в области значений  $t_0 \leq t \leq t_1$ , где  $t_1$  – горизонт прогнозирования продаж.

Можно видеть, что эффективное прогнозирование макропроцесса продаж (численное решение всей системы уравнений) выполняется только тогда, когда эта модель была верифицирована, т.е. «наполнена» экспериментальными значениями параметров –  $\{T, \rho, (a, b), (\alpha, \lambda), \gamma(\tau), \delta(\tau)\}$  и функций –  $\{\gamma(\tau), \delta(\tau)\}$  в соответствии с исходной информацией.

### Процедура верификации модели

Определение «свободных» параметров и функций макромоделли  $\{T, \rho, (a, b), (\alpha, \lambda), \gamma(\tau), \delta(\tau)\}$  проводится по вторичной (ежедневной) информации  $\Delta t = \Delta\tau = 1$  для обобщенных наблюде-

ний –  $\{fu(\tau), fy(\tau), fr(\tau), fz(\tau)\}$ , которые формируются на втором этапе по вторичной информации  $\{fu(\tau), fy(\tau), fr(\tau), fz(\tau)\}$  с помощью несложных вычислений и формул. Так, из определения функции вероятности  $\gamma(\tau)\Delta\tau$  завершения процесса для состояния (E) имеем  $\gamma(\tau)\Delta\tau = \{fu(\tau + \Delta\tau) - fu(\tau)\} / fu(\tau)$ , откуда получаем формулу для расчета функции –  $\gamma(\tau) = (\Delta fu / \Delta\tau) / fu(\tau)$ . Аналогичное соотношение имеем для оценки вероятности завершения процесса для состояния (I) –  $\delta(\tau) = (\Delta fr / \Delta\tau) / (1 - b) \times fy(\tau)$ . Параметры модели  $\{T, \rho, (a, b)\}$  вычисляются непосредственно по вторичной информации, приведенной в таблице.

Параметры  $(\alpha, \lambda)$  оцениваются по специальному алгоритму исходя из дополнительного условия  $(\alpha * \lambda) = \text{const} = 1 / \sum \{\mu(\tau) \times fy(\tau)\}$ , где:  $\mu(\tau)$  – прогрессия роста числа покупателей, которые впервые попали в «воронку» –  $u(0, t)$ .

### Прогнозирование процесса продаж компании

Согласно новой технологии после завершения этапа верификации следуют расчеты по прогнозированию макропроцесса продаж –  $\{u(t), y(t), r(t), z(t)\}$  на перспективу.

На рис. 2 приведены расчетные графики прогноза продаж компании при следующих

начальных условиях: 1) число потенциальных клиентов на рынке  $p = 10$  тыс. чел.; 2) доля восприимчивых клиентов к продукции компании  $\alpha = 0,30$  (30 %); 3) начальное число покупателей при запуске новой продукции на рынке  $u(\tau, t0) = 10$  чел.; 5) начальное число покупателей внутри «воронки продаж» –  $y(\tau, t0) = 0$  чел.; 6) начальное число покупателей на выходе «воронки продаж»  $r(t0) = z(t0) = 0$  чел.; 7) начальное значение эффективности работы отдела маркетинга  $\lambda = (\text{const} / \alpha) = 0,75$ .

Из прогноза следует, что за 2 года работы после начала продаж (в пилотном проекте было 10 первых единиц продукции) компания может успешно продать на рынке до 650 единиц и получить общий доход в объеме до 6,5 млн у.е. (при стоимости единицы продукции в 10 тыс. у.е.). Из «воронки продаж» выпало около 150 покупателей по разным причинам, что эквивалентно потере 1,5 млн у.е. (недоработки отдела продаж).

Однако, если отдел маркетинга компании повысит интенсивность и качество своей работы ( $\lambda \rightarrow 0,80$ ) на 90-ый день после начала продаж новой продукции, компания сможет продать дополнительно еще 432 единицы продукции, т.е. получить доход в 4,32 млн у.е. (рис. 3).

Т а б л и ц а

### Вторичная информация $\{fu(\tau), fy(\tau), fr(\tau), fz(\tau)\}$ и оценки функций $\{\gamma(\tau), \delta(\tau)\}$

Дни, $\tau$	$fu(\tau)$	$\Delta fu(\tau) / \Delta\tau$	$fy(\tau)$	$fr(\tau)$	$\Delta fr(\tau) / \Delta\tau$	$fz(\tau)$	$\gamma(\tau)$	$\delta(\tau)$
0	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	1,0000	-0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1250	0,0000
8	0,8750	-0,2188	0,1125	0,0000	0,0000	0,0125	0,2500	0,0000
9	0,6563	-0,2461	0,3094	0,0000	0,0000	0,0344	0,3750	0,0000
10	0,4102	-0,2051	0,5309	0,0000	0,0000	0,0590	0,5000	0,0000
11	0,2051	-0,1282	0,7154	0,0000	0,0000	0,0795	0,6250	0,0000
12	0,0769	-0,0577	0,8308	0,0000	0,0000	0,0923	0,7500	0,0000
13	0,0192	-0,0168	0,8827	0,0000	0,0000	0,0981	0,8750	0,0000
14	0,0024	-0,0024	0,8978	0,0000	0,0253	0,0998	1,0000	0,0313
15	0,0000	0,0000	0,8719	0,0253	0,0981	0,1028	0,0000	0,1250
16	0,0000	0,0000	0,7629	0,1234	0,1931	0,1137	0,0000	0,2813
17	0,0000	0,0000	0,5483	0,3165	0,2467	0,1352	0,0000	0,5000
18	0,0000	0,0000	0,2742	0,5633	0,1774	0,1626	0,0000	0,7188
19	0,0000	0,0000	0,0771	0,7406	0,0607	0,1823	0,0000	0,8750
20	0,0000	0,0000	0,0096	0,8013	0,0084	0,1890	0,0000	0,9688
21	0,0000	0,0000	0,0003	0,8097	0,0003	0,1900	0,0000	1,0000
T= 22	0,0000	0,0000	0,0000	0,8100	0,0000	0,1900	0,0000	0,0000

Оценка параметра « $\rho$ » проводится в результате обследования рынка отделом маркетинга компании.

Оценка параметра « $a$ »  $fz(t) \rightarrow a = 0,10$ ; далее  $(1 - a) = 0,90$ ;

Оценка параметра « $b$ »  $fr(t) \rightarrow (1 - a) * (1 - b) = 0,81$ ; далее  $(1 - b) = 0,90$ ; или  $b = 0,10$

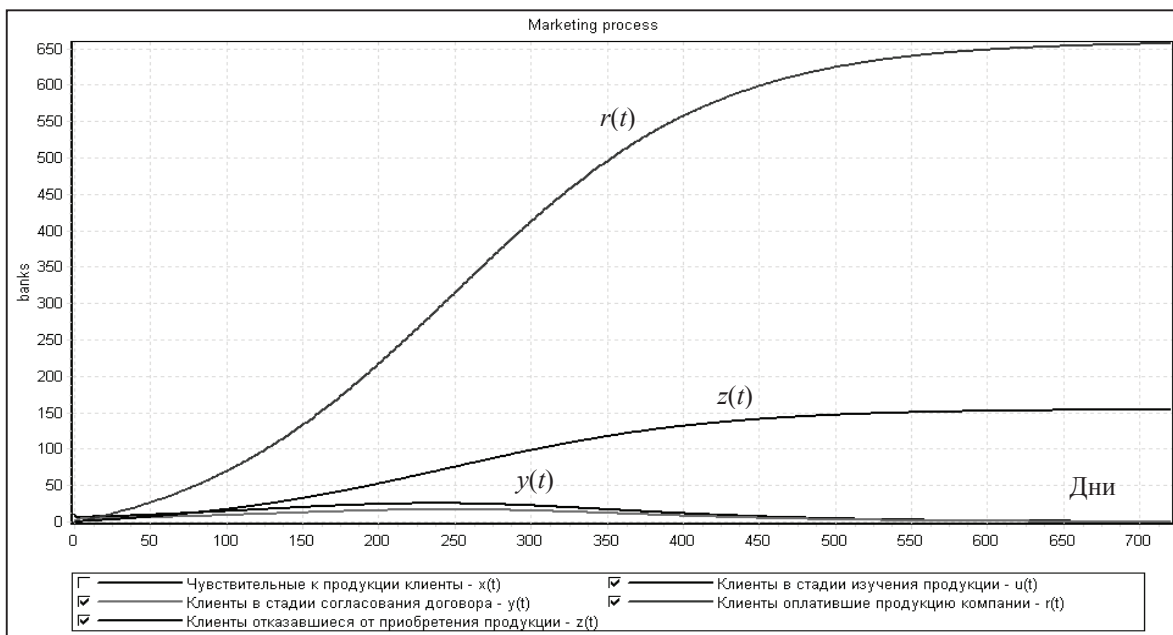


Рис. 2. Прогноз процесса продаж продукции компании на 2 года ( $\lambda = 0,75$ )

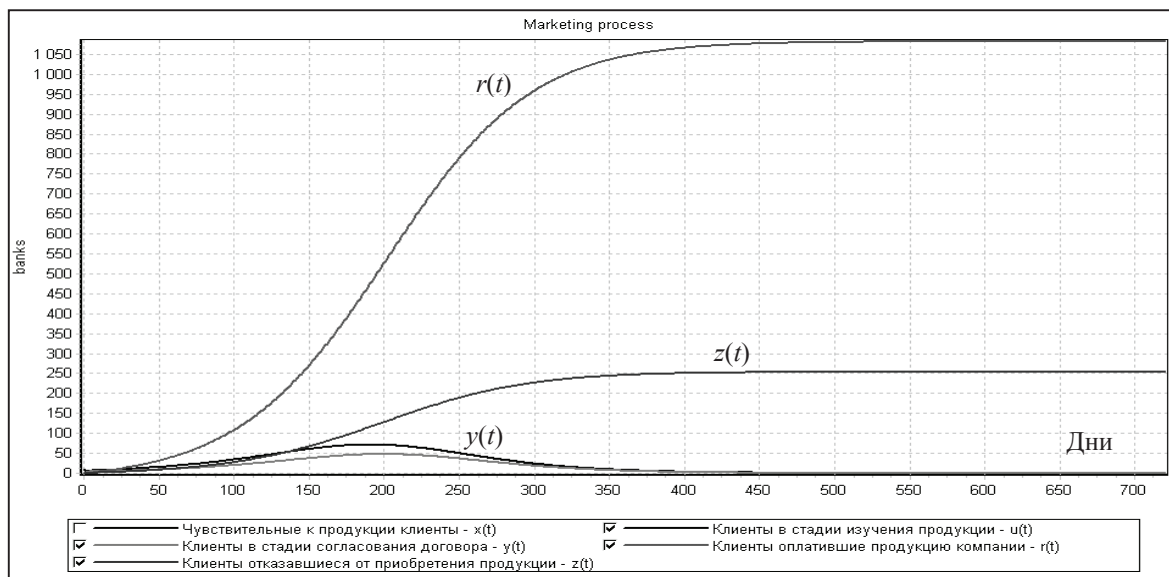


Рис. 3. Прогноз процесса продаж при улучшении работы маркетинга ( $\lambda = 0,80$ )

Таким образом, при отсутствии серьезных ограничений на «пропускную» способность воронки продаж по внутренним ее стадиям-состояниям ( $E, I$ ) существует возможность в организации более эффективной работы отделов маркетинга и продаж. Например, повышение к.п.д. работы отдела маркетинга на 6,67 % (увеличение с  $\lambda = 0,75$  до  $\lambda = 0,80$ ) приведет не только к росту присутствия компании на рынке, но и сократится время продвижения продукции на полгода.

**Заключение**

Из изложенного следует, что практическое освоение новой технологии для изучения

процессов продаж потребует от компании создания группы компетентных специалистов, которые в контакте со специалистами по CRM-системам смогут оперативно реализовать макро модель воронки продаж под конкретную структуру стадий-состояний процесса продаж компании и текущую ситуацию продаж на конкурентном рынке. Эти специалисты, используя аналитические и прогностические возможности новой технологии, смогут проводить опережающие расчеты по поиску и формированию рациональных стратегий управления продажами (внутри и вне воронки продаж). Кроме того, вычислительные эксперименты с моделью являются хорошей альтернативой для

весьма трудоемких и дорогих «натурных» методов исследований по продвижению продукции компании на конкурентном рынке.

Заметим, что моделирование и прогнозирование процессов продаж на таком рынке можно выполнить как для «своей» воронки продаж, так и воронок продаж конкурентов, что создаст условия реализации конкурентных преимуществ, например, путем управления согласованной работой отделами маркетинга и продаж компании.

Работа выполнена при поддержке гранта программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 гг.)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

### Библиографический список

1. Демин, В.В. CRM нельзя купить, CRM – это стратегия вашего бизнеса / В.В. Демин. – <http://www.kazna.ru/news.html?id=466>
2. Варшавский, П.Р. Применение и важность рассуждения (вывода) по аналогии в системах искусственного интеллекта / П.Р. Варшавский: сб. науч. тр. IX Международной летней школы-семинара по искусственному интеллекту для студентов и аспирантов (Браславская школа–2000). – Минск: БГУ, 2000. – С. 116–121.
3. Букатова, И.Л. Интеллектуализация банковской деятельности / И.Л. Букатова, О.М. Рощупкин. – М.: Альянс, 2005. – 242 с.
4. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. – 4-е изд. стер. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 736 с.
5. Самарский, А.А. Теория разностных схем. – 3-е изд. испр / А.А. Самарский. – М: Наука, 1989. – 616 с.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПРОДАЖ КОМПАНИИ НА МАКРОУРОВНЕ

О.М. РОЩУПКИН, *соискатель каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ*

При решении задач управления процессами продаж перед компаниями возникает необходимость создания обобщенной модели процесса продаж на макроуровне как единого целого для множества покупателей (потенциальных и реальных). В работе [1] дано описание прогностической модели воронки продаж типа PSEIRF, которая реализуется с помощью применения несложных алгоритмов обработки информации процессов продаж на микроуровне. Процесс движения множества покупателей как вне, так и внутри этой воронки идет по схеме  $P \rightarrow S \rightarrow E \rightarrow I \rightarrow (R, F)$  и описывается системой уравнений движения идеальной жидкости в физической воронке с той же структурой,

где  $P$  – потенциальные покупатели продукции (вне воронки);

$S$  – чувствительные к продукции покупатели (вне воронки);

$E$  – покупатели в начальной стадии воронки продаж (изучение «сильных и слабых» сторон продукции) компании (на входе и внутри воронки);

$I$  – покупатели в заключительной стадии воронки продаж (согласования условий договора купли-продажи внутри и на выходе воронки);

$R$  – покупатели, оплатившие продукцию компании (вне воронки);

$F$  – покупатели, отказавшиеся от продукции по разным причинам (вне воронки).

Если опустить упрощения уравнений движения идеальной жидкости (система уравнений Эйлера), то применительно к воронке продаж типа PSEIRF можно получить систему уравнений прогностической модели, которая будет использована для решения задачи управления процессом продаж на макроуровне.

Цель работы – изложение методических аспектов применения новой технологии для решения задачи управления процессом продаж компании на примере воронки продаж типа PSEIRF.

### Компьютерная технология управления процессом продаж

Ввиду высокой сложности объекта управления (модель объекта определена системой нелинейных интегродифференциальных уравнений в частных производных с характерными начальными и граничными условиями процесса продаж) нам потребовалась разработка специальной технологии, которая включает следующие этапы:

1) построение и верификация прогностической модели процесса продаж осуществляется по соответствующей технологии (первая часть работы);

2) модификация прогностической модели с целью управления (координации) работой отде-



лов маркетинга и продаж, которая включает описание цели и функций управления;

3) решение задачи управления путем проведения вычислительных экспериментов с моделью процессов продаж продукции компании на конкурентном рынке.

### Модель управления процессом продаж

Формирование расширенной системы уравнений модели управления процессом продаж для воронки продаж типа PSEIRF было связано с модификацией уравнений прогностической модели путем введения функций управления как для покупателей вне воронки продаж (воздействие рекламы и презентаций продукции), так и внутри воронки продаж (процедуры тестирования и оценки продукции в компании) – см. схему на рис. 1.

Управление процессом продаж компании выполняется из 2-х центров продаж одновременно. В отделе продаж реализуется процесс движения покупателей по стадиям-состояниям воронки продаж с механизмами изменения параметров ( $a, b$ ). В отделе маркетинга компании реализуется процедура привлечения покупателей с механизмами изменения параметров ( $\rho_0, c\rho, \lambda_0, c\lambda$ ). В этих центрах изменяются параметры: ( $a, b$ ) – % безвозвратных потерь покупателей внутри воронки продаж («трение» внутри воронки); ( $\rho_0, \lambda_0$ ) – интенсивность воздействия процедур маркетинга на потенциальных и чувствительных покупателей; ( $c\rho, c\lambda$ ) – % потерь от процедур воздействия маркетинга («трение» вне воронки).

Очевидно, что работа этих центров должна быть скоординирована, т.к. результаты их деятельности существенно зависят друг от друга. Действительно, число покупателей на входе в воронку продаж компании  $u(0, t)$  зависит от интенсивности воздействия процедур маркетинга  $\{\rho(t), \lambda(t)\}$  на потенциальных  $p(t)$  и чувствительных  $x(t)$  покупателей. В то же время интенсивность воздействия процедур маркетинга –  $\lambda(t)$  на чувствительных покупателей  $x(t)$  – зависит от % безвозвратных потерь ( $a, b$ ) покупателей внутри воронки продаж. Поэтому координация их работы необходима для уменьшения объективных противоречий между ними (различие условий вне и внутри воронки продаж) и выполнения общей программы продаж компании –  $r_{opt}$ .

На практике достижение этой цели осуществляется путем «проб и ошибок», в то время как возможно предварительное решение этой задачи с помощью вычислительных экспериментов с моделью управления (рис. 1). Для проведения экспериментов формируются следующие условия:

- задается цель управления в виде желаемого уровня продаж  $r_{opt}$  компании к определенному времени  $t = T_{fin}$  с момента начала продаж ( $t_0$ );
- определяется объект управления, задаваемый системой уравнений (прогностическая модель воронки продаж типа PSEIRF);
- находится вектор управления для отдела маркетинга ( $\rho_0, c\rho, \lambda_0, c\lambda$ ) и отдела продаж ( $a, b$ ), который обеспечивает достижение поставленной цели.

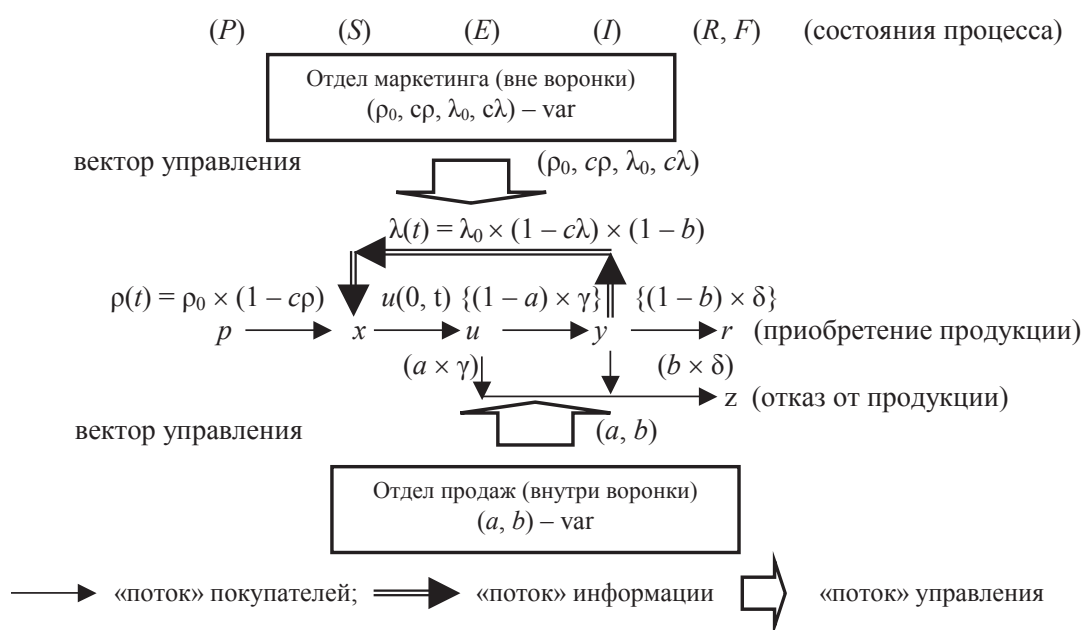


Рис. 1. Структура управляемой модели воронки продаж типа PSEIRF

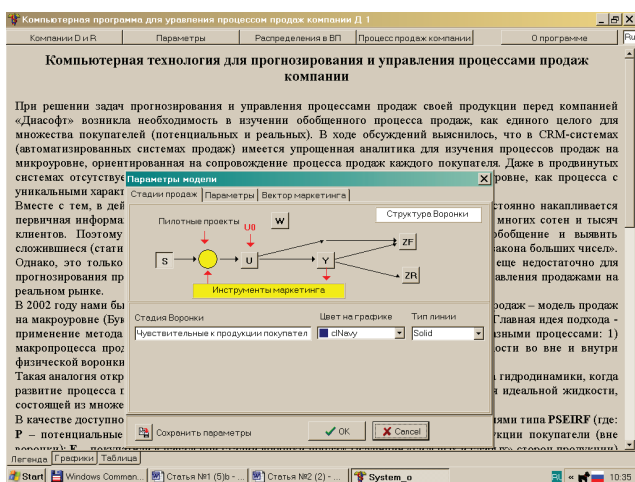


Рис. 2. Экран компьютерной программы для управления продажами

С учетом ранее введенных обозначений представим модель управления процессом продаж на макроуровне в виде 3-х составляющих со следующей системой уравнений:

I. Вектор управления отдела маркетинга компании –

$$1) \rho_0 = var; \quad cr = cr(t); \quad p(t) = \rho_0 \times (1 - cr(t));$$

$$\lambda_0 = var; \quad c\lambda = c\lambda(t);$$

$$\lambda(t) = \lambda_0 \times (1 - c\lambda(t)) \times (1 - b);$$

II. Вектор управления из отдела продаж компании –

$$2) a = var; \quad b = var;$$

III. Объект управления (воронка продаж типа PSEIRF) –

$$3) dp(t)/dt = -\rho(t) \times p(t);$$

начальное условие:  $p(t_0) = p(0)$ ;

$$4) dx(t) / dt = \rho(t) \times p(t) - u(0, t) =$$

$$= \rho(t) \times p(t) - \lambda \times \{x(t) / p(t)\} \times \int_0^T y(\tau, t) d\tau;$$

начальное условие  $x(t_0) = \alpha \times p(t_0)$ ;

$$5) \partial u(\tau, t) / \partial \tau + \partial u(\tau, t) / \partial t = -\gamma(\tau) * u(\tau, t);$$

начальное условие  $u(\tau, t_0) = u(\tau)$ ;

$$6) \partial y(\tau, t) / \partial \tau + \partial y(\tau, t) / \partial t =$$

$$= + (1 - a) \times \gamma(\tau) u(\tau, t) - \delta(\tau) \times y(\tau, t);$$

начальное условие  $y(\tau, t_0) = y(\tau)$ ;

$$7) dz(t)/dt = \int_0^T \{a \times \gamma(\tau) \times u(\tau, t) +$$

$$\times \delta(\tau) \times y(\tau, t)\} d\tau;$$

начальное условие  $z(t_0) = z_0$ ;

$$8) dr(t)/dt = \int_0^T \{(1 - a) \times \gamma(\tau) \times u(\tau, t) +$$

$$+ (1 - b) \times \delta(\tau) \times y(\tau, t)\} d\tau;$$

начальное условие  $r(t_0) = r_0$ ;

9) граничные условия –

$$u(0, t) = \lambda \times \{x(t)/p(t)\} \times \int_0^T y(\tau, t) d\tau; \quad y(0, t) = 0;$$

10) число покупателей в воронке продаж –

$$u(t) = \int_0^T u(\tau, t) d\tau < u\_max;$$

$$y(t) = \int_0^T y(\tau, t) d\tau < y\_max;$$

где  $(u\_max, y\_max)$  – «пропускная» способность стадий-состояний воронки продаж.

Соотношения математической модели (1–10) были реализованы в виде windows-приложения, которое обеспечивает проведение вычислительных экспериментов по управлению процессами продаж компании с воронкой типа PSEIRF путем изменений соответствующих настроек в начальных условиях и в векторах управления (рис. 2).

### Результаты решения задачи управления продажами

Рассмотрим задачу управления продажами как координацию работы отделов маркетинга и продаж с целью формирования своего сегмента рынка на уровне 30 % от общего числа потенциальных покупателей ( $p = 10$  тыс. чел.) за календарный год. Изучение возможностей достижения этой цели проводилось с помощью вычислительных экспериментов с моделью при изменениях функций управления маркетинга ( $\rho_0, cr, \lambda_0, c\lambda$ ) и продаж ( $a, b$ ) по ранее верифицированной модели (первая часть работы). Расчеты проводились при следующих начальных условиях: 1) доля восприимчивых покупателей на рынке – 50 % ( $\alpha = 0,50$ ); 2) число первых покупателей (пилотный проект продаж) –  $u(0, t_0) = 10$  чел.; 3) число покупателей внутри воронки –  $u(t_0) = y(t_0) = 0$  чел.; 4) число покупателей на выходе воронки –  $r(t_0) = z(t_0) = 0$  чел.; 5) эффективность процедур маркетинга –  $\lambda_0 = 0,80$ ; 6) параметры «трения и потерь» внутри воронки (10 %, 15 %) –  $a = 0,10; b = 0,15$ .

На рис. 3 приведены графики продаж продукции компании в отсутствие координированного управления между отделом маркетинга и продаж. Из расчетов следует, что за 2 года работы на рынке в отсутствие координации работы отделов маркетинга и продаж компания может «завоевать» около 18 % рынка после начала продаж (1829 случаев продаж и 562 случая отказа от продукции). Таким образом, заданная ранее руководством компании цель по выходу на рынок с новой продукцией и завоевания на нем до 30 % объема рынка не будет достигнута и за два года продаж.

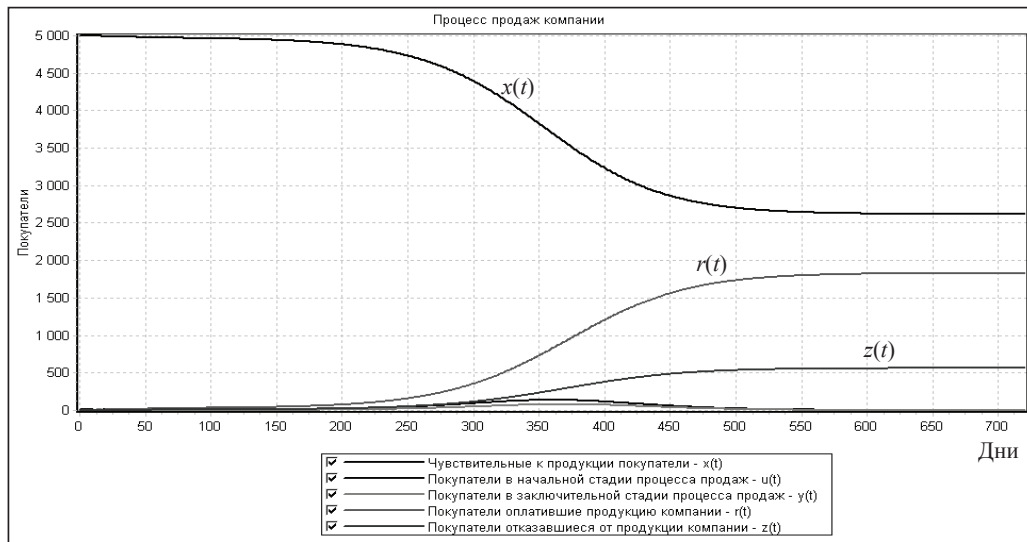


Рис. 3. Прогноз продаж продукции компании в отсутствии координации управления

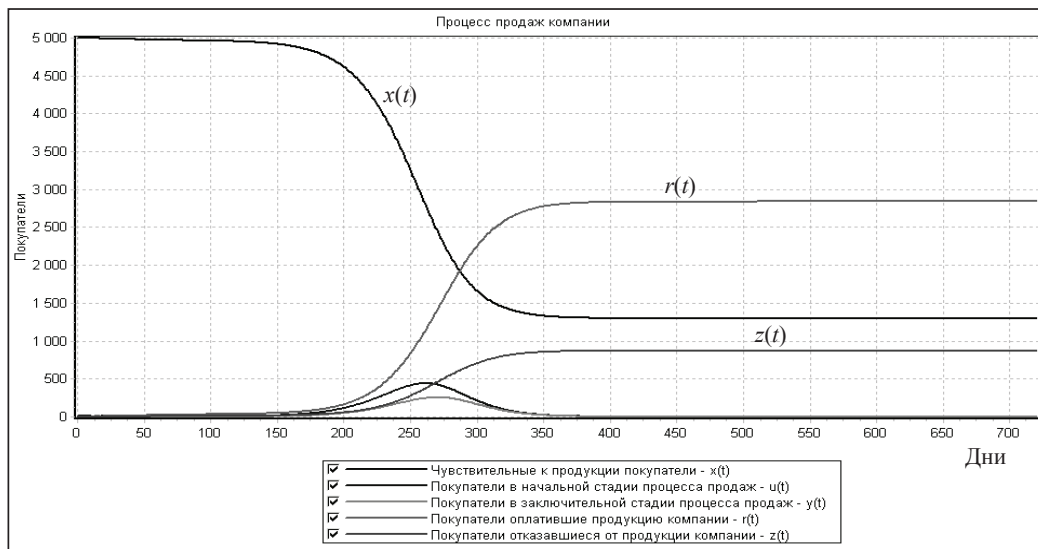


Рис. 4. Прогноз продаж продукции компании при координации управления

Однако расчеты показывают, что существует возможность достигнуть поставленной цели, если скоординировать процесс продаж (рис. 4).

Из рис. 4 следует, что за 1 год работы на рынке в условиях координации работ отделов маркетинга и продаж компания может «завоевать» около 28 % рынка после начала продаж (2840 случаев продаж и 872 случая отказа от продукции). Таким образом, заданная ранее руководством компании цель по выходу на рынок с новой продукцией и завоевания на нем до 30 % объема рынка будет почти достигнута.

В результате координации работ отделов маркетинга и продаж за 1 год их напряженной работы на рынке компания может продать до 2840 единиц продукции и получить общий доход в объеме 28,4 млн у.е. (при стоимости единицы продукции в 10 тыс. у.е.). Дальнейшее

увеличение продаж продукции компании будет мало эффективным. Здесь следует иметь в виду «насыщение» воронки продаж мощным потоком покупателей, который был организован отделом маркетинга, и ростом числа покупателей, оставшихся без «внимания» со стороны отдела продаж (срабатывают ограничения по его возможностям). Отсюда возникает задача перспективного планирования продаж компании за счет роста потенциала отделов продаж и маркетинга под новый вид продукции, которая сегодня только разрабатывается.

**Оценка конкурентных преимуществ компании**

Иное применение технологии управления процессами продаж связано с вычислительными экспериментами по поиску конкурентных преимуществ компании за счет лучшей коорди-

нации ее работы в сравнении с конкурентами. С этой целью с помощью CRM-системы собирается доступная информация по структуре и динамике процессов продаж компаний конкурентов. Даже неполная и отрывочная информация из открытых публикаций или рекламных буклетов конкурентов позволяет с помощью данной технологии составить комплекс прогностических моделей продаж компаний конкурентов и выявить из них ведущего «игрока» на рынке.

Далее проводятся вычислительные эксперименты для двух «игроков» (прогностических моделей воронок продаж) одновременно на общем для них множестве потенциальных покупателей продукции (покупатели имеют равную чувствительность к продукции компании и ее конкурента). Расчеты, выполненные по «близким» моделям продаж для 2-х компаний конкурентов, показывают, что та из них, которая имеет более быструю реакцию привлечения и обслуживания покупателей в своей воронке продаж при условии рациональной координации процесса продаж, имеет возможность опередить своего конкурента. Мера конкурентных преимуществ одной компании над другой оценивается нормой (числом) различий в динамике развития процессов продаж двух конкурирующих компаний после выхода на рынок. Эта мера оценивается по формуле

$$\zeta(\%) = n\{r_1(t) - r_2(t)\} / n\{r_1(t)\} \times 100 \%,$$

где  $r_1(t)$ ,  $r_2(t)$  – процессы продаж двух компаний в течение 1 года продаж;

$n\{.\}$  – числовая характеристика процесса продаж.

Расчеты показывают, что за счет снижения «трения» в процедурах маркетинга и продаж и рациональной координации один из конкурентов может иметь от 10 до 30 % преимуществ, т.е. он устойчиво будет сохранять свои позиции и положение на рынке. Таким образом, с помощью данной технологии существует возможность организации более эффективной работы компании в области продаж и выполнения перспективных планов ее развития. В этом случае вычислительные эксперименты и моделирование с помощью данной технологии являются хорошей альтернативой традиционным методам исследований конкурентного рынка, требующих высокой трудоемкости и стоимости.

Работа выполнена при поддержке гранта программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 гг.)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

#### Библиографический список

1. Домрачев, В.Г. Компьютерная технология для анализа и прогноза процессов продаж продукции компании / В.Г. Домрачев, О.М. Рошупкин // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2006. – № 6(48). – С. 179–184.
2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. – 4-е изд. стер. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 736 с.

## ПРИНЦИП ИСТОРИЗМА КАК ФЕНОМЕН СОВРЕМЕННОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

О.Н. ЖУРАВЛЕВА, доц. МГПИ им. М.Е. Евсевьева (Саранск), канд. пед. наук

Принцип историзма входит в число основных философско-методологических принципов. Он представляет собой один из необходимых элементов диалектики. Но сфера действия принципа историзма не ограничивается лишь профессиональным историческим познанием; он находит применение во многих науках и конкретных исследованиях и позволяет создавать объективные картины развития природы и общества, открывать закономерности их развития. Несмотря на высокую значимость принципа историзма, его возможности как методологического принципа познания в современном математическом образовании пока еще не реализуются полностью.

Традиционно понятие методологии используется в двух значениях: 1) как совокупность

познавательных средств, методов, приемов, используемых в какой-либо науке; 2) как область знания, изучающая средства, предпосылки и принципы организации познавательной и практикообразующей деятельности. [8, с. 278]. Большинство исследователей рассматривает методологию как научное знание о деятельности в определенной области, средствах, результатах и методах этой деятельности. К основным проблемам, изучаемым в методологии, относят описание и анализ этапов научного исследования, анализ языка науки, выявление сферы применимости отдельных процедур и методов, анализ исследовательских принципов, подходов и концепций.

Современная наука располагает достаточно мощным арсеналом средств, предназначенных



для решения задач самого различного характера. Это обстоятельство обуславливает необходимость выбора современным специалистом-исследователем наиболее эффективного средства или их совокупности из методологического арсенала науки. Характерным для современного научно-технического развития является и взаимопроникновение элементов науки и практики при решении ряда крупных комплексных проблем. При этом возникает необходимость соединения усилий специалистов разных профилей (создав для этого соответствующий предмет изучения – комплексную модель объекта), а также и новой интеграции методов и средств решения проблемы.

К сожалению, в практике обучения специальное обсуждение вопросов методологического характера (способы деятельности, специфичные для изучаемого предмета, методы и средства познания, необходимые для самообразования в области математики и рационального использования имеющихся математических знаний) часто выносятся за рамки содержания образования. Однако ведущими специалистами в области дидактики, а также теории и методики обучения математике (В.В. Давыдовым, Г.В. Дорофеевым, А.Л. Жоховым, Т.А. Ивановой, В.С. Ледневым, В.В. Краевским, Г.И. Саранцевым и др.) убедительно обоснована целесообразность включения, помимо «готовых» знаний опыта осуществления, известных способов деятельности, опыта творческой деятельности и эмоционально-ценностных отношений [4, С. 3], [7, С. 52–53]. В названных исследованиях подчеркивается необходимость перевода компонентов методологического характера из средств познания в предмет специального изучения.

Компоненты методологического характера представлены в содержании истории науки, в частности, математики. Более того, история и методология математики неразрывны, поскольку «эта неразрывность обеспечивает конкретное знание специального содержания изучаемых методологических проблем» [6, С. 4]. На наш взгляд существенно, чтобы в содержании и технологиях современного математического образования, прежде всего, реализовывалась именно эта, методологическая, составляющая содержания историко-математического знания. Необходимо преодолеть формальный подход, когда используемые в содержании образования элементы историзма представляют только описания учений прошлого, когда новые идеи преподносятся независимо от предшествующих, вне субъективно-

личностных и социально-экономических условий их возникновения и развития.

В чем же состоит главная сущность принципа историзма? В «Философском словаре» принцип историзма трактуется как принцип познания вещей и явлений в их становлении и развитии, в органической связи с порождающими их условиями [8, С. 223]. Близкий к этому смысл можно найти и в определении, представленном в «Большой Советской Энциклопедии»: «Историзм – принцип подхода к действительности как изменяющейся во времени, развивающейся» [3, С. 549]. В современных философских исследованиях [1] эта характеристика названа самой общей, фундаментальной, выражающей принцип историзма в его целостности рассматривать предметы, процессы в их развитии, изменении, самодвижении. «Это означает требование брать материальные системы во временном их аспекте, как изменяющиеся во времени; если эта система существует в настоящий момент, то – в аспекте прошлого, настоящего и будущего» [1, С. 395].

Какие же существенные характеристики, отличающие принцип историзма как методологического принципа, могут быть использованы в содержании математического образования?

Любое познание (в том числе и учебное) требует *качественного ретроспективного подхода*, если оно стремится к объективности. Данный феномен в философских исследованиях описывается категориями «историческое» и «логическое» [5]. В наиболее общей форме соотношение логического и исторического предполагает, что научная мысль, направленная на предмет, обладающий своей историей, должна исходить из этой историчности и стремиться ее осознать. Следует понимать, что внутри исторически сложившихся целостностей существуют такие элементы и связи, которые нельзя понять без обращения к прошлому. «В процессе познания «логический метод» вместе с элементами «исторического метода» должен включаться в более широкий исторический контекст рассмотрения, который предполагает обращение не только к воспроизводству системы в настоящем, но и к ее истокам и возможным перспективам в будущем» [5, С. 444]. Вместе с тем «чтобы исследовать генезис явления, необходимо иметь некоторое представление о сущности явления» [там же].

«Историческое – выражает структурные и функциональные процессы возникновения и формирования данного объекта, логическое – те

соотношения, законы, связи и взаимодействия его сторон, которые существуют в развитом состоянии объекта» [3, С. 179]. Категория «историческое» представляет процесс развития, раскрывает конкретные условия и формы становления и преобразования тех или иных явлений, последовательности их переходов от одних исторически необходимых стадий к другим. Категория «логическое», по сути отражающая результат развития, способствует объяснению той роли, которую отдельные элементы системы играют в составе развитого целого. «Именно потому, что в самой действительности процесс и результат развития не совпадают, хотя и находятся в единстве, неизбежно различие по содержанию исторического и логического способов исследования... Вместе с тем грани, отличающие эти два способа исследования, условны, ... ибо логическое в конечном счете – это то же историческое, только освобожденное от его конкретной формы, представленное в обобщенном, теоретическом виде, и наоборот: историческое – это то же логическое, только облеченное в плоть и кровь конкретного исторического развития» [3, С. 179–180].

Второй существенной характеристикой является *требование рассмотрения предпосылок возникновения предмета*. Для определения предпосылок привлекаются категории детерминизма: «причина», «полная причина», «условие», «основание».

Третья характеристика выражается в *требовании применять в ходе познания предмета основные законы диалектики*. В данном требовании реализуется несколько нормативных правил (или установок познания), вытекающих из общетеоретической концепции диалектики: а) направлять движение мысли от качества к количеству, затем к их единству (т.е. выявлять качественные изменения в структуре и элементах системы, в ее подсистемах, их количественные характеристики, а также меру или безмерность системы); б) обнаруживать скачки, определять их типы и виды (постепенные или взрывообразные, одинарные или интегральные, и т.п.); в) раскрывать преемственность состояний в развитии предмета (при отрицании – трансформации, отрицании – снятии и отрицании-синтезе); г) ориентировать мысль на обнаружение полного или ограниченного проявления закона отрицания отрицания; д) акцентировать внимание на раскрытии противоречивости предмета; е) ориентировать познание на выявление конкретных видов и типов противоречий объекта: внутренних и внешних, их своеобразного

соотношения, конструктивных и деструктивных, и т.п. [1, С. 397].

Четвертой характеристикой выступает *требование выделять этапы (стадии, фазы, периоды) развития предмета, устанавливать их естественную последовательность*. Указанная характеристика частично уже была представлена в предшествующей (в установках на преемственность и скачки). Но здесь эти установки берутся с иным акцентом и фокусируются на градации целостного процесса исторического развития. Помимо ориентации познания на выявление качественного своеобразия этапов, данная характеристика определяет необходимость исследования преемственности этапов, состояний. «Рассматривая историю как процесс становления и/или разрушения устойчивых формообразований, можно ставить задачу их исследования в максимальном приближении к конкретике этого исторического процесса или же задачу его логической реконструкции в общем схематическом виде» [5, С. 443]. Кроме того, важно понимать, что объект при этом должен рассматриваться с точки зрения его внутренней *структуры*, причем не как механическое множество отдельных элементов, связей, зависимостей, а как органическая совокупность этих составляющих, как внутреннее связанное и функционирующее целое, как *система* [3, С. 549].

Установление взаимосвязей этапов (фаз, состояний) ведет мысль к познанию закономерности развития. Ее итогом служит пятая характеристика: *рассматривать объект с точки зрения процесса развития закономерного, т.е. характеризующегося определенными законами «перехода от одного исторического состояния объекта, характеризующегося одной структурой, к другому историческому состоянию, характеризующемуся другой структурой»* [3, С. 549]. В связи со сказанным в процессе познания представляется значимым и положение о многовариантности исторически развивающейся действительности.

Шестой характеристикой принципа историзма является *требование определять направление и характер развития или изменения предмета* (прогрессивное, регрессивное или одноуровневое; гармоничное, дисгармоничное или конфликтное; динамичные изменения или стагнация (застой) и т.п.).

Приведенные характеристики принципа историзма подводят познающее мышление к выявлению главной тенденции развития системы.

Поэтому в качестве седьмой характеристики и может быть указано *требование раскрывать основную тенденцию развития системы с целью предсказать ее будущее*. Подлинно исторический подход к выявлению тенденций дальнейшего развития исследуемого явления состоит в том, чтобы, во-первых, изучить и проанализировать все имеющиеся пути его дальнейшего развития, во-вторых, выделить главный путь, основную тенденцию развития, в-третьих, практически реализовать эту тенденцию, создать все условия для его быстрейшего осуществления.

Восьмая характеристика включает *требование изучать не только историю объекта, но историю отражающих ее понятий и положений*.

Нельзя обойти вниманием еще одну из наиболее важных характеристик рассматриваемого феномена. Историзм есть мировоззренческий принцип познания, и как таковой он *сочетает в себе научную сторону, ориентированную только на объект, с аксиологической стороной, вовлекающей в познание человечески-ценностный подход, человеческую заинтересованность и человеческую деятельность*. Взаимосвязь «человеческого» с «историческим» ярко очерчена известным русским философом Н.А. Бердяевым в книге «Смысл истории». Он писал: «Человек есть в высочайшей степени историческое существо ... Нельзя выделить человека из истории, нельзя взять его абстрактно и нельзя выделить историю из человека, нельзя историю рассматривать вне человека и нечеловечески. И нельзя рассматривать человека вне глубочайшей духовной реальности истории» [2, С. 23–24].

Отметим, что и до сих пор сущность и указанные характеристики принципа историзма как в теоретическом плане, так и на практике не находят полного воплощения. На наш взгляд, очень важно, чтобы в содержании образования обязательно были представлены все три аспекта математического знания: прошлое, настоящее и будущее.

*Аспект прошлого* должен быть представлен следующими направлениями: 1) практические задачи, теоретические проблемы, исходные положения, которые привели к созданию понятия, метода, открытию закономерности, формулировке идеи и т.п.; 2) семантика термина (информация о том, что означает термин, какой смысл был вложен в рассматриваемое понятие изначально); 3) краткое описание условий экономической и общественной жизни, при которых осуществлялось и развивалось открытие; 4) кем, каким человеком было сделано

открытие; 5) характеристика этапов становления понятия, метода, идеи, раздела математики.

*Аспект настоящего* может быть раскрыт через: 1) осмысление сущности метода, который представлен в учебнике и излагается учителем; 2) сравнение изучаемого метода с другими (его преимущества, недостатки; обоснование включения именно этого метода в содержание курса математики); 3) объяснение специфики математической деятельности в единстве интуитивного и логического; 4) раскрытие сущности предмета математики; 5) формирование отдельных особенностей математического метода познания действительности; 6) формирование представления о том, что сама математика – это метод познания действительности; 7) объяснение логики развития изучаемых разделов математики; 8) раскрытие практической области применения.

*Аспект будущего* осуществляется через осмысление перспектив развития понятия, метода, раздела математики по следующим направлениям: 1) раскрытие теоретической области применения; 2) какие аспекты проблемы будут изучены на последующих этапах обучения; 3) какие аспекты проблемы решены, но являются предметом исследования специальных разделов математики; 4) какие аспекты проблемы ждут своего решения или неразрешимы.

В заключении отметим, что принцип историзма в содержании современного математического образования реализует диалектику математического знания, раскрывает специфику математической деятельности, позволяет осмыслить целостность, обобщенность и системность математического знания.

### Библиографический список

1. Алексеев, П.В. Философия: учебник / П.В. Алексеев, А.В. Панин. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ТК Велби, Проспект, 2004. – 608 с.
2. Бердяев, Н.А. Смысл истории. Опыт философии человеческой судьбы / Н.А. Бердяев. – Париж, 1969. – С. 23–24.
3. Большая Советская Энциклопедия в 30 томах / Гл. ред. А.М. Прохоров. – Изд. 3-е. – М.: Сов. Энциклопедия, 1972. – Т. 10. – 592 с.
4. Краевский, В.В. Предметное и общепредметное в образовательных стандартах / В.В. Краевский, А.В. Хуторской // Педагогика. – 2003. – № 2. – С. 3–10.
5. Новая философская энциклопедия: в 4 т./ Ин-т философии РАН, Нац.-общ.-науч. фонд: предс. В.С. Степин. – М.: Мысль, 2001. – Т. II. – 634 с.
6. Рыбников, К.А. Введение в методологию математики / К.А. Рыбников. – М.: МГУ, 1995. – 69 с.
7. Саранцев, Г.И. Методология методики обучения математике / Г.И. Саранцев. – Саранск, 2001. – 144 с.
8. Философский словарь / Под ред. И.Т. Фролова. 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Республика, 2001. – 719 с.

## СТРАТЕГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ

А.Н. САМОЛДИН, *доц., зав. каф. стратегического маркетинга МГУЛ, канд. техн. наук,*  
А.Г. БОРЗЕНКО, *ассистент кафедры стратегического маркетинга МГУЛ*

**Б**урное развитие концепций и технологий корпоративного управления – характерная особенность последних лет. При этом особое внимание уделяется стратегическому управлению. Управленческий опыт показал, что основным залогом успешного функционирования организации является хорошо поставленный стратегический менеджмент, отсутствие которого на сегодня – весьма рискованное мероприятие, недопустимое для современной организации. Выбор стратегических подходов к управлению в значительной мере определяет эффективность бизнес-активности организации. Исследования в данном направлении приводят к появлению все новых парадигм, концепций и инструментов оценки деятельности (эффективности) организации, в том числе создаются новые схожие модели в рамках какого-то одного подхода.

Начиная с 70-х годов XX века стали появляться разнообразные модели стратегического управления, а затем и системы сбалансированных показателей, объединяющие финансовые и нефинансовые индикаторы. Их корни произрастают из методов стратегического менеджмента, который, в свою очередь, заменил собой подход к производству и сбыту с точки зрения операционных интересов, не нацеленных далеко в будущее. Потребность в стратегическом управлении возникла, когда руководству организаций стало ясно, что, приобретая сиюминутную выгоду и учитывая только сегодняшнюю конъюнктуру, можно упустить будущие возможности и, в принципе, если не реагировать оперативно на изменения рынка даже с некоторым опережением событий, деловая активность может окончиться убытками, крахом или банкротством. Организация должна формировать конкурентные преимущества, необходимые для обеспечения будущего процветания. Такая стратегия не приносит прибыли немедленно и требует значительных затрат.

На методологию стратегического анализа большое влияние оказали следующие методы и модели: SWOT-анализ (автор К.Р. Andrews), модель пяти ключевых конкурентных сил (автор М. Porter), ресурсно-ориентированный подход к

разработке стратегии и концепции «базисной компетенции» (авторы G. Hamel and С.К. Prahalad). В 1980-х годах сформировался целый ряд новых концепций и инструментов управленческого контроля (например, концепции Кайдена, всеобщего управления качеством, гибкого производства, реинжиниринга производственных процессов).

Применение нефинансовых показателей не является абсолютно новым. Контроль лишь финансовых показателей оказался недостаточным в условиях изменения характера экономической деятельности по сравнению с теми временами, когда сформировалась традиционная система управленческого контроля, которая в XX веке начала действовать в условиях зрелых рынков и медленно изменяющихся технологий. К этому моменту сформировались все основные ее инструменты, используемые и по сей день: бюджетирование, расчет себестоимости по методу «стандарт-кост», трансфертное ценообразование и т.д. Роль управленческого контроля сводилась к поддержанию эффективности функционирования организации, в результате основное внимание менеджеров было обращено на затраты и поиск путей их сокращения, а значение роста объема продаж недооценивалось. Но размеры организаций увеличивались, и их организационная структура стала более сложной. Изохронные технологии и производственные процессы предъявляли новые требования к корпоративным системам управленческого контроля. Финансовые показатели отражали результаты принятых ранее решений, но они не могли адекватно отразить процессы долгосрочного стратегического развития бизнеса. Все большее значение приобретает управление интеллектуальным потенциалом, политикой организации на рынке и накопленными знаниями. [3]

Поэтому на сегодняшний день при оценке эффективности деятельности организаций актуальным является системный подход, позволяющий использовать существующие количественные показатели через призму различного рода взаимоотношений (с персоналом, поставщиками, покупателями, институциональными и государственными образованиями), что позволяет получить синергетичес-



кий эффект при оценке деятельности организаций, а также подойти к оценке с учетом особенностей исследуемых объектов, применяя анализ качественных особенностей взаимоотношений организации с внешней и внутренней средами. Рассмотрим некоторые стратегически ориентированные подходы, наиболее часто упоминаемые в литературе.

### **BSC (Balanced Scorecard)**

BSC (Balanced Scorecard) – сбалансированная система показателей (сбалансированная счётная карта, сбалансированная система оценочных индикаторов, система сбалансированных показателей эффективности), это система стратегического управления и оценки её эффективности, которая переводит миссию и общую стратегию организации в систему показателей. [1]

BSC в первом приближении можно рассматривать как систему показателей деятельности, сгруппированных по четырем аспектам, или перспективам, работы организации – финансы, клиенты, внутренние бизнес-процессы, обучение и развитие. В каждой из этих перспектив Каплан и Нортон предложили определить стратегические цели и критические факторы успеха в достижении этих целей, с тем чтобы впоследствии не только измерять уровень достижения запланированных финансовых показателей (таких, как квартальный прирост продаж или операционная прибыль), но и отслеживать прогресс в отношениях с клиентами (например по индексу лояльности клиентов), в повышении эффективности деятельности (по сокращению жизненного цикла подготовки продукции), а также контролировать состояние части нематериальных активов (трудовой дисциплины, навыков персонала и т.п.). [4].

К настоящему времени Каплан и Нортон разработали функциональные стандарты (минимальный набор требований) – шесть обязательных элементов, которым должно соответствовать программное обеспечение, поддерживающее корпоративную систему BSC:

Перспективы (perspectives) – компоненты, при помощи которых проводится декомпозиция стратегии с целью ее реализации. Обычно используются четыре базовые перспективы, однако их список можно дополнить в соответствии со спецификой стратегии организации.

Стратегические цели (objectives) определяют, в каких направлениях будет реализовываться стратегия.

Показатели (measures) подразумевают определенные действия, необходимые для достижения цели, и указывают на то, как стратегия будет реализована на операциональном уровне.

Целевые значения (targets) – количественные выражения уровня, которому должен соответствовать тот или иной показатель.

Причинно-следственные связи (cause and effect linkages) должны связывать в единую цепочку стратегические цели организации таким образом, что достижение одной из них обуславливает прогресс в достижении другой.

Стратегические инициативы (strategic initiatives) – проекты или программы, которые способствуют достижению стратегических целей.

Стратегическое управление как реальный проект требует обязательного измерения и оценки с тем, чтобы осуществлять выбор оптимальной стратегии из нескольких альтернатив, анализировать эффективность разворачивания и реализации стратегии, исследовать её результаты и принимать стратегические управленческие решения. В этом плане BSC может быть прекрасной системой стратегического измерения, т.е. выполнять функцию мониторинга нужных для управления и контроля за выполнением стратегии ключевых показателей, которые сложно отыскать в бухгалтерском учёте или другой информационной системе организации (во всяком случае, в целостном и взаимосвязанном виде).

### **Ресурсно-результативный подход**

Ресурсно-результативный подход – один из наиболее распространенных в России. Отчасти это объясняется спецификой организации бизнеса. Данный подход считается наиболее подходящим для анализа эффективности интегрированных структур, то есть позволяет учесть специфику объединения группы организаций различных сфер деятельности в единую структуру, решая проблемы диверсификации, аккумуляции финансовых средств под определенный проект, аккумуляции интеллектуальных ресурсов.

Оценка эффективности с позиции ресурсного подхода позволяет увязать параметры экономических систем с конечными результатами их функционирования и ресурсные возможности с результатами их использования посредством исследования: 1) экономической природы и роли организаций; 2) целей участников организаций; 3) особенностей формирования системы управле-

ния потенциалом корпораций; 4) системообразующих элементов и взаимосвязей; 5) логики развития организационных процессов и специфики их проявления в экономических системах.

Организация тем эффективней, чем более удовлетворены в ней различные групповые и индивидуальные интересы. В деятельности организации заинтересованы различные участники и их группы. Насколько их ожидания совпадают с полученными результатами функционирования организации – настолько она эффективна. При анализе эффективности корпорации сравнивается достигнутая стоимость капитала интегрированной структуры с целевым показателем увеличения стоимости объединения, зафиксированным в организационном проекте.

В соответствии с этим можно выделить группы показателей.

Группа  $F_1$  содержит следующие показатели: объемы налоговых поступлений, их структуру, равномерность поступления, долю в общей величине налоговых поступлений, уровень собираемости налогов, валовой продукт, динамику занятости на организациях, среднюю заработную плату, объем привлеченных инвестиций, социальные выплаты, кредиторскую задолженность перед региональным и федеральным бюджетами и внебюджетными фондами и т.д.

Традиционные индикаторы финансовой устойчивости, оценивающие организацию по рыночным критериям ( $F_2$ ), включают: доходность совокупных активов, которая позволяет измерить операционную эффективность организации; доходность собственного капитала, которая показывает прибыль на инвестиции акционеров; доходность инвестиций, показывающую выгодность привлечения заемных средств. Кроме этого, рассчитываются показатели, характеризующие ликвидность организации, в том числе коэффициенты текущей ликвидности, срочной ликвидности, обеспеченности реализации собственным оборотным капиталом, покрытия процентов. Задачей расчета предложенных показателей является описание кредитоспособности, финансовой устойчивости, финансовой независимости, структуры капитала исследуемой организации, результативность использования наличных производственно-технологических мощностей, разработок научно-исследовательских и опытно-конструкторских организаций.

Параметры, характеризующие уровень организации производства и управления, в том

числе доступность и качество информации для участников и потенциальных инвесторов, степень консолидации финансового учета и отчетности, качество выпускаемой продукции, уровень используемых технологий, перспективные возможности интегрированной структуры, стабильность состава акционеров и стратегических инвесторов, экологическую безопасность производства и выпускаемой продукции (группа  $F_3$ ), позволяют учесть нефинансовые аспекты деятельности объединения.

Таким образом, интегрированный показатель оценки эффективности интегрированной структуры можно представить в виде функционала [5]

$$F_{интегр.} = f(F_1, F_2, F_3).$$

### ABPA (activity-based profitability analysis)

М. Маршал предлагает для оценки эффективности организации использовать метод ABPA (activity-based profitability analysis) – процессно-ориентированный анализ рентабельности. Данный метод предполагает для оценки эффективности организации использовать соотношение доходов с бизнес-процессами и отдельными потребителями. Он открывает возможности для децентрализованного формирования стратегии, что особенно важно для крупных организаций, которые предлагают огромную массу продуктов и/или сегменты рынка которых различны. (Зачастую производители не ограничиваются узким сегментом рынка, а стремятся к диверсификации.)

ABPA изначально фокусируется на клиенте как на точке пересечения затрат и доходов. Подход ABPA устанавливает величину себестоимости бизнес-процессов, используя ABC, однако затем устанавливается также размер доходов по каждому бизнес-процессу, а рентабельность каждого вида деятельности определяется путем процессного сопоставления доходов и затрат.

Особенность методики ABPA заключается в том, что она позволяет определить рентабельность тех или иных продуктов и услуг и тем самым рекомендовать те или иные продукты или услуги к продаже, а в некоторых случаях рекомендовать, какие продукты или услуги следует поставлять без наценки. Рентабельность взаимоотношений с клиентом определяется как доход, полученный от клиента за вычетом себестоимости процессов, а последняя рассчитывается как частота осуществления процессов, умноженная

на удельную себестоимость процессов, выполняемых для каждого из клиентов.

Требованием АВРА является наличие трех типов данных: себестоимости процесса, доходов в разрезе клиентов, а также данных о процессах, осуществляемых для каждого клиента. В системе АВРА отслеживаются все три параметра и затем дается оценка чистого дохода как функции от исполняемых для клиента процессов. Таким образом система фиксирует прямой и косвенный вклад процессов в величину чистого дохода, где последний показатель выражается значением уровня взаимоотношений с клиентом.

Преимущество АВРА состоит в избирательности системы: АВРА отделяет рентабельные процессы от нерентабельных и способна провести данный процесс для каждого потребительского сегмента. Хотя АВРА не противоречит измерению нефинансовых показателей, она применима только тогда, когда данные нефинансовых показателей доступны в разрезе отдельных клиентов. Вопрос состоит лишь в затратах по сбору подобных данных. [2]

#### Пирамида эффективности

К. МакНейр, Р. Ланч, К. Кросс в 1990 г. представили модель, которую они назвали Пирамидой эффективности. Как и в других моделях, основной концепцией является связь клиентоориентированной корпоративной стратегии с финансовыми показателями, дополненными несколькими ключевыми качественными (нефинансовыми) показателями. Традиционная управленческая информация должна исходить только от верхнего уровня. Пирамида эффективности построена на концепциях глобального (всеобщего) управления качеством (TQM), промышленного инжиниринга и учета, основанного на «действиях». Под «действиями» понимается то, что выполняется людьми или машинами (оборудованием, механизмами, компьютерными системами) для удовлетворения потребителя. [4]

Пирамида эффективности на четырех различных ступенях показывает структуру предприятия, обеспечивающую двухсторонние коммуникации и необходимую для принятия решений на различных уровнях управления. Цели и показатели связывают стратегию предприятия с его оперативной деятельностью. Другими словами, цели передаются вниз по организации, в то время как показатели собираются снизу вверх. На верхнем

уровне руководство предприятия формулирует корпоративное видение. На втором уровне – цели подразделений и дивизионов конкретизируются применительно к определенному рынку и финансовым показателям. Клиенты и акционеры определяют то, что следует оценивать. Третий уровень, фактически не организационный, состоит из ряда направлений в пределах предприятия. Эти направления межфункциональны и пронизывают несколько структурных подразделений. Здесь цели и функции ориентированы на удовлетворение клиента и гибкость производства и являются связующими звеньями между верхними и нижними уровнями пирамиды. Три цели этого уровня показывают драйверы эффективности в отношении двух рыночных целей и одной финансовой. Кроме того, на этом уровне определяются такие оперативные цели, как качество, время поставки, длительность производственного цикла и потери от брака. Качество и время поставки непосредственно связаны с внешними действиями, а длительность производственного цикла и потери от брака служат индикаторами внутренних действий предприятия.

В самой нижней части пирамиды, т.е. в области операций, действия оцениваются ежедневно, еженедельно или ежемесячно. В верхней части пирамиды преобладают финансовые оценки, периоды которых существенно больше. По мнению авторов модели, система показателей должна быть интегрирована таким образом, чтобы оперативные оценки на нижних уровнях были связаны с финансовыми на верхних. Таким образом, эта модель корпоративного управления способна показать, что лежит в основе финансовых оценок и что ими управляет.

#### EVA

EVA (Economic Value Added, автор Стюарт Штерн) – экономическая добавленная стоимость, это финансовый показатель, показывающий фактическую экономическую прибыль предприятия.

Показатель EVA вычисляется следующим образом:  $EVA = \text{Чистая операционная прибыль после уплаты налогов} - \text{стоимость капитала}$ .

Цель системы управления на основе показателя EVA состоит в направлении деятельности организации на прибавление стоимости компании. Отличие данной концепции от многих других (например BSC) – необходимость уста-

новления не любой, а определённой цели – приращение стоимости компании. В основании этой концепции лежит несколько принципов:

1. Собственники инвестируют капитал для получения дохода.
2. Компания создана для получения дополнительного дохода.
3. Персонал компании направлен на приращение акционерной стоимости при помощи системы мотивации.

Система управления на основе показателя EVA основывается на математической формуле показателя. С помощью выделения составляющих формулы (Чистая операционная прибыль после уплаты налогов и Стоимость капитала) появляется возможность построить дерево целей компании и распределить ответственность за их достижение.

В качестве результата внедрения системы управления на основании показателя EVA Стюартом и Штерном выделяются так называемые 4М:

1. Измерение (Measurement). Система позволяет создать систему оценки деятельности компании, которая наиболее точно выражает фактическую прибыльность компании.
2. Система управления (Management system). Система покрывает весь комплекс управленческих решений, включая стратегическое планирование, размещение капитала, приобретение и продажу активов, установление целей.
3. Мотивация (Motivation). Система вознаграждения на основании показателя EVA позволяет соединить интересы менеджеров и акционеров.
4. Стиль мышления (Mindset). Внедрение системы управления и вознаграждения на основании этого показателя ведёт к изменению корпоративной культуры.

Основным недостатком системы управления на основе EVA является то, что жёсткая связь вознаграждения и показателя EVA может привести к принятию решений, направленных на краткосрочные выгоды от снижения расходов и использования активов, у которых закончился срок амортизации.

Система показателей состоит только из финансовых показателей, что ведёт к недооценке таких факторов долгосрочного успеха, как знания персонала, информационные технологии, корпоративная культура. [2]

Любой из рассмотренных подходов к оценке деятельности организаций предъявляет свои требования к временным затратам и объёму средств, необходимых для успешного их применения.

В целом использование любого из методов для оценки эффективности деятельности организаций должно привести к выработке схожих стратегий. Таким образом, выбор конкретной системы оценки зависит от имеющихся у организации данных, их доступности, стоимости сбора информации.

Практическая значимость внедрения для организаций состоит в следующем:

1. Обеспечение стабильного и долгосрочного преимущества предприятия перед конкурентами и постоянное его поддержание.
2. Обеспечение предприятию максимальной гибкости и адаптивности к рыночной конъюнктуре за счет получения оперативных и объективных данных от использования систем показателей и выработки на их основе стратегии (например, реструктуризации производства или выделения бизнес-единиц).
3. Обеспечение обоснованности принимаемых стратегических решений на основе применения стратегически ориентированных подходов путем потенциальных улучшений внутренней среды организации и учета внешней среды управления.
4. Повышение эффективности управления организацией на основе развития её ключевых компетенций.

#### Библиографический список

1. Каплан Роберт С., Нортон Дейвид П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003, 304с.: ил.
2. Мейер, Маршал В. Оценка эффективности бизнеса. Пер. с англ. – М.: ООО «Вершина», 2004. – 272 с.
3. Нивен Пол Р. Сбалансированная Система Показателей – шаг за шагом: Максимальное повышение эффективности и закрепление полученных результатов: / Пер. с англ. – Днепропетровск: Баланс-клуб, 2003. – 328с.
4. Ольве, Нильс-Горан, Рой, Жан, Веттер, Магнус. Оценка эффективности деятельности компании. Практическое руководство по использованию сбалансированной системы показателей: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 304с.: ил.
5. Рожков, А.А. Ресурсно-результативный подход к оценке эффективности корпораций / А.А. Рожков // Финансы и кредит. – 2003. – №8 (122). – С. 2–11.



## ОБРАЗ ДВОРЯНСКОЙ УСАДЬБЫ В РАССКАЗЕ И.А. НОВИКОВА «ПЕТУХ» КАК АРЕНА МИРОВОЙ БОРЬБЫ ДОБРА И ЗЛА

О.А. ПОПОВА, *асп. каф. русской литературы Пермского государственного университета*

Многогранное творчество И.А.Новикова, писателя, драматурга, поэта, оригинального художника символистского круга, на долгие годы было вычеркнуто из русского культурного сознания политикой советского государства, и лишь в 2004 г. в г. Мценске была издана книга его прозы «Золотые кресты», открывшая читателю богатый художественный мир писателя [1].

В ранних произведениях И.А. Новикова (роман «Золотые кресты», рассказы «Петух», «Во имя Господне», «Пчелы-причастницы» и др.) находят отражение идеи философии В.С. Соловьева о всеединстве мира, о вечной женственности как Душе Мира; стремление Д.С. Мережковского к созданию религии новой жизни путем преобразования исторического христианства; общая для символистов тема победы над смертью в свете жертвы, принесенной Христом человечеству, а также пафос миротворчества и мифотворчества.

Одной из ключевых проблем, воплощенных писателем в рассказе «Петух» (1907), является проблема истинной сущности человека и борьбы в людских душах сил света и тьмы, добра и зла, Бога и дьявола. Двухединая концепция личности, совмещения в ней «богочеловеческого» и «человекобожьего», святого и греховного начал была присуща в целом символистскому миропониманию. Однако И.А. Новиков, идя вслед за В.С. Соловьевым, задачу человечества видит в его освобождении от зла, в его нравственном и духовном преображении, в приближении к образу Богочеловечества – мистическим путем эроса, покаяния, искупления.

Борьба двух начал мироздания представляется в рассказе «Петух», как борьба Бога и дьявола, Христа и черта, любви и ненависти, света и тьмы, дня и ночи, жизни и смерти.

Ареной борьбы сил света и тьмы в рассказе «Петух» становится дворянская усадьба, образ которой в произведении И.А. Новикова символичен и представляет собой целостный микрокосмос, особую вселенную, в которой находят отражение всеобщие процессы, определяющие судьбы человечества.

Универсальность свершающихся в рассказе событий подчеркивается символизацией все-

го образного строя произведения. Так, например, символически наполненными оказываются в рассказе такие образы времени, как день и ночь, весна и осень, прошлое, настоящее и будущее. День у И.А. Новикова – это время торжества в мироздании сил добра, света и любви. Противостоящий ему образ ночи – в произведении одушевленный и предельно экспрессивный – концентрирует в себе признаки огромного количества нечистой силы, стремящейся заполнить все пространство дворянской усадьбы, овладеть мыслями и чувствами ее обитателей: «Как чудовище ночь, как бесформенный спрут ползет, не разбирая, жадные шупальца во все извилины тянет, – ни одной пропустить не согласна, все живое в душе ловит – вылавливает, вылизывает, выветривает, сушит, в самые сокровенные, потайные уголки забирается и все смелей, все уверенней лезет, хозяйской рукой все пригребая к себе, смешком темным посмеивается, голову свою выпрямляет победительницей – страшную, слепую, тупую, безглазую, провальную, ненасытную, ненасытимую...» [2, с. 208].

Образ весны символизирует в произведении светлую пору любви, цветения, близости души к небу. Весна вечно – как память о прошлом, о самом чистом и прекрасном – живет в душе. И даже если человек забудет о ней, попав в полон осеннего увядания и тьмы, непременно, по мысли писателя, настанет час торжества весны, и душа вновь расцветет после зимнего сна, освободится от уз равнодушия и ненависти: «Как-то совсем ничего будто и не было: было только двое их, были живые и быстрые молодые карие глаза и чистая, весенняя радость в ее голубых. О, березки и пятна солнца под ними и запах свежей скамьи – вы вечны!» [2, с. 220].

Символичны в рассказе И.А. Новикова также образы обитателей дворянской усадьбы. Одновременно с долей некоторой индивидуализации (без чего не обходится ни один символ, согласно А.Ф. Лосеву) в каждом отдельном образе отражается какое-либо сущностное свойство человеческой души, ее определенное состояние. По мысли И.А. Новикова, основная борьба добра и зла происходит не во внешнем мире, но в душах людей. Именно человеческую

душу как таковую, ее внутренний мир писатель старается раскрыть в своем произведении, постоянно сосредотачивая на этом внимание читателей: «Шептались еще... в закоулочках живички-живунки в душе» [2, с. 208].; «Было горько и пусто в душе»; «Над душой ее он не властен!» [2, с. 218]; «Сыну оставить чистую душу!» [2, с. 219]; «Да и можно ли душу совсем запродать?..» [2, с. 217]; «Как я виноват перед твоею душой...» [2, с. 219]; «Воздух сам зацвел возле расцветшей души, возле ночью открывшейся светлой души...» [2, с. 219].

Главными героями рассказа И.А. Новикова являются помещик, его жена, их маленький сын Серёжа и – Петух. Темные силы, к которым помещик склоняется в определенный момент своей жизни, персонифицируются в рассказе в образе Анчутки беспятого и черной мутной ночи, обволакивающей собою пространство сада, дома и человеческих душ. Анчутка беспятый – в восточнославянской мифологии злой дух, одно из названий черта [3]. В рассказе И.А. Новикова именно он является основным предводителем тьмы, которая как «рать обступала весь дом» [2, с.215], постепенно заползая в души его обитателей: «Да... Все Анчутка беспятый чудит!.. Все делишки его...» [2, с.210]. В рассказе работника Митрия Лысого именно в Анчутку оборачивается барин, допустивший до себя неправду. Между Анчуткой и Христом происходит решающее сражение за жизнь Петуха, за торжество света и любви во Вселенной.

Одной из основных мыслей рассказа И.А. Новикова является непрестанно звучащая в подтексте произведения евангельская заповедь Христа о том, что только детям доступно Царство Небесное. Именно поэтому важную роль в рассказе играет образ мальчика Сережи, который является непосредственным носителем детства, то есть, по мысли писателя, бескорыстной жертвенности, чистоты, искренности, любви. Борьба добра и зла, света и тьмы, любви и ненависти, происходящая в мироздании, глубоко проникает в души взрослых людей, помещика и его жены, но не в силах оказывается подчинить себе чистую душу ребенка. Именно по молитве мальчика остается жить в мире Петух, который к концу произведения вырастает до образа Великого Петуха – залого победы любви и добра над неправдой и ненавистью.

Обращение к теме детства как единственно возможному пути обретения нравственного и

духовного императива характерно для произведений многих художников слова 1900–1910-х гг. Так, в частности, мотив воспоминания «напева молодости», юности, когда душа еще не погрязла в «дьявольском бале» жизни, характерен, как пишет Р.С.Спивак, для поэзии А.А. Блока 1910-х гг.: Это «врожденное представление об идеале... возрождается в воспоминании о юности как идеальная мечта, «прошлый сон» души, таящий смутные указания на предначертанные человеку высоту и чистоту его духовных свершений» [4].

В рассказе И.А. Новикова «Петух» голос детства, напоминающий героям об изначальном, о Божьем, тайно живущем в человеческих сердцах, является толчком к освобождению помещика и его жены от власти темных сил, которые уже были готовы праздновать победу: «Но сердце, с детских лет все одно, многое помнит и многое смеет; благостным чарам его предела никто не заказал ... Да и можно ли душу совсем запродать?..» [2, с. 217]. В начале рассказа, когда ночь и тьма властвуют в окружающем мире, в саду, в доме, в душе помещика и отчасти его жены, в сердцах мужчины и женщины происходит забвение всего светлого и чистого, что прежде наполняло и связывало их, – детства, весны, любви. Но с момента пробуждения, возрождения, обращения к свету и к истине автор в образах героев постоянно подчеркивает черты «детскости»: «Душа, как дитя, вдруг пробудилась в ней и пухлые ручонки свои протянула другой – ах изломанной, но теперь такой милой! – душе...»; «Как малые дети, вместе, близко друг к другу, шли муж и жена»; «именно дети»; «просто и по-детскому»; «как девочка, выбежала из дома она»; «руки их были как дети – белые, прохладные, нежные...»; «отец целовал, смеясь, девочку-маму» [2, с. 219–221].

Состояние детства, детской непосредственности и чистоты, искренности, любви, простоты, «небесности» является, с точки зрения И.А. Новикова, истинной сущностью человека: «Голоса были мягки и нежны, и все глаза походили на небо»; «Вот ведь какие вы – настоящие!» [2, с. 221, 223].

Вопрос об истинной сущности человека – один из основных в рассказе И.А. Новикова. В сердце хозяйки дома живет память о прошлом, о далекой светлой весне, когда она и ее нынешний супруг поклялись жить так, «чтобы небо было в душе..., чтобы души простором дышали...» [2, с. 209]. Однако с годами многое изменилось.

По словам одного из героев рассказа, являющегося носителем народной мудрости, главная причина этих перемен в том, что «барин допустил Анчутку до дела» [2, с. 213]. Мысль о том, что человек может «допустить до дела» либо Бога, либо дьявола, звучит на протяжении всего рассказа. И то, кому человек отдает свое сердце и душу, непосредственное проявление находит в его внешнем образе: человек «черен был нестерпимо» [2, с. 216]; «Это не он, это не тот! Кто-то другой, может быть, дьявол сидел, подбоченясь, в карих умерших глазах и, скаля ей зубы, хрипло кричал в лицо...» [2, с. 210].

Однако чернота души не является, по мысли писателя, отражением истинной природы человека. Тьма меняет только внешний облик усадебного дома, героев, лишь временно овладевает мыслями, речами, поступками людей, не в силах переменить самой их сути. В рассказе неоднократно подчеркивается внешний, по отношению к образу усадьбы и героев, характер тьмы, действия которой – это «пленка», «налет», «туман», «марево», т. е. лишь внешнее «обволакивание» образа. Так, например, ночь окутывает глаза героя «ядовитой пленкой», в связи с чем его карие живые глаза становятся стеклянными и мутными: «... Глаза воспаленные... будто ядовитая пленка пала на них» [2, с. 209]; ночь – «тусклая», «туманная» – все в доме «подернула ... противным серым налетом, затуманила лампы, погасила тихий уют привычных вещей и тусклым маревом окутала самую ясность их отношений» [2, с. 208] – (зд. и далее курсив мой – О.П.). Но, по мысли писателя, рассеется туман, исчезнет налет, марево, пленка – и вновь проявится истинный облик старого и милого всегда дома [2, с. 207], по-детски чистой и светлой души героев. При описании противостояния света и тьмы, добра и зла, при решении вопроса об истинной сущности человека писатель активно использует в рассказе цветовую символику, обращение к которой в целом характеризовало эстетику символизма, особенно, как пишет И.В. Корецкая, младосимволизма: «Младосимволисты существенно изменили, усложнили функцию цвета; придали ему мистический смысл, как в сакральном искусстве или богослужении, сделали «священные цвета» (А. Белый) знаками трансцендентного» [5, с. 711].

Противостоянию света и тьмы соответствует в рассказе И.А. Новикова противопоставление таких цветовых рядов, как «голубой», «бе-

лый», «зеленый», «золотой», «розовый», с одной стороны, и «черный», «серый», в целом – «мутный», с другой стороны. Цвета первого ряда являются цветами детства, весны, лета, зари и передают состояние наибольшей близости души к небу: «Как на картинке, памятной с детства, вставляли перед глазами березы с плакучими долгими ветками; *зеленеет весна* по траве, по новой листве, *голубеет* между ветвями вверху, *золотится* и подымает в их молодой, как клейкая почка готовой открыться, раскрыться, любви... Никогда не было небо так близко» [2, с. 208].

Изначально-светлая природа человека в рассказе «Петух» подчеркивается с помощью таких цветов, как белый и голубой, которые в творчестве символистов соотносятся, как правило, с образом Христа: «Голубая рубашка, голубая душа...» [2, с. 209]; «... А руки их были как дети – *белые*, прохладные, нежные...» [2, с. 220]. Борьба в мироздании двух начал передается в рассказе И.А. Новикова, кроме того, посредством оппозиций: «легкость – тяжесть» и «влажность – сухость». Семантика названных оппозиций в рассказе «Петух» восходит к библейской и сохраняет ее основу. «Легкость» в Священном Писании является признаком жизни Господней («Ибо иго Мое благо, и бремя Мое легко» – Матф. 11:30) и противостоит «тяжести» греха («грех ... тяжел» – Кор. 8:13; «тяжкое рабство» – Ис. 14:3). Образ влаги («влажности») соотносится в Библии с именем Бога («Также влагою Он наполняет тучи...» – Иов 37:11), а «сухости» – с противными Богу действиями зла (притча о сеятеле).

В рассматриваемом нами рассказе И.А. Новикова каждый член названных оппозиций соответствует определенному состоянию души человека. Так, в частности, «тяжесть» души проистекает от самоотдачи человека во власть тьмы (герой ходил, «как бы преодолевая внутри себя огромную *тяжесть*» [2, с. 207]) и сменяется «легкостью» с момента его обращения к свету и любви: «Спешит, торопится женщина, *легкою* девушкой в *легких* одеждах скользит...» [2, с. 222].

Семантика «влаги» в произведении И.А. Новикова так же, как и в Библии, соотносится с небесной природой – с началом любви, чистоты, света: «*Влажными* крупными каплями колышутся пятна от солнца...» [2, с. 208]. «Нечто струящееся, лазурь *капающее*, мягко зовущее и благословляющее, дуновение бережных крыльев

– одело, окутало их, обвеяло, заласкало, закачало, вознесло, преобразило, открыло глаза на незримое...» [2, с. 209]. К семантическому ряду «влаги» относится, кроме того, в произведении образ слез («светлые слезы любви», «детские слезы»), росы («А пальцы их рук были как лепестки *росных* цветов на заре» [2, с. 220]) и «оттепели сердца» («Будто легкая *оттепель* мягким туманом обвела сердце» [2, с. 218]). Образу «влаги» противостоит в рассказе образ «сухости», указывающий на господство в душе героя сил зла: «Неумело и мертвенно имя Его звучит на губах после слов об основах: ночь прошлась по губам, *подсушила* их» [2, с. 208].

В борьбе двух начал бытия победа в рассказе И.А. Новикова «Петух» принадлежит свету и добру. Выражением этого становится, в частности, соединение к концу произведения в образе героини черт «легкости», «влажности» и близости к небу: «... *Легкою* девушкой в *легких* одеждах скользит, как *воздушный* вестник, *корабль*» [2, с. 222].

Решающую роль в битве тьмы и света в рассказе И.А. Новикова играет крик Петуха: «Петух успел прокричать» [2, с. 217]. И с этого момента, знаменующего победу света над тьмой, жизни над смертью начинается возрождение человеческих душ и их очищение от пластов «долголетних корявых наростов» [2, с. 219].

Сакральный мотив победоносного крика петуха является достаточно характерным для славянской мифологии. Как пишет В.Н. Топоров, «мотив петуха, разгоняющего своим криком нечистую силу и отпугивающего мертвецов, образует кульминацию в особом типе сказок, постоянен в быличках» [6, с. 310]. Согласно С.П. Бушкевичу, «ночью после первого крика петуха у русских принято было креститься со словами « Слава Богу! Свят Дух по земли, а дьявол сквозь земли, теперь бояться нечего»» [7, с.307].

В рассказе И.А. Новикова Петух назван «птицей, угодной Богу» [2, с. 213]. В произведение включена легенда о том, что после распятия Христа воскрес жареный Петух на столе у священников и тем самым ознаменовал истинность воскресения Спасителя. Согласно данной легенде, воскресение Христа происходит в полночь, после крика Петуха: «... В самую полночь, когда запел Петух, и воскреснул Спаситель-то!» [2, с. 214]. И оттого каждую ночь под самую полночь сгущается тьма в мире, но с криком Петуха

она отступает и – «так будто бы легче и станет...» [2, с. 214].

В рассказе И.А. Новикова образ Петуха символизирует собою торжество Бога во Вселенной. Возрастая к концу произведения до образа Великого Петуха, он наделяется особой миссией, особым символическим содержанием: быть на земле проводником Божьего гласа, несущего в себе победу над тьмой и освобождение всему миру: «Ему снилось еще, что Петух по всей деревне, по всей земле пошел и везде, где видел замок, кричал: – Ку-ка-ре-ку!» [2, с. 221].

Образ Петуха в произведении И.А. Новикова отличается от аналогичного образа в фольклоре, поскольку писатель, прибегая к контаминации фольклорных и собственно авторских черт, совмещает в образе Петуха черты пророка Божьего и самого Христа-Спасителя: «Засмеялся Сережа, протянул ручонки к отцу, да про Петуха опять вспомнил: – Где же Петух? – Оглянулся, а Христос стоял рядом. Сказал Христос: – Ну, я пойду теперь дальше. И исчез» [2, с. 221]; «Все были, как дети: Великий Петух был живой среди них» [2, с. 223].

И.А. Новикову как писателю свойственен общий для символистов пафос мифотворчества, стремление осмыслить «вещи как символы, а символы как мифы» [8, с. 143]. В дворянской усадьбе И.А. Новикова как в особой вселенной происходит явное столкновение скрытых от внешних глаз сил. Образы Христа и Анчутки, предельно экспрессивный и одушевленный образ ночи, образ Петуха как Божьего воина и вестника Божьего на земле – все это, с точки зрения писателя, не метафоры, но реально существующие в мироздании силы, и рассказ И.А. Новикова является повествованием о «мистическом событии», о «космическом единстве» [8, с. 158], постигнутом художником.

Важной для мировоззрения писателя является отраженная в рассказе мысль о глубокой взаимосвязи и взаимозависимости всех сущностей мироздания. Такое мироощущение И.А. Новикова уходит корнями в христианскую этику и в философию всеединства, раскрывшуюся в умозрениях древнегреческих философов (Анаксагор, Платон, неоплатонизм), проходящую через всю европейскую философию (Экхарт, Спиноза, Шеллинг), ставшую одной из основных тем русской религиозной философии (В.С. Соловьев, С.Л. Франк, П.А. Флоренский).



Непосредственно в рамках рассматриваемого нами рассказа после крика Петуха, знаменующего людям о свободе, которую две тысячи лет назад даровал миру Христос, происходит освобождение души помещика от власти тьмы; прощение и освобождение из амбара мужика-крестьянина, совершившего у помещика некую кражу; освобождение щенка, попавшего в погреб дома и замеревшего от страха перед большой черной крысой.

Помещик, крестьянин и щенок в контексте рассказа представляют собой звенья единой цепи жизни, и судьбы их оказываются в непосредственной зависимости друг от друга, как связаны между собой замки амбаров и замки сердечные: «Пусть падают, падают, пусть рушатся все стены и застенки, пусть открываются все запоры дверные, все замки сердечные...» [2, с. 222].

Образ дворянской усадьбы в рассказе И.А. Новикова «Петух» представляет собой мир, где идея всеединства может получить наглядное воплощение, где может быть достигнуто желанное автором соединение всех «тварей земных», которые в единстве друг с другом предстают как малые дети перед лицом Единого Бога: «Этот день был другой, чем все прежние дни. Все ходили и улыбались, не зная чему. Голоса были мягки и нежны, и все глаза походили на небо. Все были, как дети, и никто не знал, отчего. Все были, как дети: Великий Петух был живой среди них» [2, с. 223].

Представление о дворянской усадьбе как об особом гармонично устроенном мире, где получает воплощение полнота бытия с её радостями и страданиями, мечтами и действительностью, обретениями и потерями, встречами и разлуками, где человеческая душа может развиваться гармонично и целостно, является характерным для творчества И.А.Новикова. Именно в таком мире, какой являет собой образ дворянской усадьбы в произведениях писателя, во всей полноте могут быть воплощены основные сущностные законы мироздания.

#### Библиографический список

1. Спивак, Р.С. Новое религиозное сознание и поэтика житнетворчества в романе И.А.Новикова «Золотые кресты» / Р.С. Спивак // Библия и научная культура: сб. науч. тр. Перм. ун-т. – Пермь, 2005. – С. 57–60.
2. Новиков, И.А. Золотые кресты: Роман. Повести и рассказы / И.А. Новиков. – Мценск, 2004.
3. Иванов, В.В. Анчутка. Славянская мифология. Энциклопедический словарь / В.В. Иванов, В.Н. Топоров.. – М.: Эллис Лак, 1995. – С. 35.
4. Спивак Р.С. Русская философская лирика. 1910-е годы. И. Бунин, А. Блок, В. Маяковский: Учебное пособие / Р.С. Спивак. – М: Флинта: Наука, 2003. – С. 229.
5. Корецкая, И.В. Символизм. Русская литература рубежа веков (1890 -е – начало 1920-х годов). Книга 1.– ИМЛИ РАН. / И.В. Корецкая. – М: «Наследие», 2000. – С. 688–731.
6. Топоров, В.Н. Петух. Мифы народов мира. Энциклопедия в 2 т / В.Н. Топоров. – М.: Сов. энци.,1992. – С. 309–310.
7. Бушкевич, С.П. Петух. Славянская мифология. Энциклопедический словарь / С.П. Бушкевич. – М.: Эллис Лак, 1995. – С. 307–308.
8. Иванов, В. Родное и вселенское / В. Иванов. – М.: Республика, 1994.

## О РОЛИ ПРАВИТЕЛЬСТВА И ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ В ОРГАНИЗАЦИИ ВОЕННОЙ ПОДГОТОВКИ И ПОДГОТОВКЕ ОФИЦЕРОВ ЗАПАСА ИЗ ЧИСЛА СТУДЕНТОВ ГРАЖДАНСКИХ ВУЗОВ

В.С. БОЧАРОВ, *советник аппарата Правительства Российской Федерации*

**П**отенциал высшей школы с момента ее образования во все периоды истории государства активно использовался для комплектования армии и флота. В императорской России в первой половине XIX в. вольноопределяющиеся, в число которых входило значительное количество выпускников вузов, составляли до 75 % общей численности офицерского корпуса. Лица с высшим образованием в массовом порядке использовались также в качестве военных врачей и военных чиновников.

В дореволюционное время в России специальной системы военного обучения студентов в высших учебных заведениях не существовало, необходимый курс военной выучки выпускники высшей школы приобретали непосредственно при прохождении службы в войсках в течение трех или шести месяцев.

Военная подготовка студентов вузов является важнейшим источником комплектования мобилизационных ресурсов страны. С экономической точки зрения это наиболее целесообразный путь подготовки офицерского резерва.

Кроме того, на современном этапе реформирования Вооруженных Сил значительное количество выпускников высших учебных заведений, прошедших обучение по программам подготовки офицеров запаса, призываются в войска для прохождения службы на должностях младшего офицерского состава. По информации военной печати данная категория преобладает на первичных офицерских должностях – командиров взводов и им равных. Службу бывшие студенты проходят во всех регионах России, включая так называемые «горячие точки», и от уровня их подготовки в значительной степени зависит успешность выполняемых воинскими частями и подразделениями служебно-боевых задач.

Анализ аспектов деятельности роли Правительства и федеральных органов исполнительной власти по совершенствованию основ военной подготовки студентов в высших учебных заведениях обусловлен необходимостью повышения ка-

чественных параметров подготовки офицерских кадров для Вооруженных Сил и определением эффективных путей ее совершенствования.

Так, после окончания гражданской войны (1918–1921) перед правительством СССР стояла задача хозяйственного восстановления страны, что, в свою очередь, предопределило значительное сокращение военных расходов, численности Вооруженных Сил и проведение военной реформы (1924–1925).

18 сентября 1925 г. был принят «Закон об обязательной военной службе». Это был первый общесоюзный закон о несении военной службы гражданами страны в возрасте от 19 до 40 лет. В соответствии с законодательством было решено комплектовать дивизии Рабоче-крестьянской Красной армии (РККА) двух типов – кадровые и территориальные. В кадровых дивизиях личный состав нес службу постоянно в течение всего срока службы. В территориальных дивизиях рядовые несли службу способом сборов, в течение 5 лет их ежегодно призывали на сборы длительностью несколько месяцев. Командный состав в территориальных дивизиях нес службу непрерывно. Это позволяло территориальным дивизиям в течение года обучать четыре состава рядовых.

Готовить резервы командного состава таким образом было неприемлемым в связи со сложностью этой формы подготовки и большими экономическими затратами.

Резкое сокращение численности Вооруженных Сил привело к необходимости использования возможностей гражданской высшей школы для подготовки как кадровых офицеров, так и командных кадров запаса.

На основе предложения, подготовленного М.В. Фрунзе, постановлением ЦИК и СНК от 20 августа 1926 г. в вузах и техникумах вводилась высшая допризывная военная подготовка студентов (ВДВП): «В целях сокращения срока непрерывной службы в кадровом составе РККА граждан, окончивших высшие учебные заведения и техникумы, а также облегчения подготовки из

них среднего начальствующего состава и квалифицированных работников предприятий военного времени, признать необходимым ввести в вузах и техникумах высшую допризывную подготовку начиная с 1926–1927 учебного года».

Постановление обязывало создавать в вузах и техникумах военные кабинеты, которые возглавляли военруки учебных заведений.

13 августа 1930 г. был принят новый Закон об обязательной военной службе, в соответствии с которым в высших учебных заведениях вводилась высшая вневоинсковая подготовка студентов. В статье 160 Закона указывалось: «Трудящиеся, обучающиеся в высших учебных заведениях и техникумах, проходят высшую вневоинсковую подготовку. Эта подготовка является действительной военной службой и заменяет для них срочную службу в кадрах».

Возрастание военной опасности в середине 30-х гг. XX в. заставило отказаться от территориально-кадрового принципа комплектования войск и перейти к полностью кадровой армии. В соответствии с этим летом 1937 года правительство СССР приняло решение о подготовке студентов к действительной военной службе в звании рядовых.

Допризывная военная подготовка вводилась постепенно. В высших учебных заведениях должны были завершить обучение студентов набора 1936 и 1937 гг. по предыдущим программам военной подготовки и только после этого приступить к обучению по новой программе. Набор 1936 г. выпускался в 1938 г., а 1937 г. – в 1939 г. С этого же года студенты второго курса приступили к изучению программы допризывной военной подготовки.

Программа по военной подготовке была введена приказом Всесоюзного комитета по делам высшей школы при СНК СССР № 442 от 5 августа 1939 г. Впоследствии этот вид военной подготовки студентов был закреплен законом «О всеобщей воинской обязанности», принятым Верховным Советом СССР 1 сентября 1939 г. К военному обучению привлекались все студенты – мужчины и женщины, независимо от возраста и годности к военной службе. В статье 77 главы VIII Закона «О начальной и допризывной подготовке молодежи» указывалось: «Допризывную военную подготовку проходят... студенты высших учебных заведений, за исключением прошедших действительную службу».

Приказом Всесоюзного комитета по делам высшей школы при СНК СССР (ВКВШ) № 442 от 5 августа 1939 г. «О мероприятиях по улучшению военной подготовки в вузах» было предписано организовать в крупных учебных заведениях военные кафедры. Главным управлениям учебных заведений (ГУУЗ) наркоматов необходимо было представить на утверждение в ВКВШ списки вузов, в которых должны были быть организованы военные кафедры и кандидатуры на замещение должностей начальников военных кафедр. Во всех остальных вузах руководство военной подготовкой требовалось возложить на одного из старших преподавателей – военного руководителя, кандидатура которого утверждалась ГУУЗ наркоматов и ведомств.

Этим же приказом утверждалась представленная отделом вузов обороны и оборонной промышленности программа военной подготовки студентов вузов.

С началом Великой Отечественной войны боевые действия по защите государства приняли крайне напряженный характер. В 1941 г. было мобилизовано 75 % всех офицеров запаса, значительную часть которых составляли выпускники вузов. В стране возникла необходимость массовой подготовки военно-обученных резервов для фронта.

В связи с этим 17 сентября 1941 г. Государственный комитет обороны принял постановление «О всеобщем обязательном обучении военному делу граждан СССР». Для организации и руководства военной подготовкой населения было создано Главное управление всеобщего военного обучения (Всевобуч), которое возглавил генерал-майор Н. Пронин. В военных округах, в областных, краевых и республиканских военных комиссариатах образовывались отделы Всевобуча, в штаты районных военных комиссариатов вводились по 2–3 инструктора Всевобуча. Военная подготовка в системе Всевобуча проводилась в объеме 110 часов и охватывала всех граждан мужского пола от 16 до 50 лет.

Для высших учебных заведений в октябре 1941 г. совместным приказом Главного управления всеобщего военного обучения НКО СССР и Всесоюзного комитета по делам высшей школы при СНК СССР было утверждено положение «Об организации военной подготовки студентов высших учебных заведений в 1941/42 учебном году».

Опыт использования офицерских кадров, получивших первоначальное военное образование в стенах гражданских учебных заведений, в годы Великой Отечественной войны показал, что на военных кафедрах вузов целесообразно осуществлять не только первичное военное обучение студентов, но и подготовку офицерских кадров. Совет Народных комиссаров СССР своим постановлением № 413 от 13 апреля 1944 г. утвердил Положение о военной подготовке студентов высших учебных заведений. Ее основными целями являлись:

- воспитание студенческой молодежи в духе беззаветной любви к Родине и преданности советской власти;

- подготовка дисциплинированного, физически крепкого и выносливого, овладевшего военным делом офицерского состава запаса Красной Армии;

- подготовка студентов, признанных годными к строевой службе, а также студенток для несения тыловой и вспомогательной технической службы в Красной Армии.

Руководство военной подготовкой студентов возлагалось на Народный комиссариат обороны СССР и Комитет по делам высшей школы при Совнаркоме СССР. Они же определяли правила военной подготовки в каждом вузе и разрабатывали учебные программы, которые утверждались Председателем ВКВШ при СНК СССР и командующим (начальником) соответствующего рода войск.

Система подготовки офицеров запаса на военных кафедрах в послевоенные годы развивалась с учетом коренных изменений в военном деле. В этот период начинается процесс технического перевооружения Вооруженных Сил, на оснащение армии и флота начинает поступать принципиально новая боевая техника.

Рост технической оснащенности войск потребовал серьезного улучшения подготовки военных кадров, технически грамотных, умелых, стойких морально и психологически. Развитие военного дела предъявляло повышенные требования и к подготовке офицерских кадров запаса.

Поиск эффективных способов военного обучения студентов совпадал с поисками средств улучшения работы высшей школы в целом. В 1958–1963 гг. правительство страны приняло ряд мер по улучшению качественного состава студентов вузов.

Постановление Совета Министров СССР от 28 мая 1958 г. устанавливало преимущество при зачислении в высшую школу для лиц с двухлетним стажем работы на производстве или прошедших действительную военную службу. Обучаемые этой категории своим серьезным подходом к учебе и жизни укрепляли студенческие коллективы, устанавливали в них более серьезное и ответственное отношение к военной подготовке, которая была обязательной для всех студентов-мужчин.

Кроме того, в целях повышения качества обучения, эффективности полевой выучки и физической закалки студентов занятия на военных кафедрах рекомендовалось проводить методом «военного дня». При этом каждый учебный взвод студентов прибывал на занятия по военной подготовке один раз в неделю на целый день. Эти меры давали возможность проводить длительные (продолжительностью 6 часов) занятия в поле, улучшить практическую выучку будущих офицеров. Дополнительно к плановым занятиям предусматривалась двухчасовая самостоятельная подготовка студентов, тренировки по строевой, огневой, физической подготовке, мероприятия политико-воспитательной работы.

В 1959 г. эти подходы к организации подготовки офицеров запаса были изложены Министерством обороны СССР в «Указаниях по проведению военной подготовки в вузах и средних специальных учебных заведениях».

С этого времени руководство Вооруженных Сил начинает целенаправленно работать с военными кафедрами, регулярно разрабатываются руководящие документы по организации их деятельности. С 1964 г. учебно-методическая работа на кафедрах стала определяться новой «Инструкцией по проведению военной подготовки студентов на военных (военно-морских) кафедрах, циклах (отделениях) гражданских высших и средних специальных учебных заведений».

Новый этап в развитии военной подготовки студентов начался в 1967 г., когда был принят новый Закон СССР о всеобщей воинской обязанности. Закон сократил на один год срок действительной военной службы, ввел начальную военную подготовку молодежи, разрешил призыв в армию на 2–3 года молодых офицеров запаса.

В тоже время, Закон (статья 61) предусматривает возможность призыва молодых офицеров запаса из числа выпускников гражданских



учебных заведений, на действительную военную службу в мирное время сроком на 2–3 года. Офицеры, подготовленные в гражданских вузах, приобретут в войсках армейскую закалку и необходимый опыт практической работы по военной специальности. Эта мера имела большое значение для повышения обороноспособности страны и накопления резерва военных кадров.

Предусмотренная Законом возможность призыва выпускников военных кафедр на действительную военную службу сроком на 2–3 года потребовала существенного совершенствования деятельности кафедр по разработке эффективных мер улучшения качества военного обучения студентов.

Поскольку значительная часть офицеров запаса стала призываться в Вооруженные Силы после окончания вуза Министерство обороны СССР и Министерство высшего и среднего специального образования СССР стали уделять больше внимания деятельности военных кафедр. В 1968 г. были введены в действие новые «Организационно-методические указания по планированию и проведению военной (военно-морской) подготовки студентов, курсантов и учащихся высших и средних специальных гражданских учебных заведений», которые впоследствии уточнялись и переиздавались в новой редакции в 1975 г. и 1985 г.

В связи с потребностями мощных Вооруженных Сил СССР в офицерском составе, в его резервах количество военных кафедр к 90-м гг., по сравнению с 40-ми гг., возросло вдвое.

К 1990 г. в структуру военной подготовки входил 441 гражданский вуз, в них осуществлялось обучение по всем командным, инженерно-техническим и административно-хозяйственным профилям, включая ряд специальностей, по которым в высших военных учебных заведениях подготовка не проводилась. Военные кафедры обеспечивали ежегодное воспроизводство более 100 тыс. офицеров запаса, необходимых как для резерва, так и для кадровых формирований всех видов Вооруженных Сил СССР.

Общий уровень военно-профессиональной подготовки офицеров запаса по ряду наукоемких военно-учетных специальностей соответствовал уровню подготовки офицеров-выпускников военно-учебных заведений. Материальные затраты государства на подготовку одного офицера запаса были в 4–5 раз ниже, чем на подготовку

соответствующего кадрового офицера в военном учебном заведении.

В связи с изменившейся общественно-политической обстановкой в стране на рубеже 80–90-х гг. начался пересмотр руководящих документов по организации военного обучения студентов высших учебных заведений.

В Положении о военной подготовке студентов по программам подготовки офицеров запаса, утвержденном в 1990 г., закреплялся добровольный принцип прохождения военной подготовки на основе заключения контракта между Министерством обороны и студентом; предусматривалась выплата дополнительной стипендии студентам, успешно осваивающим программу военной подготовки (25 % надбавки от базовой вузовской стипендии студентам, прошедшим срочную службу в войсках, и 15 % надбавки к стипендии студентам, не прошедшим такой службы); частично изменялось содержание программ подготовки офицеров запаса (вместо курса партийно-политической работы вводился курс воспитательной работы с личным составом).

При распаде СССР в Российской Федерации осталось 252 высших учебных заведения, при которых имелись военные кафедры.

К 2000 г. военное обучение студентов проводилось при 241 гражданском учебном заведении по 266 военно-учетным специальностям, ежегодный выпуск офицеров запаса составлял более 55 тыс. человек. Обучением на военных кафедрах было охвачено более 217 тыс. человек, из них – 187,3 тыс. человек мужчин и около 30 тыс. женщин.

В связи со сложным социально-экономическим положением Вооруженных сил в настоящее время наблюдается массовый отток из нее военнослужащих контрактной службы, особенно офицеров первичного звена «расчет, взвод, рота». Для восполнения текущего некомплекта офицеров в этом звене активно используются ресурсы военных кафедр гражданских вузов. По состоянию на 2003 г. до 40 % должностей командиров взводов в отдельных округах укомплектованы офицерами – выпускниками военных кафедр гражданских вузов.

В современных условиях обучение по программам подготовки офицеров запаса на военных кафедрах проходят граждане, обучающиеся в высших учебных заведениях по очной форме, годные по состоянию здоровья к военной службе,

отвечающие требованиям, установленным Федеральным Законом «О воинской обязанности и военной службе», и заключившие с Министерством обороны Российской Федерации контракт об обучении по программе подготовки офицеров запаса на военной кафедре и о прохождении после получения воинского звания офицера военной службы по призыву продолжительностью 24 месяца в порядке, установленном этим Законом. Гражданин, не заключивший такой контракт, не может обучаться на военной кафедре.

Обучение студентов по программам подготовки офицеров запаса является частью добровольной подготовки граждан к военной службе и осуществляется в высших учебных заведениях, перечень которых утверждается Правительством Российской Федерации. Оно включается в государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования как дополнительная образовательная программа.

Военная подготовка базируется на знаниях, получаемых студентом в вузе, и рассчитана на 450 часов аудиторных занятий на военной кафедре. Кроме этого, студенты в течение 30 суток проходят учебные сборы или стажировки в воинских частях. Учебные сборы являются завершающим этапом обучения студентов по программам подготовки офицеров запаса. К учебным сборам допускаются студенты, прошедшие курс обучения на военной кафедре, и сдавшие установленные зачеты и экзамены по программам подготовки офицеров запаса. В период прохождения учебных сборов или стажировок на студентов распространяются права и обязанности призванных на военные сборы, установленные законодательством Российской Федерации

По завершении учебных сборов студенты сдают государственный выпускной экзамен.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 14.11.1999 г. № 1255 функции руководства военным обучением студентов распределены между несколькими субъектами управления.

На органы управления Министерства обороны возложено:

- разработка государственных образовательных стандартов, квалификационных требований, программ подготовки офицеров запаса и методик обучения по каждой военно-учетной специальности;

- организация и проведение со студентами учебных сборов в войсках,

- обеспечение военных кафедр вооружением, боеприпасами, военной техникой, автомобильным транспортом, горюче-смазочными материалами, учебной литературой и другим имуществом,

- ремонт, монтаж и наладка вооружения, военной техники и автомобильного транспорта военной кафедры;

- обеспечение работ, связанных с транспортировкой вооружения, техники и имущества военной кафедры, проведение мероприятий горного и промышленного надзора и метрологического обеспечения;

- осуществление контроля за обучением студентов по программам подготовки офицеров запаса и соблюдением на военной кафедре государственной тайны.

Министерство образования определяет в учебных планах образовательных программ вузов порядок обучения студентов по программам подготовки офицеров запаса и создает для этого необходимые условия.

Ректор вуза несет персональную ответственность за организацию обучения студентов по программам подготовки офицеров запаса, создание необходимой учебно-материальной базы для военной кафедры, обеспечение сохранности вооружения и военной техники, соблюдение государственной тайны. Кроме того, ректор обеспечивает выделение необходимого количества учебных часов для военного обучения студентов, в том числе для приема экзаменов и зачетов и на подготовку к ним, организует регулярное обсуждение на заседании ректората и ученого совета вуза состояния обучения студентов по программам подготовки офицеров запаса.

Для координации деятельности педагогических коллективов военных кафедр по вопросам методики обучения, повышения эффективности и качества учебного процесса и выработки рекомендаций по их совершенствованию при одном из вузов может создаваться учебно-методическое объединение, а по группам военно-учебных специальностей учебно-методические советы, в состав которых включаются наиболее квалифицированные специалисты из числа профессорско-преподавательского состава военных кафедр, представители видов Вооруженных Сил, родов войск. Их деятельность регламентируется поло-

жениями, разрабатываемыми и утверждаемыми Министерством образования.

Учебно-методическое объединение вузов по военному обучению студентов было создано в сентябре 1991 г.

Его основными задачами являются:

- участие в разработке проектов нормативных документов, определяющих организацию и порядок обучения студентов вузов по программам подготовки офицеров запаса;

- выработка предложений по совершенствованию структуры и содержания учебных программ;

- разработка и экспертиза учебно-методической документации, необходимой для обеспечения учебно-воспитательного процесса на военных кафедрах;

- рецензирование подготовленных на военных кафедрах к изданию рукописей учебников и учебных пособий;

- проведение конференций, семинаров и совещаний по проблемам военного обучения студентов.

Учебно-методические советы по военному обучению студентов по направлениям подготовки видов Вооруженных Сил, родов войск были созданы приказом Государственного комитета СССР по народному образованию от 26.09.1991 г.

№ 423. Их общее количество – 24, а функции, в основном, аналогичны функциям учебно-методического объединения только в рамках своей специализации.

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие заключения:

Основы современной системы подготовки офицеров запаса были заложены до начала Великой Отечественной войны и в дальнейшем эволюционировали в соответствии с потребностями государства, которые отразились в правовых и нормативных документах различных органов государственной власти. Результатом сложившейся военно-профессиональной подготовки студентов в учреждениях высшего профессионального образования можно считать добровольное военное обучение на контрактной основе с возможным прохождением военной службы по призыву на первичных офицерских должностях сроком два года.

Новый этап развития нашего государства, несомненно, предполагает реформирование организации военной подготовки в системе высшего профессионального образования в новых условиях. Важно, чтобы при принятии новых правовых актов Правительством и федеральными органами исполнительной власти сохранилась «эволюционность» реформирования военного обучения.

## ВОЕННАЯ ПОДГОТОВКА В МЛТИ – МГУЛ (ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА)

А.А. ЗАТЫЛКОВ, *полковник, начальник факультета военного обучения МГУЛ*

**В**озникновение и становление военной кафедры в Московском государственном университете леса (МЛТИ) неразрывно связано с историей Вооруженных Сил Российской Федерации.

Известно, что 15 июля 1943 г. Постановлением Совета Народных Комиссаров № 771 Московский лесотехнический институт был открыт на станции Строитель Мытищинского района Московской области, и этим же Постановлением была образована военная кафедра, занятия на которой начались с 1 октября 1943 г. Перед кафедрой ставилась задача подготовки специалистов по двум специальностям – общевоинской и медицинской (для девушек). Военная кафедра формировалась в весьма короткие сроки. Предстояло решить немало сложных проблем. Надо

было развернуть соответствующую учебную материально-техническую базу, укомплектовать кафедру педагогическими и инструкторскими кадрами. Исключительно важное значение придавалось разработке организационной структуры кафедры, подбору и расстановке кадров. Первым начальником военной кафедры был назначен полковник С.Б. Адамович.

В основу подготовки специалистов были положены практические навыки и умение действовать в любых условиях обстановки при ведении боевых действий; особое значение придавалось подготовке патриотов, стойких и решительных защитников Родины. После войны продолжалась подготовка молодежи к службе в Вооруженных Силах по тем же специальностям. В 1945 г.

начальником кафедры назначается полковник Л.С. Васильев, а начальником учебной части – полковник Ширин Федор Федорович, кавалер четырех орденов Красного Знамени.

Подготовка медицинских сестер велась до 1947 г. В 1949 г. начальником военной кафедры назначают генерал-майора П.И. Киселева, а в 1953 – полковника Ф.М. Гресько; начальником учебной части был назначен полковник А.В. Захаркин. С 1956 года меняется профиль подготовки студентов военно-учетным специальностям; на кафедре приступили к подготовке студентов по трем специальностям – общевойсковой, аэродромно-строительной и штурманской, что потребовало существенной перестройки учебного процесса.

Необходимо было подобрать кадры, создать учебную материально-техническую базу.

В 1955 г. начальником военной кафедры назначают полковника Ф.Г. Курдубова (штурман), на должности преподавателей – офицеров с академическим образованием, участников Великой Отечественной войны, награжденных орденами и медалями СССР. Основателями штурманского цикла были преподаватели полковники П.А. Прокофьев, А.К. Плесский, Ю.М. Яцуба, Б.А. Припольцев, А.М. Апрышкин, Герой Советского Союза полковник С.М. Романов, который в годы войны бомбил Берлин и входил в состав экипажа самолета по доставке заместителя Председателя ГКО, члена Ставки ВГК В.М. Молотова в Нью-Йорк на дипломатическую встречу.

На кафедре был разработан и осуществлен целый комплекс практических мероприятий, направленных на улучшение качества и повышения эффективности учебно-воспитательной и методической деятельности, создания учебных планов, программ, классов, учебной и методической литературы и других методических документов и пособий.

В 1957 г. начальником назначают Героя Советского Союза генерал-майора авиации А.А. Гусева, участника Великой Отечественной Войны и боев в Испании. Он написал книгу «В небе Испании» о боевом пути авиационной эскадрильи, которой командовал.

В 1959 г. начальником учебной части был назначен подполковник С.В. Дюбенко (впоследствии начальник кафедры). Он написал вместе с Ю.Н. Соловьевым и Я.Б. Галкиным учебник, в котором был обобщен и изложен в системати-

зированной виде опыт строительства и ремонта военных аэродромов. Методические разработки и пособия внутривузовского издания позволили полностью обеспечить потребности учебного процесса и, прежде всего, самостоятельную подготовку студентов.

Активная работа велась и по штурманскому профилю. Был написан и выпущен Воениздатом учебник «Метеорология», под редакцией полковника П.А. Прокофьева. В 1972 г. был издан учебник «Самолетовождение и бомбометание», под редакцией коллектива авторов, преподавателей кафедры полковников А.М. Апрышкина, Ю.П. Яцубы, А.Г. Асмолова, Б.А. Препольцева. Этот учебник был предназначен для студентов высших гражданских учебных заведений, проходящих военную подготовку по программе штурманов ВВС.

Учебно-материальная база кафедры оснащалась современными техническими средствами. Был построен новый учебный корпус кафедры, что позволило значительно улучшить условия работы преподавателей и студентов.

Для практического обучения студентов штурманского профиля и привития им необходимых навыков в работе на боевой технике использовались самолеты Ил-28, Як-26 и Як-27, на которых проводили практические занятия участник Великой Отечественной войны, ветеран кафедры капитан запаса В.П. Карасев и майор запаса В.Г. Божков.

Учебная база кафедры использовалась также для проведения занятий с офицерами строевых частей и военных кафедр при прохождении ими сборов.

Самое активное участие в совершенствовании учебно-материальной базы принимали полковники С.В. Дюбенко, А.М. Апрышкин, Ю.П. Яцуба, П.И. Борисов, инструкторы практического обучения И.С. Рябушенко, М.А. Марголин, В.П. Карасев, А.И. Седых, М.И. Арищенко, К.И. Хмельникова и другие.

В 1959 г. в институте был открыт новый факультет – «Электроника и счетно-решающая техника» (ФЭСТ). В связи с этим на кафедре стали готовить специалистов по трем специальностям – штурманскому, автомобильному и по приборному и электронному оборудованию летательных аппаратов.

Основателем цикла приборного и электронного оборудования летательных аппаратов



стал полковник А.К. Поткин, участник Великой Отечественной войны; цикла автомобильной подготовки – полковник Б.Н. Тюркин.

Командованию кафедры, всему личному составу вновь пришлось решать сложные задачи по подбору и расстановке педагогических кадров, совершенствованию учебно-материальной базы, написанию методической литературы и созданию учебных пособий.

Дальнейшее развитие получила учебно-материальная база: были оборудованы специализированные аудитории и лаборатории, которые все больше насыщались новой техникой и тренажерами, стендами и макетами.

Большой вклад в организацию и совершенствование учебного процесса внесли такие опытные преподаватели кафедры, как полковники С.П. Кузьмичев, А.М. Апрышкин, подполковники О.Н. Лажечников, А.И. Слепов, А.И. Багров, А.Н. Черенков, В.А. Демидов, В.Ф. Патрушев, Н.П. Кискин, А.Н. Берук, майоры В.И. Иванов, Н.И. Купцов. Подполковник В.А. Осканян, кроме основной работы преподавателя, выполнял большую общественную нагрузку (более 15 лет он возглавлял комитет ДОСААФ). Все они пользовались большим авторитетом и глубоким уважением и на кафедре, и у обучающихся здесь студентов.

В 70-е годы происходят изменения в руководящем составе кафедры. В 1973 г. начальником учебной части назначают полковника В.Е. Калливерду, а с 1976 г. кафедрой стал руководить подполковник Е.В. Бедрицкий, ныне имеющий воинское звание полковника и ученую степень кандидата военных наук.

Перемены, происходящие во всех областях военного дела, требовали переработки учебного и методического материала, создания принципиально новых учебников и учебных пособий.

В 1979 г. был издан учебник «Самолетовождение и бомбометание» для подготовки офицеров запаса ВВС на военных кафедрах и циклах гражданских вузов. В учебнике изложены основные вопросы теории и методики решения задач самолетовождения, бомбометания и десантирования, принципы устройства и способы применения технических средств для указанных целей. Этот учебник разработан авторским коллективом кафедры, в составе полковников А.М. Апрышкина, В.В. Шапарова, подполковника Н.П. Кискина, майора И.И. Красавина.

Продолжала укрепляться и развиваться учебно-материальная база. Большое внимание стало уделяться наглядности обучения. На кафедре совершенствовались действующие модели авиационной автомобильной техники, шире стали использоваться технические средства обучения. Кафедра получила и создала новые образцы тренажеров. Все это позволяло проверять на практике важнейшие теоретические положения, формировать и закреплять профессиональные навыки будущих офицеров.

Большой вклад в совершенствование учебно-материальной базы, обеспечение учебного процесса новым оборудованием внесли полковник В.И. Пономарев и подполковник В.В. Привезенцев.

С 1983 г. на кафедре стали готовить по двум учетным специальностям – штурман корабля ВТА и офицер автомобильных войск. В связи с этим претерпела изменение штатная структура кафедры. Было образовано 4 цикла: самолетовождения (полковник И.М. Тюрин), цикл устройства армейских автомобилей (полковник С.Б. Кривчиков), цикл тактико-специальной подготовки (полковник Г.Ю. Сентебов), цикл тактической подготовки и боевого применения ВТА (полковник А.Н. Калганов).

Учебно-воспитательная работа на кафедре имела цель: подготовить для Вооруженных Сил Российской Федерации офицеров запаса, беззаветно преданных Родине, морально устойчивых, дисциплинированных, обладающих высокими нравственными качествами, а также знаниями, умениями и навыками, необходимыми для успешного выполнения служебных обязанностей по своей военно-учетной специальности.

Важную роль в военно-патриотическом воспитании студентов играли торжественные вечера, собрания, встречи, на которые приглашались ветераны революции и труда, активные участники Великой Отечественной войны. Особенно запомнились встречи с профессором генерал-майором Т.И. Кирилловым, главным штурманом Дальней авиации Героем Советского Союза генерал-майором Ф.С. Яловым, главным штурманом ВВС генерал-лейтенантом В.М. Лавским, главным штурманом ВТА генерал-майором А.В. Медовиковым. Все они пришли в авиацию по комсомольским путевкам в то время, когда Родина обратилась к советской молодежи с призывом «Комсомолец – на самолет».

Интересные, душевные, волнующие встречи наших студентов прошли с Героями Советского Союза – сержантом запаса М.В. Кантария, генерал-майором авиации Г.М. Прокофьевым.

В часы воспитательной работы преподавателями кафедры проводили беседы, лекции патриотической направленности. Исключительно важную работу по воспитанию и обучению проводят ветераны кафедры. Это – полковники запаса В.Е. Каливерда, Н.Н. Щербаков, подполковник запаса З.Г. Шмерлинг, майор запаса В.Г. Божков. Активно участвовали в совершенствовании учебной материально-технической базы майор в отставке В.Е. Чекмарев и капитаны запаса В.П. Карасев и В.П. Мирков.

Кафедра проводила работу по популяризации военно-прикладных видов спорта – стрелкового, автомобильного. В 1983 г. был введен в строй стрелковый тир, где стали проводиться соревнования по пулевой стрельбе из мелкокалиберного оружия.

В соответствии с требованиями программы обучения все студенты автомобильного профиля должны подготовиться и сдать экзамены на право управлять автомобилем (категория «С»).

На кафедре в эти годы служили офицеры-выпускники нашего института, проходившие службу в строевых частях и ставшие кадровыми офицерами. Сейчас они передают свой богатый опыт и знания студентам, активно проводят воспитательную работу. Это – начальник военной кафедры доцент, полковник И.М. Тюрин; заместитель начальника кафедры полковник А.Н. Калганов; лучший методист кафедры, кандидат военных наук полковник В.А. Краснов; начальником учебной части в эту пору посчастливилось быть автору статьи.

В условиях реформирования Вооруженных Сил, сокращения количества военных училищ министр Министерства обороны уделяет самое серьезное внимание подготовке офицеров запаса, как не требующей больших затрат и обеспечивающей ее высокий уровень. По согласованию с Министерством обороны РФ с 1 января 1998 г. приказом Министра общего и профессионального образования РФ в нашем университете впервые открыт факультет военного обучения, в состав которого включены кафедра штурманской подготовки, кафедра автомобильной подготовки, кафедра физического воспитания и спорта. Начальником факультета назначен полковник

И.М. Тюрин. С апреля 2005 г. начальником факультета назначен полковник А.А. Затылков, выпускник МЛТИ 1979 г., проходит военную службу на военной кафедре с 1981 г.

Развитие факультета военного обучения связано в первую очередь с открытием новых военно-учетных специальностей финансово-экономического, юридического и гуманитарного профилей, а также с привлечением к военной подготовке не только юношей, но и девушек.

Несмотря на сложную экономическую ситуацию в армии и в стране в целом руководство факультета при поддержке ректората и ученого совета университета делает все возможное для успешной организации учебного процесса, повышения уровня обучения и воспитания студентов.

Сложившаяся система военно-образовательной деятельности, военно-патриотического воспитания и военно-профессиональной ориентации граждан показала свою эффективность в формировании мировоззрения, патриотических традиций и морально-нравственных ориентиров учащейся молодежи, поколения, которому предстоит в ближайшем будущем участвовать в решении государственных задач.

Потенциал и возможности высшей школы, на базе которой осуществляется военная подготовка, постоянно возрастают. Велика роль научных школ, сложившихся педагогических коллективов высших учебных заведений, интегрированных в единое образовательное пространство страны. Возможность совместного использования учебно-материальной базы гражданского и военного обучения, обеспеченность учебного процесса и студенчества в хозяйственном и бытовом отношениях, эффективный контроль со стороны аппарата управления Минобороны и Минобрнауки России. Этот неполный перечень уникальных особенностей военной подготовки в государственных образовательных учреждениях высшего профессионального обучения – результат грамотных, продуманных и своевременных решений Правительств СССР и РФ.

Военное образование в целом и военная составляющая системы образования РФ нуждаются в реформировании по мере реализации планов и программ военного строительства и обеспечения надежной защиты интересов общества и государства.

Анализируя 80-летнюю историю военного обучения граждан в высших учебных заведениях

можно привести примеры того, как чутко реагирует эта живая и сложная система образования и воспитания на поспешные и непродуманные решения. Осуществление в 80-х годах призыва студентов по окончании первого или второго курсов обучения в ВУЗе привело к резкому сокращению количества студентов, продолживших военное обучение на военных кафедрах, что привело на 3–4 г. к провалу в численности выпуска подготовленных офицеров запаса. Однократное, в 1995 г., изменение порядка аттестования выпускников военных кафедр привело к задержке присвоения офицерского воинского звания.

Процесс сокращения времени, отводимого на стажировку студентов в строевых частях, завершившийся в 1997 г. утверждением программ обучения с единственным 30-суточным учебным сбором, потребовал привлечения офицеров запаса на дополнительные сборы с отрывом от производства или затрат дополнительного времени при вводе в строй офицеров, призванных на действительную военную службу

В условиях проводимых реформ, реализации программ развития образования, в том числе и военного, развертывания работ по реализации национальных проектов ситуация изменяется в лучшую сторону. Престиж военной службы начинает возрастать. Увеличился размер денежного довольствия офицеров. Все большее число выпускников ВУЗов выражают желание пройти военную службу по призыву на офицерских должностях. В рамках Федеральной программы «Реформирование системы военного образования в Российской Федерации на период до 2010 г.» заключены государственные контракты с руководством двадцати

девяти гособразовательных учреждений высшего профессионального образования на проведение в форме эксперимента подготовки офицеров для последующей службы по контракту из числа студентов. Всего набрано 1450 студентов. Такой эксперимент является лучшей формой проверки правильности принятых решений по созданию учебных военных центров при гражданских вузах.

Изменения в законодательные акты Российской Федерации по вопросам обороны и военной службы, принятые в июле 2006 года (№ 96 ФЗ, № 105 ФЗ), предполагают серьезные преобразования в сфере военной подготовки офицеров запаса. Затрагиваются интересы большей части старшеклассников – будущих абитуриентов, студенческой молодежи и профессорско-преподавательского состава. Общество недостаточно проинформировано о деталях проводимой реформы. Компетентные разъяснения можно получить, как правило, лишь в органах военного управления. Но и эта информация – неполная. Пакет нормативных правовых актов и других документов, реализующих указанные законы, только разрабатывается. Этап прохождения его в Правительстве Российской Федерации может занять продолжительное время. В конечном итоге, рассматривая историческую роль Правительства Российской Федерации в организации военной подготовки студентов, есть все основания полагать, что в ближайшее время будут приняты решения, направленные на создание оптимальных условий для подготовки в стране достойных представителей офицерского корпуса Российских Вооруженных Сил.

## МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И СОХРАНЕНИЕ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ» (БИШКЕК, КЫРГЫЗСТАН, 3-7 ОКТЯБРЯ 2006 г.)

С 3 по 7 октября 2006 г. в столице Кыргызской Республики г. Бишкеке прошла Международная научная конференция «Рациональное использование и сохранение лесных ресурсов», посвященная 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки Кыргызской Республики, д-ра биол. наук, проф. Петра Алексеевича Гана (организатор – Институт леса и ореховодства им. проф. П.А. Гана Национальной академии наук Кыргызстана).

П.А. Ган (1916–1993) был ведущим ученым в области лесоводства в Кыргызстане, широко известным специалистом по горному лесоразведению. Он обосновал необходимость организации в республике специализированного института лесного профиля. Благодаря его усилиям была создана сеть лесных опытных хозяйств. П.А. Ганом опубликовано 76 работ, в том числе 8 монографий, разработано 11 практических рекомендаций для лесного хозяйства, 32 монографии изданы под его редакцией. Под его руководством защищено несколько докторских и кандидатских диссертаций. В 1996 г. его имя было присвоено Институту леса и ореховодства.

Институт леса и ореховодства был основан в 1992 г. в системе Национальной академии наук. Ныне в его состав входят четыре лаборатории: лесных культур, лесоводства, защиты леса, лесной экологии. Сотрудники института занимаются лесными фундаментальными и прикладными исследованиями в Кыргызской Республике. Институт неоднократно был участником международных и республиканских выставок. Одной из важных экспериментальных баз института является Ак-Суйское лесное опытное хозяйство, расположенное в поясе еловых лесов хребта Терской Ала-Тоо в Прииссыккулье. Здесь под руководством проф. П.А. Гана отработывались методы выращивания посадочного материала и способы создания лесных культур, были заложены географические посадки деревьев и кустарников из различных районов Советского Союза. Сейчас эти посадки представляют собой очень ценную в научном отношении коллекцию интродуцированных лесных пород. Здесь же создан базисный питомник. В настоящее время в Ак-Суйском ЛОХ продолжаются работы по усовершенствованию методов выращивания посадочного материала, внедрению новых технологий создания лесных культур, разработке способов лесовосстановительных рубок в лесах и рубок ухода в лесных культурах, защите лесов от вредителей.

Основными задачами юбилейной конференции было привлечь внимание ученых разных стран к проблемам лесов Кыргызстана и научными достижениями почтить память известного ученого-лесоведа П.А. Гана.

В конференции приняли участие более 70 человек: ученые из Кыргызстана, России, Казахстана, Узбекистана. С приветственными речами выступили вице-президент НАН КР, академик Ш.Ж. Жоробекова и статс-секретарь Государственного агентства по охране окружающей среды и лесному хозяйству Кыргызстана А.Т. Чыңгожоев и директор Института леса и ореховодства Э.Т. Турдукулова. Был заслушан доклад д-ра. физ.-мат. наук Р.Г. Хлебопоса из Института биофизики СО РАН (г. Красноярск), содержащий теоретический анализ группового метода создания лесных культур П.А. Гана, а также сообщения молодых ученых Кыргызстана – продолжателей дела П.А. Гана. Всего на конференции прозвучал 31 доклад, тематика которых охватывала новейшие достижения лесной науки и практики, как в Кыргызской Республике, так и за ее пределами: лесокультурное дело, проблему устойчивости лесных экосистем, охрану лесов от вредителей и болезней, вопросы интродукции и озеленения, региональные проблемы строения, функционирования и использования лесов. Кроме обмена мнениями в ходе заседаний, участники конференции имели возможность обсудить интересующие вопросы и во время трехдневной экскурсии в еловые леса Прииссыккулья.

Экскурсия была призвана познакомить участников конференции с лесными посадками, произведенными П.А. Ганом и его соратниками в Ак-Суйском лесном опытном хозяйстве, и с работой этого хозяйства. Несмотря на финансовые сложности, оно крепко стоит на ногах и не только поддерживает уже существующие культуры в хорошем состоянии, но и создает новые; выполняются опытные работы, производственные проверки, внедряются завершенные научные разработки по созданию лесных культур, интродукции лесных пород, по повышению производительности и качества лесов. Возглавляет Ак-Суйское ЛОХ И.О. Исмаилов.

Кроме того, участники конференции могли познакомиться с заложенным П.А. Ганом дендропарком «Кара-Ой» на северном берегу Иссык-Куля. Задачей дендропарка является разработка агротехники создания парковых и других типов насаждений в курортной зоне Прииссыккулья, интродукция деревьев и кустарников и отбор наиболее ценных пород для зеленого строительства.

Международная научная конференция «Рациональное использование и сохранение лесных ресурсов» – знаковое явление в жизни Кыргызстана. Такого рода мероприятия необходимы в наше непростое время не только как научные форумы, где происходит обмен идеями и достижениями, а еще и как акты признания обществом нужности лесной науки и практики.

Ю.И. Дробышев,  
Ин-т проблем экологии и эволюции РАН



**Степаненко И.И. ИЗМЕНЕНИЯ В ЖИВОМ НАПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ В ОПЫТАХ С МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ В СОСНЯКАХ РАЗНЫХ ТИПОВ ЛЕСА.**

В статье представлены результаты опытов с минеральными удобрениями и их влияние на живой напочвенный покров в сосняках разных типов леса.

**Stepanenko I.I. THE CHANGES ON PLANT COMMUNITY FOR EXPERIMENTS WITH MINERAL FERTILIZERS IN PINE STANDS OF DIFFERENT FOREST TYPES.**

The research results are presented for experiments with mineral fertilizers and their influence on the plant community in pine stands of different forest types.

**Рыкова Т.В. ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОДМОСКОВНОЙ МЕЩЕРЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЦИНКА (МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ).**

В статье оценивается состояние насаждений сосны различного возраста по следующим параметрам: древостой, живой напочвенный покров, самосев и подрост при различных дозах внесения цинка в почву. Показано влияние фитотоксичности на сосновые экосистемы.

**Rykova T.V. CHANGES OF PARAMETERS OF PODMOSKOVNAYA MESHHERA'S PINE ECOSYSTEMS UNDER THE INFLUENCE OF ZINC (MODELLING EXPERIMENT).**

In the article the condition of pine stands of various age on the following parameters is estimated: forest stand, grass covering, natural regeneration and undergrowth at various doses of carrying in of zinc in ground. The influence of phytotoxicity on pine ecosystems is shown.

**Автухович И.Е., Автухович Е.В. МЕТАЛЛЫ И ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ.**

Представлены результаты полевых, вегетационных и лабораторных экспериментов, целью которых явилось изучение возможностей применения древесных растений в качестве зеленых биофильтров в антропогенной зоне для очистки окружающей среды на основе использования и повышения их природных способностей к детоксикации почв и вод, содержащих тяжелые металлы, а также повышения устойчивости и качества посадочного материала, предназначенного для условий загрязнения.

**Avtuhovich I.E., Avtuhovich E.V. THE METALS AND WOOD PLANT: ECOLOGICAL ASPECTS THE MUTUAL INFLUENCE.**

The results of field, green-house and laboratory experiments are presented, which purpose was the study of possibilities of application of wood plants as green biofilters in an anthropogenous zone for remediation of environment, on the basis of use and increase of their natural abilities to detoxication of soils and waters containing heavy metals, and also increase of survival and quality of seedlings intended for polluted conditions.

**Мордась А.А., Раевский Б.В., Данилова Е.В. ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОСВЯЗЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ.**

У тепличных сеянцев сосны обыкновенной были изучены изменчивость и взаимосвязь набора морфологических черт и биометрических показателей с целью проверки ряда методов ранней диагностики. В процессе исследования была выявлена выравненность полусибовых потомств сосны с клоновых ЛСП по признаку числа семядолей. Сделан вывод о малой эффективности данного метода в селекционной работе на клоновых плантациях. Обнаружена достоверная положительная корреляция ( $r = 0,46-0,63$ ) доли растений с 3-хвойными брахибластами с биометрическими показателями сеянцев и приростом материнских клонов в высоту. Данное положение делает полезным многоступенчатый отбор лучших полусибовых семей и сеянцев в них для целей плантационного лесовыращивания.

**Mordas A.A., Raevsky B.V., Danilova E.V. VARIABILITY AND CORRELATION OF SCOTCH PINE SEEDLINGS' MORPHOLOGICAL TRAITS AND BIOMETRIC CHARACTERISTICS.**

Variability and correlation of Scotch pine greenhouse seedlings morphological traits and biometric characteristics have been investigated in order to test some early diagnostics techniques. Uniformity of half sib families from clonal seed orchards has been found regarding mean cotyledons number. Conclusion has been drawn that this procedure is of minor importance for breeding purposes. Reliable middle-strength ( $r = 0,46-0,63$ ) correlations between 3-needle bunch percentage and the set of clone and seedling biometric characteristics have been revealed. Therefore, multi-stage selective procedure implying choosing of the best families and seedlings in them could be worthwhile for special fast-growing plantations.

**Робонен Е.В., Зайцева М.И., Чернобровкина Н.П., Лебедева Г.А., Озерова Г.П. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАВЛЕНОГО ФОСФОРНО-МАГНИЕВОГО УДОБРЕНИЯ ПФМУ-2 ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ.**

Изучена возможность использования плавленого фосфорно-магниевого удобрения ПФМУ-2 в качестве основной заправки для выращивания сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой. Эксперимент проводили в лесопитомнике в условиях защищенного грунта. Сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) выращивали в жестких пластмассовых кассетах типа Plantek 121. В качестве сырья для приготовления субстрата использовали верховой сфагновый

торф. Удобрения ПФМУ-2 крупного (от 0,25 до 1 мм) и мелкого (менее 0,52 мм) помола вносили в торф в разных дозах в диапазоне от 0,1 до 10 г. на литр. Использование удобрения ПФМУ-2 крупного помола в качестве основной заправки на фоне внесения азотного и калийного удобрений оказало положительное влияние на рост сеянцев сосны обыкновенной.

**Robonen E.V., Zaitseva M.I., Chernobrovkina N.P., Lebedeva G.A., Ozerova G.P. APPLICATION OF THE FUSED MAGNESIUM PHOSPHATE FERTILIZER PFMU-2 TO CONTAINER-GROWN CONIFEROUS SEEDLINGS.**

The feasibility of using the fused magnesium phosphate fertilizer PFMU-2 as the main dressing for container-grown coniferous seedlings was investigated. The experiments were carried out in a forest nursery, in a sheltered-ground site. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings were grown in hard plastic slot cell trays of the Plantek 121 type. The feedstock for the substrate was sphagnum peat from a raised bog. Coarse – (0,25 to 1 mm) and fine-textured (<0,25mm) PFMU-2 fertilizer was added to the peat in doses ranging from 0,1 to 10 g per litre. Application of coarse PFMU-2 as the main fertilizer for the growing substrate of Scots pine seedlings had a positive effect on the growth and development of the plants, when applied together with nitrogen and potassium fertilizers.

**Егорова Н.Н., Кулагин А.А. АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ.**

Исследовалась изменчивость и особенности развития тканей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в экстремальных условиях в течение вегетационного периода. Выявлена сезонная динамика изменчивости ассимиляционного аппарата сосны.

**Egorova N.N., Kulagin A.A. THE ANATOMICAL STRUCTURE OF ASSIMILATE APPARATUS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) IN EXTREME FOREST VEGETATION CONDITIONS.**

The variability and development peculiarity of pine (*Pinus sylvestris* L.) assimilate apparatus tissues, grown in extrem conditions during growing season has been examined. The seasonal dynamics of variability assimilate apparatus of pine (*Pinus sylvestris* L.) was found.

**Марковский А.В., Родионов А.В., Цыпук А.М. СОЧЕТАНИЕ ОХРАНЯЕМЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЛЕСОВ ПРИ ОСВОЕНИИ ЛЕСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ (НА ПРИМЕРЕ КАРЕЛИИ).**

В работе рассмотрены принципы сочетания неэксплуатационных и эксплуатационных лесов для планирования лесопользования в регионе. Приведены результаты полевых исследований по выявлению неэксплуатационных лесов в Республике Карелия и рекомендации по совершенствованию сети особо охраняемых природных территорий этого региона.

**Markovsky A.V., Rodionov A.V., Tsybuk A.M. COMBINING PROTECTED AND EXPLOITABLE FORESTS IN THE PROCESS OF FOREST SITES DEVELOPMENT (CASE STUDY OF KARELIA)**

The article is devoted to the principles of combining exploitable and non-exploitable forests for forestry planning. Results of field researches on revealing and non-exploitable forests in Republic Karelia are presented and recommendations for improving Karelian network of strictly protected natural territories are outlined.

**Рыжова Е.В. ТЕХНИЧЕСКАЯ ОСНОВА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ.**

В статье рассматриваются вопросы использования космических систем наблюдения с целью получения оперативной и достоверной информации для оценки экологического состояния лесов с применением временных рядов. Выполнен сравнительный анализ существующих космических систем наблюдения, на основании которого предложена система мониторинга лесов, которая позволит при ограниченных затратах получать максимум информации о состоянии лесного фонда России.

**Ryzhova E.V. THE TECHNICAL BASE OF THE SYSTEM OF MONITORING OF THE FORESTS.**

In this article the questions of using of the space systems of monitoring with the purpose of obtaining quick and true information to esteem the ecological condition of forests with the usage of time positions are described. The comparative analysis of the space systems of observation, with exist now has been fulfilled/ The new system of monitoring of the forests was suggested on its base. It will give a chance to obtain maximum information about the condition of the forest fond of Russia with the usage of little expense.

**Чернякевич Л.М. РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В ПЕРЕХОДНОЙ ЭКОНОМИКЕ РОССИИ.**

Рассмотрены институциональные и экономические проблемы развития лесного хозяйства в переходной экономике России.

**Chernyakevich L.M. THE DEVELOPMENT TIMBER FACILITIES IN CONNECTING ECONOMY OF THE RUSSIA.**

The Considered институциональные and economic problems of the development timber facilities in connecting economy of the Russia.

**Кузминых Ю.В. МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРАКТИКА КВОТИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ.**

Квотирование выбросов парниковых газов является одним из основных элементов организации торговли правами на выбросы. Но в России квотирование выбросов парниковых газов не проводится. Отсутствие квоти-

вания наложит ограничение на участие российских хозяйствующих субъектов в механизмах гибкости Киотского протокола. Поэтому проблема квотирования является актуальной для России как страны-участницы Протокола. В статье рассматривается опыт тех стран, где механизм квотирования и торговля правами на выбросы уже апробированы и дали положительные результаты.

**Kuzminykh U.V. THE INTERNATIONAL PRACTICE OF ALLOCATION OF THE POLLUTION EMISSIONS AND THE GREENHOUSE GASES.**

The allocation of the greenhouse gases is one of basic elements of the organization of the emission allowance trade. But in Russia the allocation of greenhouse gases is not carried out. The absence of the allocation will impose the restriction on the participation of the Russian companies in the mechanisms of flexibility of the Kyoto report. Therefore, the problem of the allocation is actual for Russia as the country – participant of the Report. In the article the experience of those countries where the mechanism of the allocation and the emission allowance trade are already approved and given some positive results is considered.

**Санаев И.В. РОЛЬ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ В СОЗДАНИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ.**

В данной работе рассматривается необходимость зеленых насаждений, их защитные и другие функции в городской среде.

**Sanaev I.V. THE ROTE OF VEGETATION IN CREATING COMFORTABLE TOWN ENVIRONMENT.**

The article studies the improvement and protection of the town environment through yegetation planting programs.

**Караваяева Н.В. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ НЕКРОПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ (НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ).**

Дефицит земельных ресурсов для создания новых мест захоронений стал основной причиной экологического неблагополучия современных кладбищ и обусловил необходимость поиска новых подходов к проектированию и организации функционирования некрополей. В статье на примере Москвы сформулированы основные принципы размещения и рационального использования территории кладбищ, гарантирующие не только установление относительно постоянной величины площади земель, занятых под кладбища, в системе городских территорий, но и экологическую состоятельность некрополей – уникальных объектов природно-культурного наследия.

**Karavaeva N.V. GEOECOLOGICAL ASPECTS OF NECROPOLISES ORGANIZATION IN CONDITIONS OF LAND RESOURCES DEFICIENCY (ON EXAMPLE OF MOSCOW).**

The lack of land resources for creation of new burial places is a principal cause of ecological problems of modern cemeteries. That is why it is necessary to search a new approach to designing of necropolises and to the organization of their functioning. In this article, the main principles of arrangement and rational exploitation of the cemeteries are formulated on example of Moscow. These principles can guarantee the constant square borrowed under cemeteries and the ecological benefit of necropolises – unique objects of a cultural heritage.

**Кругляк В.В. ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДА ВОРОНЕЖА.**

В статье приведены данные по истории озеленения г. Воронежа начиная с момента основания города в 1585 г. до настоящего времени. Приведены особенности ландшафтно-планировочной организации территории усадеб г. Воронежа на протяжении XVIII – XIX веков. Природно-территориальный комплекс города должен включать реки Дон, Воронеж, Усмань и Воронежское водохранилище, которые составляют единую систему озеленения. На основании проведенных исследований сделаны выводы.

**Kruglyak V.V. HISTORICAL STAGES OF VORONEZH CITY REFORESTRATION.**

Data on history of Voronezh city reforestration beginning with its foundation in 1585 until present days are presented in this article. Peculiarities of landscape planning organization of homestead territories in Voronezh city over the time of 18–19 centuries are presented. Natural and territorial complex of the city must include such rivers as Don, Voronezh, Usman and Voronezh reservoir storage which are a unite system of reforestation. There were made conclusions on the basis of conducted researches.

**Гомонай М.В., Никишов В.Д. ПЕРЕДВИЖНАЯ СИСТЕМА МАШИН ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ.**

Организация комплексной переработки древесного сырья на малых и средних лесопромышленных предприятиях наиболее актуальна в современных экономических условиях. Рассмотрены: передвижная система машин для переработки на лесосеке пиловочника и тонкомера; навесное технологическое оборудование с приводом от трактора для распиловки и раскалывания древесины, а также передвижные рубильные машины для переработки лесосечных отходов на щепу.

**Gomonay M.V., Nikishov V.D. THE MOBILE SYSTEM OF THE MACHINES FOR COMPLEX CONVERSION WOOD.**

The organization of the complex conversion wood cheese on small and average timber-industrial enterprise the most actual in modern economic condition. They are considered: mobile system of the machines for conversion tree in wood; outboard technological equipment with drive from tractor for saw and split wood, as well as mobile hack machine for conversion timber departure on chip of wood.

**Якимович С.Б., Тетерина М.А. РЕЙСОВАЯ НАГРУЗКА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН: ОПТИМИЗАЦИЯ КАК ПЕРЕМЕЩАЕМОГО ЗАПАСА.**

Представлены результаты статистической обработки наблюдений потоков предмета труда лесозаготовок, предложены модели систем массового обслуживания для оптимизации загрузки лесозаготовительных машин, выполнен анализ результатов определения операционных характеристик наблюдавшихся потоков предмета труда и моделей СМО разного типа.

**Yakimovich S.B., Teterina M.A. FOREST HARVESTING MACHINE JOURNEY LOAD: OPTIMIZATION IN THE VIEW OF TRANSPORTING SUPPLY.**

The results of statistic processing of the forest harvesting work object flows observations are presented, the models of the mass serving systems for forest harvesting machines charge optimization are offered, the analysis of the results of observed forest harvesting work object flows and the models of the mass serving systems of different types operational characteristics definition.

**Матросов А.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МАЛООБЪЕМНЫХ ЛЕСОЗАГОТОВОК И МЕТОД ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ.**

В статье приведен обзор технологических процессов малообъемных лесозаготовок и комплектов машин для выполнения лесосечных работ. Рассмотрены вопросы моделирования операций технологических процессов малообъемных рубок.

**Matrosov A.V. TECHNOLOGICAL PROCESSES OF HARVESTING IN A METHOD OF THEIR SIMULATION.**

The review of harvesting of technological processes small volumes a machines system for logging operation is presented in this article. The issues of simulation of technological processes operations of felling in small volumes are also considered.

**Климушев Н.К. ПРОЦЕССНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ.**

Рассмотрены задачи процессного управления запасами лесоматериалов разных видов. Представлены методы моделирования процессов и операций для решения задач процессного управления запасами лесоматериалов.

**Klimushev N.K. PROCESS MANAGEMENT SPARE LUMBER.**

The problems of various timber reserves process control are reviewed. The methods of processes and operations simulation to solve the problems of various timber reserves process control are shown.

**Скряпников А.В. ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА РОВНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ ДОРОГ.**

В работе разработаны регрессионные зависимости показателей торможения  $S_T$  (тормозной путь) и  $Z_{ТАБ}$  (наибольшее отклонение транспортного средства в сторону) от неравномерности действия тормозных механизмов, начальной скорости торможения, сцепных свойств дорожного покрытия, разгрузки автомобилей, радиусов кривизны и уклонов дорожного полотна, что позволило описать характер поведения транспортных средств на дороге при большой экономии.

**Skripnikov A.V. THE EVALUATION OF TRANSPORT EXPLOITATION QUALITIES OF FOREST AUTOMOBILE ROADS TAKING INTO ACCOUNT EXPONENTS OF THE BRAKE EFFICIENCY AND STABILITY OF TIMBER TRUCK ON THE FLAT SURFACE SUBJECT TO ROAD CONFIGURATION.**

The regression expressions of brake exponents  $S_T$  (braking distance) and  $Z_c$  ('clearance deviation' of automobile) depending on irregularity braking, initial brake speed, road grip of a tire, turning radius, road slope have been worked out. These dependencies provide a way of describing of the vehicle behavior in service.

**Ясенков Е.П. ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ.**

Обсуждается задача оптимизации режимов технического обслуживания АТС для конкретных условий эксплуатации. Недостатком известных методик корректирования режимов ТО является то, что все они предназначены для реализации тактики проведения ТО и ТР по наработке, т.е. для среднестатистического, автомобиля. Предлагается разработать методику планирования оптимальной периодичности и состава работ ТО для каждого отдельного, а не среднестатистического автомобиля, в зависимости от его технического состояния, сезона года, модели транспортного средства и других внешних факторов, что позволит повысить его надежность, безопасность, экологические, эксплуатационные и другие свойства.

**Yasenkov E.P. PREMISES FOR WORKING OUT OF METHODS FOR PLANNING THE OPTIMAL MODE OF AUTOMOBILE TECHNICAL EXPLOITATION.**

Optimization of motor transport technical exploitation mode intended for a definite exploitation conditions are discussed in this article. The defect of known methods of a current maintenance correction mode is that all of them are intended for carrying out of an ordinary automobile current maintenance and repair. It is proposed to develop a new methods intended



for an optimal periodicity planning and work composition of the current maintenance for every automobile, but not for an ordinary one. It depends on its technical state, season, a model of transportation facilities and other external factors. That will make it possible to raise automobile's reliability, safety, ecological and operational properties and other ones.

**Пошарников Ф.В., Черных А.С. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДАМИ ДИСКРЕТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ.**

Представлена методика оценки технологических структур лесопиления с использованием структурно-топологических характеристик, теории графов, матриц, логической алгебры. Приводится анализ влияния различных факторов на структурные показатели, такие, как избыточность, сложность, степень централизации, компактность и гибкость. Представлены статистические результаты изучения технологических структур малого лесопиления в Воронежской области.

**Posharnnikov F.V., Chernyh A.S. THE ESTIMATION TO EFFICIENCY TIMBER-SAWYER PRODUCTION BY METHODS OF THE DISCRETE PROGRAMMING.**

The presented methods of the estimation of the technological structures timber-sawyer with use structured-topological features, graph theory, matrixes, logical algebras. Happens to the analysis of the influence different factor on structured factors such as redundancy, difficulty, degree to centralizations, compactness and flexibility. Will presented statistical results of the study of the technological structures small timber-sawyer in Voronezh region..

**Михеев Р.С. ТЕХНИКА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ.**

Рассмотрена система факторов эффективности использования сельскохозяйственной техники в современных условиях, а также обозначено значение состава парка машин в хозяйствующих субъектах для повышения экономической эффективности хозяйствования. Обозначены возможные организационно-экономические мероприятия по совершенствованию использования сельскохозяйственной техники.

**Mikheev R.S. THE MACHINERY AS GROWTH FACTORS OF MANAGING EFFECTIVENESS.**

The system of factors of efficiency of use of agricultural machinery in modern conditions is considered, and also value of structure of park of machines in managing subjects for increase of economic efficiency of managing were represent. Organizational-economic actions were specify on perfection of use of agricultural machinery.

**Батырев Ю.П. МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА КАЛИБРОВКИ ВИХРЕТОКОВЫХ ДАТЧИКОВ.**

Приведены методы настройки, калибровки и аттестации вихретоковых преобразователей. Рассмотрены устройства для проверки статических и динамических характеристик измерительных каналов. Представлена структурная схема имитатора вихретоковых нагрузок.

**Batyrev J.P. METHODS AND DEVICES OF CALIBRATION EDDY CURRENT SENSORS.**

Methods of adjustment, calibration and certification eddy current converters are given. Devices for check static and dynamic characteristics of measuring channels are considered. The block diagram of the simulator eddy current loadings is submitted.

**Спирин Б.Л., Тулузаков Д.В. РЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДСП НА ЭТАПЕ ПРЕССОВАНИЯ.**

Предложена математическая модель, описывающая реологию ДСП на этапе прессования, а также разработаны алгоритм определения структурных характеристик пакета и алгоритм определения реологических характеристик ДСП на этапе прессования.

**Spirin B.L. Tuiuzakov D.V. RHEOLOGICAL MODEL PARTICLEBOARD AT A STAGE OF PRESSING.**

The mathematical model describing rheology particleboard at a stage of pressing is offered, and also the algorithm of definition of structural characteristics of a package and algorithm of definition Rheological characteristics particleboard at a stage of pressing are developed.

**Рангавар Х. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ОТ ФОРМАТНОЙ ОБРЕЗКИ ЦСП**

В настоящее время почти на всех предприятиях России, выпускающих ЦСП, отходы от форматной обрезки плит не применяются в производстве. Это можно объяснить тем, что частицы отходов, состоящих из древесины и гидратированого цемента имеют высокую твердость. Попадая в древесно-цементную смесь (особенно при твердении и изменении влажности) частицы ведут себя как концентраторы напряжений. При этом прочность ЦСП при изгибе и перпендикулярно пласти резко уменьшается. Поэтому целью нашей работы явилось установление возможности применения отходов от форматной обрезки плит, без существенного снижения качества.

**Rangavar H. RESEARCH OF APPLICATION OF WASTE PRODUCTS FROM FORMATTED SCRAPS WOOD CEMENT PLATES**

In manufacture wood cement plates it turns out up to 10 % of waste products from formatted scraps which are not applied in manufacture. In our work investigated as different species of wood (an alder, an aspen) are combined with these waste products. Carrying out (spending) the analysis of the equations and schedules, it is possible to note, that at application wood of species of an aspen or 50 % alnus+50 % of an aspen, waste products from scraps wood cement plates of fraction 5/3 can be received wood cement plates a class – 1.

**Угрюмов С.А., Смирнов А.А. ПЛАНИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОЙ ФАНЕРЫ.**

Представлены результаты обработки В-плана второго порядка для оценки влияния основных технологических факторов на физико-механические свойства композиционной фанеры с внутренним слоем на основе костры льна. Получены математические модели, позволяющие спрогнозировать свойства фанеры при любых сочетаниях рассмотренных факторов и определить рациональные режимы ее производства.

**Ugryumow S.A., Smirnow A.A. PLANNING AND REALIZATION OF EXPERIMENT FOR AN ESTIMATION OF INFLUENCE OF THE BASIC TECHNOLOGY FACTORS ON PROPERTIES OF THE COMBINED PLYWOOD.**

Results of processing of the B-Plan of the second order for an estimation of influence of the basic technology factors on physicomachanical properties of the combined plywood with an internal layer on a basis fires of flax are submitted. The mathematical models are received, allowing to predict properties of plywood at any combinations of the considered factors and to define rational modes of its manufacture.

**Гелес И.С. ЕЩЕ РАЗ К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ МАЛООТХОДНОГО (БЕЗОТХОДНОГО) ПРЕДПРИЯТИЯ, ПРИЕМЛЕМОГО С ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ, В ОБЛАСТИ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ.**

Рассмотрены основные представления о мало(без)отходном предприятии. Отмечена роль замкнутых циклов водопотребления и очистки сточных вод. Выявлена новая тенденция в утилизации растворенных веществ в стоках химико-механической переработки древесины. Показана возможность и целесообразность использования сточных вод в качестве среды в основных процессах ЦБП. Высказано мнение о необходимости создания предприятий на принципе дополняющих технологий.

**Gueles I.S. MORE ON THE PROBLEM OF ORGANIZING AN ENVIRONMENT-FRIENDLY LOW/NON-WASTE ENTERPRISE IN THE CHEMOMECHANICAL TIMBER PROCESSING INDUSTRY.**

Major concepts of the low/non-waste enterprise are described. The significance of closed cycles in water consumption and wastewater treatment is stressed. A new tendency has been identified in recycling of dissolved material from chemomechanical timber processing effluents. The feasibility and expediency of utilizing wastewater as the medium in major pulp-and-paper production processes is demonstrated. The opinion is expressed that organization of enterprises should be based on the complementary technologies principle.

**Абразумов В.В., Котенко В.Д. АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЙ НА КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ РЕЗАНИИ ПЛИТНЫХ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.**

Представлен численный анализ тепловых явлений на контактных поверхностях режущего клина при цилиндрическом фрезеровании различных древесных композиционных материалов. Показано, что на процесс изнашивания инструментальных материалов основное влияние оказывает температура в зоне контакта отдельных абразивных частиц.

**Abrszumov V.V. Kotenko V.D. THE ANALYSIS OF THE PHENOMENA ON CONTACT SURFACES OF A CUTTING AT CUTTING BOARD WOOD COMPOSITE MATERIALS.**

The numerical analysis of the thermal phenomena on contact surfaces is submitted on gutting wedge at cylindrical milling various wood of composite materials. It is that the basic influence on wear process of tool materials is rendered with temperature in a zone of contact of separate abrasive grains.

**Подрубалов М.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МАСС ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА МОТОБЛОКА ПРИ СТАЦИОНАРНОМ КИНЕМАТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.**

Представлена математическая модель пространственных колебаний многомассовой динамической системы транспортного агрегата мотоблока, позволяющая рассчитывать на стадии прогнозирования вибронагруженность основных узлов машины и ускорения на сидении человека-оператора.

**Podrubalov M.V. MATHEMATICAL MODEL OF SPATIAL FLUCTUATIONS OF WEIGHTS OF DYNAMIC SYSTEM OF THE TRANSPORT UNIT OF THE MOTOR-BLOCK AT STATIONARY KINEMATIC INFLUENCE.**

The mathematical model of spatial fluctuations of multimass dynamic system of the transport unit of the motor-block is submitted, allowing to expect for stages of forecasting of vibration of the basic units of the machine and acceleration on sitting of the person – operator.

**Никонов Н.В., Усанов Д.В. Запреты и вероятностные свойства  $\nu$ -грамм булевых функций ОТ 3-х ПЕРЕМЕННЫХ.**

В статье рассматриваются системы уравнений сдвигового типа, порожденные функцией  $f(x_1, \dots, x_n)$ , для которых правая часть  $\gamma_1, \dots, \gamma_N$  является запретом, если соответствующая система уравнений несовместна. Из существования запрета вытекает неравновероятность распределения  $\nu$ -грамм  $\gamma_1, \dots, \gamma_\nu$  для некоторого  $\nu \ll N$ . Поиск запрета даже для сравнительно простых функций  $f(x_1, \dots, x_n)$  оказывается сложной математической задачей, поэтому для обнаружения факта несовместности сдвиговой системы в статье предлагается ограничиться рассмотрением распределения  $\nu$ -грамм. Изучение распределения  $\nu$ -грамм позволяет с новых позиций оценить свойства

систем уравнений сдвигового типа и получить новые интересные результаты, в частном случае уточнить оценку длины запрета, вытекающую из критерия наличия запрета Сумарокова С.Н.

**Nikonov N.V., Usanov D.V. interdictions and  $\nu$ -tuples' probability properties of Boolean functions depended on three variables**

In the article the disjoint systems of equations generated by a shift-register with Boolean function  $f(x_1, \dots, x_n)$  are considered. The right part of such system forms the interdiction  $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ . It is followed from the fact of existence of the interdiction that the distribution of  $\nu$ -tuples (output sequence of signs  $\gamma_1, \dots, \gamma_\nu$ ) are not equiprobable starting with some  $\nu \ll N$ . The process of searching any interdiction is rather difficult problem even for the simple-arranged function. So it is advisable to study the distribution of the  $\nu$ -tuples of the function. Such research opens for us many interesting facts and helps us to achieve some results about the characteristics of disjoint systems of equations. In particular it is possible to make more exact the estimation of the interdiction combination's length  $N$  (found by Symarokov S.N.) in some special cases.

**Нетькшо В.Б. ОБ УТОЧНЕНИИ ОЦЕНКИ ВЕСА ПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОРОГОВОЙ ФУНКЦИИ.**

В статье рассматривается геометрический метод оценки веса произвольной булевой функции с ограниченной пороговой структурой и строго обосновывается точность полученной ранее формулы.

**Netyksho V.B. ABOUT ADJUSTMENT OF ESTIMATION OF WEIGHT OF ARBITRARY THRESHOLD FUNCTION.**

The article deals with the geometrical method of estimation of weight of arbitrary boolean function with limited threshold structure and rigorously proves accuracy of previously found formula.

**Шульц А.Н. ВЫБОР ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ НЕРАВНОВЕСНОГО ПАРОВОГО ПОТОКА.**

Обосновывается целесообразность применения оптических средств контроля состояния парового потока в тепловых трубах.

**Shulic A.N. CHOICE of OPTICAL METHODS of RESEARCH of CURRENTS of a NONEQUILIBRIUM STEAM FLOW.**

The expediency of application of optical means of the control of a condition of a steam flow in heat pipes is proved.

**Шульц А.Н. ОПТИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В НЕРАВНОВЕСНОМ ПАРОВОМ ПОТОКЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ.**

Приводятся результаты экспериментального исследования структуры конденсирующегося парового потока в плоском канале тепловой трубы.

**Shulic A.N. OPTICAL HETEROGENEITY IN A NONEQUILIBRIUM STEAM FLOW OF HEAT PIPES.**

The results of an experimental research of structure of a condensed steam flow in the flat channel of a thermal pipe are resulted.

**Курзина В.М., Курзин П.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО СПРОСА НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСЛУГИ НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ О СРЕДНИХ ДОХОДАХ ЖИТЕЛЕЙ Г. КОРОЛЕВА**

Рассматриваются вопросы корректности применения методов оптимизации в задачах экономического прогнозирования

**Kurzina V.M., Kurzin P.A. MATHEMATICAL MODEL OF CONSUMERS' DEMANDS IN AREA OF EDUCATIONAL SERVICE BASED ON DATA ABOUT KOROLYOV'S INHABITANTS' INCOME**

The matters of correct optimization methods application to solving economic forecasting problems are considered

**Домрачев В.Г., Рощупкин О.М. КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ПРОЦЕССОВ ПРОДАЖ ПРОДУКЦИИ КОМПАНИИ.**

В статье приводится описание новой компьютерной технологии (математическая модель и компьютерная программа) для изучения и прогнозирования процесса продаж продукции компании на макроуровне. Показана возможность применения этой технологии в современных CRM-системах с целью решения задач оперативного анализа и прогноза продаж компании на конкурентном рынке.

**Domrachev V.G., Roschupkin O.M. COMPUTER TECHNOLOGY FOR ANALYSIS AND FORECAST OF THE PROCESSES OF THE SALE THE PRODUCT OF COMPANY.**

New computer technology is described in article (the mathematical model and computer program) for study and forecastings of the process of the sale the product of company on macrolevel. It is shown possibility of the using to this technologies in modern CRM-systems for the reason decisions of the tasks of the operative analysis and forecast of the sale to companies on competitive market.

**Рощупкин О.М. КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПРОДАЖ КОМПАНИИ НА МАКРОУРОВНЕ.**

Приводится описание компьютерной технологии решения задачи управления процессом продаж продукции компании на макроуровне с целью координации работ отделов маркетинга и продаж. На примере распреде-

ленной модели воронки продаж типа PSEIRF показана возможность применения данной технологии для поиска конкурентных преимуществ компании на рынке ее продукции.

**Roschupkin O.M. COMPUTER TECHNOLOGY FOR GOVERNING PROCESS OF THE SALE OF COMPANY ON MACROLEVEL.**

Computer technology of the decision of the task of control process sale to product of company on macrolevel, for the reason coordinations of the functioning marketing division and sale is described. On example of the portioned model of the crater of the selling the type PSEIRF is shown possibility of the using given technologies for searching for competitive advantage to companies on the market of her product.

**Самолдин А.Н., Борзенко А.Г. СТРАТЕГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ**

Управленческий опыт показал, что основным залогом успешного функционирования организации является применение стратегически ориентированных методов оценки эффективности организации. Выбор стратегических подходов к управлению в значительной степени определяет эффективность деловой активности организации. Такие подходы позволяют организациям установить четкие стратегические цели и обеспечить принятие рациональных управленческих решений.

**Samoldin A.N., Borzenko A.G. STRATEGY-BASED ASSESSMENT METHODS OF ORGANIZATION EFFICIENCY**

Management experience has shown, that the basic pledge of successful functioning of the organization is implementing strategy-based assessment methods of organization efficiency. The choice of strategic approaches to management appreciably determines efficiency of business activities of the organization. Such approaches enables to set clear strategic goals and provides the rational management decisions for organizations.

**Попова О.А. ОБРАЗ ДВОРЯНСКОЙ УСАДЬБЫ В РАССКАЗЕ И.А. НОВИКОВА «ПЕТУХ» КАК АРЕНА МИРОВОЙ БОРЬБЫ ДОБРА И ЗЛА.**

Рассматривается роль и значение художественного образа дворянской усадьбы в русской литературе рубежа XIX–XX вв. В контексте основных идей русской религиозной и философской мысли начала XX в. анализируется творчески осмысленная писателями тема борьбы в мироздании добра и зла.

**Popova O.A. THE IMAGE OF COUNTRY ESTATE IN RUSSIAN LITERATURE OF THE END OF THE 19<sup>TH</sup> – THE BEGINNING OF THE 20<sup>TH</sup> CENTURIES PORTRAYING THE VITAL STRUGGLE BETWEEN THE GOOD AND THE EVIL (NOVIKOV I.A. «THE ROOSTER» AND OTHERS).**

The article shows the role and importance of the Country Estate in Russian Literature the edge of the 19th – 20th centuries. Having been creatively realized by the writers, the theme of the vital struggle between the good and the evil is analysed in the context of the basic ideas of Russian religion and philosophy of the early 20th century.

**Бочаров В.С. О РОЛИ ПРАВИТЕЛЬСТВА И ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ В ОРГАНИЗАЦИИ ВОЕННОЙ ПОДГОТОВКИ И ПОДГОТОВКЕ ОФИЦЕРОВ ЗАПАСА ИЗ ЧИСЛА СТУДЕНТОВ ГРАЖДАНСКИХ ВУЗОВ.**

Военная подготовка студентов вузов является важнейшим источником комплектования мобилизационных ресурсов страны. С экономической точки зрения это наиболее целесообразный путь подготовки офицерского резерва. В статье проведен анализ роли Правительства и федеральных органов исполнительной власти с периода становления основ военной подготовки студентов в высших учебных заведениях по настоящее время. Развитие системы подготовки офицеров запаса на военных кафедрах с учетом коренных изменений в военном строительстве, поиск эффективных способов военного обучения студентов показан в историческом аспекте.

**Bocharov V.S. ABOUT DUG THE GOVERNMENT AND FEDERAL ORGAN EXECUTIVE AUTHORITIES IN ORGANIZATIONS OF MILITARY PREPARATION AND PREPARATION OFFICER SPARE FROM NUMBER STUDENT CIVIL HIGH SCHOOL.**

Military preparation student high school is a most most important source complete mobilization a resource of the country. With economic standpoint this the most expedient way of preparation officer reserve. In article is organized analysis dug the Government and federal organ executive authorities since period of the formation base military preparation student in high educational institutions on present time. Development of the system of preparation officer spare on military pulpit with provision for scolded changes to military construction, searching for of the efficient ways of the military education student is shown in history aspect.

**Затылков А.А. ВОЕННАЯ ПОДГОТОВКА В МЛТИ – МГУЛ (ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА).**

В формате исторической справки изложены становление, развитие и современное состояние военной подготовки офицеров запаса в Московском государственном университете леса.

**Zatytkov A.A. MILITARY PREPARATION IN MLTI – MGUL (THE HISTORY REFERENCE).**

In format of the history reference are stated formation, development and modern condition of military preparation officer spare in Moscow state university wood.