

Вестник Московского  
государственного  
университета леса

# Лесной вестник

ISSN 1727-3749

2010 № 6 (75)

- *Методические аспекты изучения и оценки зарослей ягодников в связи с рубками*
- *Содержание основных пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной*
- *Микрофазное расслоение почвенных гелей и свойства почв*
- *Лесоводственная оценка работы лесозоготовительных машин на лесосеках с подростом*
- *Проблемы оптимизации использования лесов*
- *Прочность угловых соединений плит деталей корпусной мебели из древесно-стружечных плит*
- *Напряженно-деформированное состояние фибро-цементных материалов при твердении*
- *Методика определения эффективности использования инновационного потенциала*
- *Конкурентоспособность выпускников технических специальностей вузов в современных условиях*



## СОДЕРЖАНИЕ

### Лесное хозяйство

Обыдёнников В.И., Тибуков А.В., Солнышкина Ю.М.	<i>Методические аспекты изучения и оценки зарослей ягодников в связи с рубками</i> .....	4
Макаров В.П.	<i>Биоразнообразие лиственницы Чекановского в Южном Забайкалье</i> .....	8
Лебедев В.М., Лебедев Е.В.	<i>Влияние форм азота на фотосинтез, минеральное питание и биологическую продуктивность растений лиственницы сибирской и ели обыкновенной</i> .....	14
Сурсо М.В., Барзуг О.С.	<i>Особенности роста и развития хвойных в большеземельской тундре. Можжевельник в урочище Пым-Ва-Шор</i> .....	18
Бессчетнова Н.Н.	<i>Содержание основных пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной</i> .....	21
Амосова И.Б., Феклистов П.А.	<i>Водный режим ассимиляционного аппарата березы повислой (betula pendula roth.)</i> .....	26
Калугина О.В., Михайлова Т.А., Нестеренко О.И.	<i>Оценка эколого-физиологического состояния сосновых древостоев в бассейне реки Верхняя Ангара</i> .....	30
Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю.	<i>Изменчивость биохимических показателей разных форм сосны на болотных верховых почвах северной тайги при аэротехногенном загрязнении</i> .....	34
Байгалиев Б.Е., Шайхутдинова А.А.	<i>Методика определения экологических нагрузок загрязняющих веществ</i> .....	38
Васильев С.Б., Леденёв Д.А.	<i>Интродукция сосны Банкса при рекультивации техногенного ландшафта Егорьевского месторождения фосфоритов</i> .....	41
Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю.	<i>Сравнительная оценка и взаимосвязи морфометрических показателей узко- и ширококронной форм сосны (pinus sylvestris l.) в стрессовых условиях северной тайги</i> .....	44
Алексеев И.А., Гусева О.Н.	<i>Особенности выращивания устойчивых чистых и смешанных культур сосны в условиях загрязнения участков цезием-137</i> .....	48
Адамов М.Г., Гамзатова Х.М., Адамова Р.М., Багамаева А.Б.	<i>Интродукция дендрофлоры, устойчивой к морским береговым процессам</i> .....	55
Федотов Г.Н., Шалаев В.С.	<i>Микрофазное расслоение почвенных гелей и свойства почв</i> .....	57
Шалаев В.С.	<i>Направления лесных исследований за рубежом: от Брисбена до Сеула</i> .....	64
<b>Лесинженерное дело</b>		
Обыдёнников В.И.	<i>Лесоводственная оценка работы лесозаготовительных машин на лесосеках с подростом</i> .....	76
Заварзин В.В.	<i>Проблемы оптимизации использования лесов</i> .....	84
Прешкин Г.А.	<i>Оценка технологических ресурсов сортиментов на лесных участках</i> .....	89
Афоничев Д.Н.	<i>Размещение петлевых разворотов на лесовозных усах</i> .....	93
Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андряс А.А.	<i>Прогноз всплывания древесной массы, оставленной под затопление в ложе водохранилища Богучанской ГЭС</i> .....	97
Рукомойников К.П.	<i>Разработка алгоритма выбора вариантов прокладки транспортных путей при проведении комплекса лесосечных работ с совмещенным лесовосстановлением</i> .....	101
Кручинин И.Н., Лебедев Ю.В., Булдаков С.И.	<i>Система эколого-экономического управления транспортом леса в Уральском регионе</i> .....	106
Синицын В.Ф.	<i>Имитационная модель процесса взаимодействия с древостоем фрезы машины для срезки древесной растительности типа ЭСЛ</i> .....	111
Драпалюк М.В., Батищев С.Н., Посметьев В.В.	<i>Математическая модель функционирования виброударной машины для удаления пней</i> .....	115

Клубничкин В.Е. Дац Ф.А.	<i>Оценка влияния внешних условий на лесозаготовительные машины</i> ..... 119 <i>Выбор оптимальной периодичности технического обслуживания и ремонта лесозаготовительных машин фирмы Джон Дир в условиях Вологодской области</i> ..... 124
Донцов И.Е., Бартенев И.М.	<i>Математическая модель вынужденных колебаний комбинированных МТА</i> ..... 129
Донцов И.Е., Бартенев И.М.	<i>Устройство для повышения устойчивости движения комбинированных МТА</i> ..... 136
Прохоров В.Ю., Родионов А.И.	<i>Технологические аспекты запрессовки композиционных материалов в металлическую обойму</i> ..... 138
Алябьев А.Ф.	<i>Результаты исследования модели взаимодействия двугранного клина с почвой</i> ..... 141
Бурмистрова О.Н., Шоль Н.Р., Травин Н.Н.	<i>Исследование загруженности силовой установки валочно-пакетирующей машины в стационарном режиме работы</i> ..... 145
<b>Деревообработка</b>	
Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В., Архипов А.С.	<i>Прочность угловых соединений деталей корпусной мебели из древесно-стружечных плит</i> ..... 148
Воскобойников И.В., Константинова С.А., Коротков А.Н., Михайлов А.И., Никольский С.Н.	<i>Получение гидрогелей нанокристаллической целлюлозы из растительного сырья</i> ..... 151
Круглов Д.В.	<i>Исследование влияния новых видов пропиточных составов на качество ламинированных плит</i> ..... 154
Воронин И.А., Дирацуян А.А., Алашкевич Ю.Д.	<i>Расчет технологических параметров процесса размола в размольной установке с инерционными телами</i> ..... 156
Ерофеева А.А., Ковалев В.И., Алашкевич Ю.Д., Барановский В.П.	<i>Влияние температуры на основные физические параметры при течении жидкости в размольной установке</i> ..... 160
Угрюмов С.А., Свешников А.С.	<i>Комплексное исследование свойств композиционной фанеры</i> ..... 163
Боровков Е.А., Угрюмов С.А.	<i>К вопросу об экономической эффективности производства плитных материалов на основе древесины и костры льна</i> ..... 166
Запруднов В.И., Козлова Е.Б.	<i>Напряженно-деформированное состояние фибро-цементных материалов при твердении</i> ..... 170
<b>Математическое моделирование</b>	
Ильющенко И.С., Сизов А.П.	<i>Выбор схемы включения двигателей космического аппарата для создания требуемого момента при условии минимизации затрат рабочего тела</i> ..... 173
Скорняков В.А., Валов Н.Н.	<i>Нейромоделли в задачах автоматизированного анализа состояния космических аппаратов</i> ..... 175
Бурделев А.В.	<i>Облегчение критерия Хаффмана для монотонных самодвойственных булевых функций</i> ..... 178
Шипов Н.В.	<i>Свойства функционала <math>P(1/x)</math> в пространстве обобщенных функций медленного роста</i> ..... 183
Чередниченко А.В.	<i>Автоматизация процесса документирования путем внедрения исполняемой среды для создания лингвистических процессоров</i> ..... 185
<b>Экономика</b>	
Самолдин А.Н., Сладков С.Л.	<i>Методика определения эффективности использования инновационного потенциала</i> ..... 189
Конков В.И.	<i>Роль контроллинга в формировании системы показателей работы предприятий ЛПК</i> ..... 191
Игнатов В.И.	<i>Конкурентоспособность выпускников технических специальностей вузов в современных условиях</i> ..... 194

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЗАРОСЛЕЙ ЯГОДНИКОВ В СВЯЗИ С РУБКАМИ

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

*tibukov\_av@mail.ru*

Система мероприятий по использованию, сохране и воспроизводству зарослей ягодников, имея самостоятельное значение, является составной частью лесоводственных систем. Лесоводственные системы, прежде всего рубки главного пользования и рубки ухода, направленные в первую очередь на возобновление и формирование древостоя, оказывают существенное влияние и на покров дикорастущих ягодников (черники, брусники и др.). Восстановление покрова ягодников, возобновление и формирование древесной растительности в процессе рубки происходит в их взаимной связи и взаимной обусловленности.

Для того чтобы предусмотреть тенденцию динамики покрова ягодников, связанных с влиянием лесоводственных мероприятий, в целях своевременного устранения и смягчения отрицательных и использования положительных явлений необходимо адекватно установить и удовлетворительным образом формализовать реальные изменения лесной экосистемы в целом и отдельных его элементов (древостоя, ягодников и др.) в частности.

Сложность выявления и описания этих изменений состоит в том, что при изучении влияния лесоводственных мероприятий на лес (в т.ч. и на ягодники) мы имеем дело, во-первых, с открытыми природными системами, об изменении (поведении) которых часто располагают лишь вероятностной информацией; во-вторых, неоднозначным и многократным воздействием на них этих мероприятий. Кроме того, удовлетворительная формализация изменений лесной экосистемы и ее элементов не удается во многих случаях из-за недостатка информации о ее структурных и параметрических трансформациях.

Динамику лесных экосистем и ее элементов можно установить с большей определенностью и удовлетворительным образом

формализовать лишь в рамках системного подхода [5] на теоретических положениях лесной биогеоценологии [10], современных направлениях в типологии леса (генетической и динамической) [2–4].

Для описания такой сложной природной системы, какой является лес (в т.ч. и ее элемент – ягодники), на наш взгляд, следует использовать более абстрактные структурированные модели, позволяющие рассматривать систему в целом, но на менее детализированном уровне. А в дальнейшем добиваться определенной предсказуемости разделением множеств на ряд подмножеств [5].

Методические аспекты этой проблемы заключаются в следующем. Формализация динамики лесной экосистемы в связи с рубками осуществляется поэтапно. Сначала определяются качественные изменения под влиянием рубок. Современный уровень знаний типа леса и типа вырубок как типа биогеоценоза [10] и динамической системы [3] позволяет описывать на таком уровне абстракции качественное изменение состояние системы, определяемое отношением

$$S \subset (C_i \times X) \times Y,$$

где  $S$  – экосистема;

$C_i$  – исходный тип леса, в частности характеристика ягодников до рубки;

$X$  – влияние рубок (вход системы);

$Y$  – выходные параметры экосистемы: тип вырубки, этапы формирования типа леса, состояние покрова ягодников.

Благодаря такому уровню абстракции охватываются и так называемые параметрические и структурные неопределенности [1].

Определение лесной экосистемы как отношения (см. формулу) и схема-модель антропогенной динамики леса (рисунок) служат отправной точкой для дальнейшего глубокого изучения и детального описания леса и покрова ягодников.

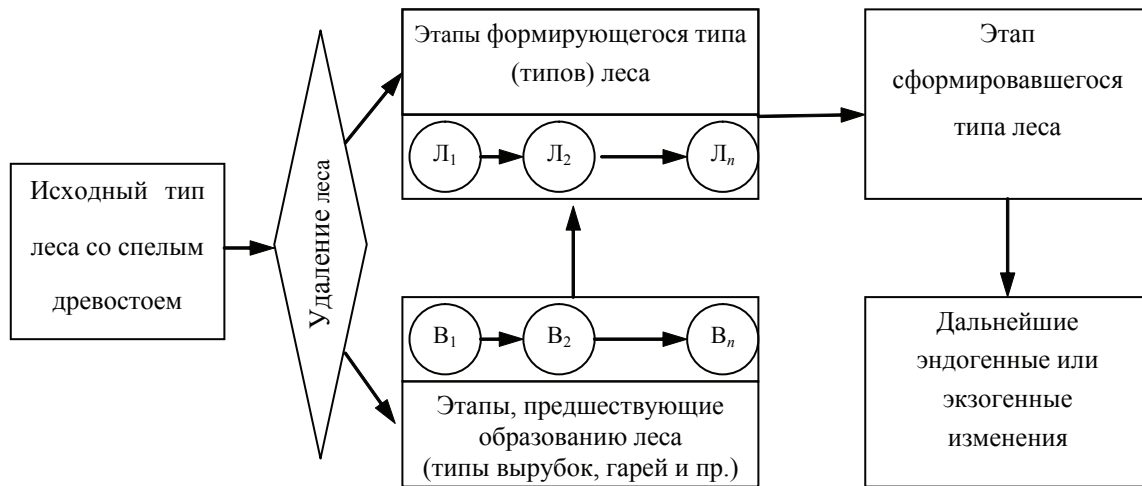


Рисунок. Схема формирования типов леса после сплошной рубки: Л – лес; В – вырубка; (по И.С.Мелехову)

В лесной науке принято добиваться необходимой предсказуемости выхода лесной системы разделением входного воздействия на нерегулируемые факторы внешней среды, которыми сложно или невозможно управлять, и регулируемые антропогенные факторы. К последним чаще всего относят влияние лесозаготовительной техники на компоненты леса в момент рубки или изменение условий среды в связи с частичной выборкой древостоя при несплошных рубках главного пользования и рубках ухода. Такое разложение воздействия, например сплошных рубок, дает возможность выявить, в какой мере воздействие на почвенный и растительный покров, связанное с работой лесозаготовительной техники, влияет на качественное состояние экосистемы (типы вырубок и этапы формирования леса), в т.ч. и на динамику покрова ягодников.

Установлено, что после сплошных рубок в условиях ельников черничных и кисличных зоны смешанных лесов Русской равнины существенное влияние на динамику типов леса и вырубок оказывают сохранность подроста, степень минерализации почвы и плотность ее верхних слоев. В пределах каждого типа леса или типа вырубки определяется выходная величина, принятая по густоте стояния деревьев и их встречаемости, а также по проективному покрытию и встречаемости того или иного вида ягодников – черники, брусники и т.д.

Разные способы рубок главного пользования – сплошные, постепенные, выборочные – неодинаково влияют на сохранность

покрова ягодников. Возобновление и восстановление ягодников происходит в органической взаимосвязи с восстановлением всех компонентов леса (подроста, травянистой и кустарниковой растительности). При этом важное значение имеют биология и экология древесных пород и разных видов ягодников, а также формирующиеся типы вырубок и типы леса. Известно, что оптимальные световые условия для возобновления ели и роста черники складываются при сомкнутости древесного полога 0,6–0,7 [9, 12]. Оптимальными световыми условиями для брусники обладают древостои с сомкнутостью древесного полога 0,3–0,4 [11].

В качестве примера нами взят стационарный опытный участок в ельнике черничном свежем Щелковского учебно-опытного лесхоза МГУЛ. Рубки главного пользования на базе лесозаготовительных машин ЛП-19 и ЛТ-157 проведены в 1989 г. по четырем технологиям: сплошные рубки с сохранением (I) и без сохранения подроста (II), постепенная чересполосная (III) и постепенная с равномерной выборкой деревьев (IV).

Исходный тип леса – ельник черничный свежий (по И.С. Мелехову), почва дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая. Состав древостоя 9Е1С+Б,Ос; бонитет I, полнота 0.8, запас 350м<sup>3</sup>/га. Проективное покрытие основных представителей живого напочвенного покрова под пологом леса до рубки: черника (*Vaccinium myrtillus* L.) – 11,5–17,2 %; майник (*Majanthemum bifolium*) – 4,0 %; вейник лесной (*Calamagrostis arundinacea*) – 0,5 %; кис-

лица (*Oxalis acetosella* L.) – 0,5 %. Количество подроста 8,5–11,3 тыс.шт./га, встречаемость 68–75 %, средний возраст – 28 лет, средние высота и диаметр 1,5 м и 3,0 см.

После сплошных рубок формирование леса (или его типа), определяющего развитие ягодников, происходит двумя путями (рисунков). Для первого пути характерно образование начала «лесного этапа» или молодого поколения леса, минуя безлесную стадию – тип вырубки. Это возможно при сохранении в процессе рубки достаточного количества подроста для полноценного восстановления леса, в т.ч. и ягодников. Так, после сплошных рубок с использованием технологии с сохранением подроста из 10,0 тыс. шт./га подроста ели было сохранено 47 %, при этом площадь проективного покрытия черники сократилось почти в 2 раза (табл. 1). В первые пять лет после рубки происходит частичное отмирание черники, связанное с повышенной инсоляцией. Проективное покрытие черники снизилось до 4,4 %. Затем, по мере формирования молодняка и увеличения его сомкнутости, происходит постепенное восстановление покрова черники. Сохраненный подрост способствует восстановлению покрова черники. По данным А.Ф. Черкасова, В.В. Шутова и К.А. Миронова [11], ягодники черники достигают промыслового значения (более 100 кг/га в год) на вырубках с успешным возобновлением леса к 30–40-летнему возрасту древостоя.

Формирование леса после сплошной рубки по второму пути, т.е. через безлесный этап, происходит в случае отсутствия подроста под пологом древостоя или его полного уничтожения в процессе лесозаготовок. После применения технологии без сохранения подроста его сохранность после рубки составила не более 8–9 % при минерализации почвы до 90 %, при этом покров черники составил не более 2 %. Оставшийся покров черники в дальнейшем полностью отмирает. Результаты исследований на вырубках в ельниках Костромской области А.Ф. Черкасова, В.В. Шутова и К.А. Миронова [11] показали, что полное восстановление черники после сплошной рубки с применением бензопил и трелевочных тракторов с тросовой оснасткой происходит через 40–50 лет.

Формирование покрова ягодников в связи с постепенными рубками идет одновременно с возобновлением древесных пород. Молодняк древесных пород после рубки образуется за счет подроста как предварительного, так и сопутствующего возобновления. В нашей стране выращивание леса, связанное с постепенными рубками, чаще всего ориентировано на подрост предварительного возобновления [4]. В процессе проведения постепенных рубок, длящихся до 20 лет, ягодники черники находятся под пологом материнского древостоя, световые условия под пологом которого изменяются с очередным приемом разреживания. В зависимости от возраста подроста до рубки и длительности цикла постепенных рубок возможно образование молодняка или средневозрастного древостоя после окончательного приема рубки. В дальнейшем для создания оптимальной световой обстановки для ягодников необходимо поддерживать соответствующую сомкнутость полога древостоя рубками ухода.

На том же участке после первого приема постепенных рубок с использованием двух технологий – постепенной чересполосной (III) и постепенной равномерной (IV) – сохранность черники составила 60,2 и 53,6 % соответственно. Интенсивность разреживания древостоя составила 50 и 40 %. Состояние черники в обоих вариантах несколько ухудшалось только первые 5 лет после рубки, но затем значительно улучшилось в связи с благоприятными условиями для роста и развития, которые сложились по мере формирования молодняка (табл. 1).

Выборочные рубки не оказывают существенного влияния на лес, биогеоэкологическая, экосистемная целостность его сохраняется или нарушается незначительно [4]. Для успешного роста и развития покрова ягодников необходимо выборочными рубками постоянно поддерживать такую сомкнутость древесного полога, при которой создаются оптимальные световые условия.

Рубки ухода, как показали исследования в Вологодской и Новгородской областях [7, 8], благотворно влияют на рост и развитие черники в тех случаях, когда поддерживается оптимальная сомкнутость древостоя 0,6–0,7.

Т а б л и ц а 1

**Изменение покрова черники в связи с рубками главного пользования**

Вариант	Способ рубки. Технология лесосечных работ	Основные параметры	До рубки	После рубки	Давность рубки, лет					
					5	10	12	16	18	20
I	Сплошная рубка с сохранением подроста Укладка стволов на волок	Проективное покрытие, %	13,4	7,5	4,4	6,9	7,5	13,9	15,0	15,4
		Встречаемость, %	74,0	32,1	35,1	37,5	65,0	52,0	39,0	35,0
II	Сплошная рубка без сохранения подроста. Укладка стволов под углом к волоку	Проективное покрытие, %	12,9	1,3	–	–	–			
		Встречаемость, %	72,0	6,4	–	–	–			
III	Постепенная чересполосная рубка	Проективное покрытие, %	11,5	7,2	5,7	7,0	7,3	14,2	15,4	12,7
		Встречаемость, %	68,6	29,2	32,0	37,5	52,4	53,0	40,0	45,0
IV	Постепенная рубка с равномерной выборкой деревьев	Проективное покрытие, %	17,2	10,1	9,8	13,6	13,0	13,4	14,0	8,2
		Встречаемость, %	75,8	37,4	45,6	62,5	70,0	56,5	38,0	40,0

Т а б л и ц а 2

**Критерии для выделения промысловых угодий черники (южнотаежная подзона и зона смешанных лесов европейской части России)**

Группа типов леса	Преобладающая порода	Возраст древостоя, лет	Сомкнутость полога		Встречаемость, %	Проективное покрытие, %
			древостоя	подроста, подлеска		
Ельники черничные свежие и влажные	ель	Менее 50	0,6	0,2	80	30
Сосняки черничные: А. коренные типы – чернично-сфагновый, чернично-долгомошный	сосна	не менее 40	0,7	0,1	80	30
Б. производные типы – березняк чернично-мелкотравный – осинник чернично-мелкотравный и близкие к ним	береза	не менее 40	0,7	–	80	30
	осина	не менее 40	0,8	–	80	30

Для оценки эффективности рубок на участках с наличием покрова ягодников необходимо сравнить состояние исследуемых участков с оптимальным участком (эталонном) или с их начальным состоянием до проведения лесохозяйственных мероприятий. К участкам с оптимальным состоянием черники относятся участки леса с наличием зарослей ягодников, имеющих стабильный годовой урожай 100 кг/га и выше.

Такие участки называются промысловыми угодьями. Критерием для их выделения являются проективное покрытие, встречаемость вида ягодника, сомкнутость полога материнского древостоя, подроста и подлеска (табл. 2).

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

– характер изменения покрова ягодников в связи с рубками можно установить с большей определенностью в рамках антропогенной динамики лесных экосистем с использованием системного подхода и теоретических положений современных направлений в типологии леса – динамической и генетической;

– реальные изменения покрова и урожайности ягодников в связи с рубками определяются типом леса, характером возобновления, состояния покрова ягодников до рубки и зависят от способа рубки и технологии лесосечных работ;

– особенности формирования покрова ягодников в значительной мере определяются их биологией и экологией;

– возобновление и восстановление ягодников в связи с рубками идет в органической взаимосвязи с восстановлением всех компонентов леса;

– оценка состояния ягодников в связи с рубками осуществляется путем сравнения реальных изменений покрова с эталонными (промысловыми) угодьями или с их начальным состоянием, прежде всего проективным покрытием и встречаемостью.

### Библиографический список

1. Артюхов, В.В. Теоретические основы оценки разнообразия / В.В. Артюхов // Атлас биологического разнообразия Европейской части России и сопредельных территорий. – М.: ПАИМС, 1996. – С. 106–110.
2. Колесников, Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока / Б.П. Колесников // Труды ДВФ АН СССР. Серия ботаническая. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – Т.2. – 262 с.
3. Мелехов, И.С. Лесоведение / И.С. Мелехов. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 408 с.
4. Мелехов, И.С. Лесоводство / И.С. Мелехов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 302 с.
5. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такаха: перевод с англ. Э.Л. Наппельбаума под редакцией С.В. Емельянова. – М.: Мир, 1978. – 312 с.
6. Обыденников, В.И. Эколого-географический подход к изучению и оценке лесоводственных систем / В.И. Обыденников // Эколого-экономические и социальные проблемы развития регионов России. Сб. науч. тр. РАЕН. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – С. 114–126.
7. Обыденников, В.И. Использование и воспроизводство ресурсов ягодников в связи с рубками в сельских лесах Новгородской области / В.И. Обыденников, А.Н. Авдеев, Э.А. Авдеев // Лесохозяйственная информация. МПР РФ. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – № 10. – С. 15–21.
8. Обыденников, В.И. Проблема сохранения, возобновления и повышения продуктивности ягодников в связи с лесоводственными системами / В.И. Обыденников, И.Л. Ключников // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 1998. – № 3. – С. 89–98.
9. Пронина, Е.Л. Влияние лесохозяйственных мероприятий на урожайность черники в черничной группе типов леса: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1987. – 24 с.
10. Сукачев, В.Н. Избранные труды / В.Н. Сукачев. – Л.: Наука, 1972. – Т.1. – 420 с.
11. Черкасов, А.Ф. Восстановление зарослей брусники и черники после сплошных рубок / А.Ф. Черкасов, В.В. Шутов, К.А. Миронов // Лесоведение. – 1988. – № 4. – С. 42–48.
12. Шутов, В.В. Определение наиболее продуктивных зарослей черники / В.В. Шутов // Лесное хозяйство. – 1984. – № 9. – С. 14–16.

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЛИСТВЕННИЦЫ ЧЕКАНОВСКОГО В ЮЖНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

В.П. МАКАРОВ, зав. лабораторией растительных ресурсов Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, канд. биол. наук

[vm2853@mail.ru](mailto:vm2853@mail.ru)

В Восточном Забайкалье расположена южная часть гибридной зоны между лиственницей Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) и лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). В результате естественной гибридизации образован гибридный комплекс лиственницы, получивший название лиственница Чекановского (*Larix x czekanowskii* Szafer). Биологические особенности этого гибридного комплекса подробно рассмотрены в монографии «Лиственница Чекановского» [1]. Задача данной работы – представить дополнительные материалы о лиственнице Чекановского, полученные в результате по-

левых исследований в бассейнах рек Чикой и Хилок, в 2008–2009 гг.

### Объекты и методика работы

Площадь бассейнов рек Чикой и Хилок составляет 84,7 тыс. км<sup>2</sup> (46,2 тыс. км<sup>2</sup> – Чикой и 38,5 тыс. км<sup>2</sup> – Хилок). Исследованы 6 популяций лиственницы Чекановского в бассейнах рек Чикой и Хилок, в пределах Забайкальского края.

Пробные площади закладывались преимущественно в листвягах прирусловых и разнотравных, широко распространенных в Забайкальском крае.



**Характеристика пробных площадей**

№ пробной площади	Географические координаты	Район расположения популяции	Высота над уровнем моря, м	Рельеф (экспозиция, крутизна, град.)	Механический состав почвы	Степень увлажнения местообитания по шкале гигротопов
Бассейн р. Чикой						
1	N 50°35' E 110°41'	р. Ернистая	1020	ровный	пески рыхлые	сырое
2	N 50°34' E 110°11'	С. Черемхово 1	882	ровный	суглинки	влажное
3	N 50°35' E 110°03'	С. Черемхово 2	879	ровный	суглинки	свежее
4	N 50°18' E 109°02'	р. Югал	900	юго-западный, 60°	пески связанные	сухое
Бассейн р. Хилок						
5	N 51°44' E 110°93'	ст. Хушенга	873	ровный	суглинки	влажное
6	N 51°28' E 109°55'	ст. Хохотуй	800	Южный, 5°	пески связанные	свежее

**Характеристика изученных насаждений лиственницы**

№ пробной площади	Тип насаждения	Средний гибридный индекс популяции	Средний возраст, лет	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Сомкнутость крон, %
1	Листвяг приручейный	7	100	39	21	10
2	Ельник приручейный	18	50	45	20	30
3	Березняк разнотравный	17	50	32	16	30
4	Сосняк разнотравный	20	100	60	32	10
5	Листвяг приручейный	7	50	45	14	10
6	Листвяг разнотравный	18	70	44	20	10

Определялись параметры местообитания (географические координаты, характеристика рельефа и почвы) характеристика насаждений: структура, флористический состав, средняя высота и диаметр деревьев, средний возраст, сомкнутость крон, толщина сучьев. На каждой из пробных площадей анализировалось 30 деревьев лиственницы. Измерялись высота и диаметр дерева, качество ствола (по шкале: 5–прямой одноствольный, 4–прямой двухствольный, 3–слабо искривленный одноствольный, 2–слабо искривленный двухствольный, 1–сильно и многократно искривленный), ширина кроны, высота от основания дерева до первой живой ветки, угол

расхождения ветвей в средней части кроны, обилие семеношения по шкале О.Г. Каппера [2]. Образцы хвои и шишек отбирались с юго-восточной стороны, в средней части кроны деревьев. Количество хвоинок в пучке и длину хвои определяли непосредственно на пробных площадях, с побегов третьего года жизни; параметры шишек – в лабораторных условиях после раскрытия семенных чешуй.

С каждого дерева отбирали для исследования как минимум по 10 шишек и пучков хвои. Измеряли длину и ширину шишки, количество чешуй, число парастих (рядов семенных чешуй), определяли конфигурацию плоскости семенной чешуи и форму ее края,

степень опушения чешуи, длину и ширину семенной чешуи, угол отклонения семенных чешуй, определяли форму шишки как отношение ее ширины к длине. При определении конфигурации плоскости семенной чешуи, формы ее края, степени опушения использовали шкалы, предложенные Л.И. Милютиним [1]. Уровень изменчивости исследованных признаков и свойств лиственницы определяли по шкале С.А. Мамаева [3]. Для установления вида лиственницы использовали метод гибридных индексов, модифицированный для лиственницы Л.И. Милютиним [4]. Для вычисления гибридного индекса используются следующие морфологические признаки: опушение семенных чешуй, форма края семенных чешуй, конфигурация семенной чешуи, средняя длина шишек, среднее число чешуй в шишке, окраска годичного побега и число хвоинок в пучке. Общая теоретическая оценка гибридного индекса лиственницы Гмелина равна 0; лиственницы Чекановского – 13; лиственницы сибирской – 26. Практически же из-за несовершенной видовой специфичности некоторых признаков сумма индексов лиственницы Гмелина находится в пределах 1–5; лиственницы Чекановского в пределах 6–21 и лиственницы сибирской – от 22 до 26.

### Результаты и обсуждение

Исследование лиственницы Чекановского проводили на пробных площадях, расположенных в бассейнах рек Чикой и Хилок в различных экологических условиях. Пробные площади размещены на различных высотах над уровнем моря – от 800 до 1020 м. Рельеф большинства пробных площадей ровный, две популяции лиственницы расположены на склонах южной экспозиции (пробные площади № 4, 6). Механический состав почвы варьировал по площадям от песков рыхлых до суглинков. Степень увлажнения местообитания была разной – от сухого до сырого (табл. 1).

Исследование лиственницы Чекановского проводили в различных типах насаждений. Средний гибридный индекс популяций лиственницы находился в пределах от 7 до 20. Средний возраст насаждений был в пределах от 50 до 100 лет. Средний диаметр на-

саждений – от 32 до 60 см, средняя высота была в пределах от 14 до 32 м. Сомкнутость крон лиственницы была низкой – от 10 до 30 % (табл. 2).

### Характеристика морфометрических признаков

#### Протяженность кроны

Протяженность кроны зависит как от условий произрастания, так и от наследственных свойств лиственницы. От длины и ширины кроны зависит форма кроны. В абсолютных значениях протяженность кроны на исследованных площадях находилась в пределах от 11,1 до 27,3 м (табл. 3). Индивидуальная изменчивость этого признака – в пределах от низкого до повышенного уровня ( $C_v = 11,7–29,2\%$ ).

#### Относительная протяженность кроны

По данным Л.И. Милютинина [1], протяженность кроны относительно ствола дерева у лиственницы Чекановского в Забайкалье составляет примерно 40 % высоты ствола, с колебаниями от 10 до 90 %. Популяционная изменчивость этого признака высокая ( $C_v = 30–42\%$ ). В исследованных нами популяциях лиственницы Чекановского относительная протяженность кроны находится в пределах 79,7–84,7 %. Индивидуальная изменчивость признака очень низкая и низкая ( $C_v = 6,2–11,7\%$ ). Этот результат в полной мере не отражает разнообразие этого признака в природе, только характеризует деревья лиственницы, выбранные для изучения в разреженных древостоях, где экологические условия способствуют меньшей конкуренции растений за свет, влагу и питательные вещества почвы.

#### Ширина кроны

Л.И. Милютин [1] на основании того, что ширина кроны находится в прямой корреляционной зависимости от высоты и диаметра ствола, считает ширококронные деревья лиственницы Чекановского более быстрорастущими и, следовательно, наиболее ценными для лесного хозяйства. По литературным данным, ширина кроны у лиственницы Чека-

новского в Забайкалье в насаждениях IV–VI классов возраста чаще составляет 3,5–5,0 м. Популяционная изменчивость зависит от экологических условий и очень вариабельна ( $C_v=16,0–36,0\%$ ). В наших исследованиях средняя ширина кроны находилась в пределах от 7,2 до 9,5 м. Максимальное значение этого признака отмечено в бассейне р. Чикой, на пробной площади №2, в районе с. Черемхово. Индивидуальная изменчивость этого признака в популяциях характеризуется в пределах от низкого до повышенного уровня ( $C_v=9,6–25,0\%$ ).

#### Длина хвои

А.П. Абаимовым и И.Ю. Коропачинским [5] установлена определенная видовая специфика этого признака: у лиственницы сибирской длина хвои больше, чем у л. Гмелина, а у лиственницы Чекановского занимает промежуточное положение. Ими установлено также, что длина хвои в значительной мере зависит от почвенно-грунтовых и климатических факторов. Длина хвои лиственницы в исследованных популяциях находилась в пределах от 19,5 до 22,9 мм. Связь признака с экологическими условиями не прослеживается. Индивидуальная изменчивость признака имеет средний и повышенный уровни, коэффициент вариации находится в пределах от 18,9 до 25,6 %.

#### Длина шишки

Длина шишек – важнейший признак при изучении систематики и внутривидовой изменчивости лиственниц. Признак считается очень изменчивым. Его значение зависит не только от генетических особенностей отдельных деревьев, но и от условий их произрастания. Особый интерес представляет изменчивость длины шишек у лиственницы Чекановского, т.к. большая длина шишек может свидетельствовать о проявлении гетерозиса у гибридных особей.

По данным Л.И. Милютин [1], средняя длина шишек лиственницы Чекановского в Забайкалье, в районе г. Петровск-Забайкальского, находилась в пределах 20,2–23,0 мм. Максимальная длина шишек у лиственницы Чекановского отмечена в популяциях Ки-

жингского района Бурятии – 29 мм. Минимальная длина – в популяциях в районе г. Хилок – 15 мм.

В наших исследованиях, в бассейне р. Чикой и Хилок, средняя длина шишек в популяциях лиственницы Чекановского была в пределах 19,2–21,9 мм. Максимальная средняя длина шишки отмечена в популяции лиственницы в районе реки Югал. Индивидуальная изменчивость этого признака составляла 13,2–23,2 %. Наиболее изменчива длина шишек в популяции лиственницы на пробной площади в районе р. Югал.

#### Ширина шишек

Ширина шишек является одним из самых неустойчивых признаков, т.к. зависит не только от генетических и экологических факторов, но и от степени раскрытия чешуй шишки. По литературным данным [1], ширина шишек лиственницы Чекановского в районе г. Петровска-Забайкальского была в пределах 16,9–21,3 мм. Максимальная ширина шишек отмечена в Бурятии – 24 мм, минимальная ширина обнаружена на юге Забайкальского края, в Кыринском районе – 12 мм.

В исследованных нами популяциях лиственницы в бассейне р. Чикой и Хилок средняя ширина раскрытых шишек в популяциях лиственницы находится в пределах 19,9–23,1 мм. Максимальная средняя ширина шишки отмечена в популяции лиственницы в районе с. Черемхово.

Индивидуальная изменчивость ширины шишки в исследованных популяциях лиственницы находится в пределах 13,0–24,4 %. Наиболее изменчива ширина шишек в популяции лиственницы на пробной площади в районе р. Югал.

#### Число хвоинок в пучке

Этот признак имеет определенное диагностическое значение. У лиственницы Гмелина, как правило, больше хвоинок в пучке, чем у лиственницы сибирской. Лиственница Чекановского по числу хвоинок в пучке занимает промежуточное положение.

В исследованных популяциях лиственницы Чекановского количество хвоинок в пучке находится в пределах от 23,5 до 36,3.

**Характеристика морфометрических признаков лиственницы  
Чекановского в бассейнах рек Чикой и Хилок**

Признак	Показатель	№ пробной площади					
		1	2	3	4	5	6
		Бассейн р. Чикой			Бассейн р. Хилок		
Протяженность кроны, м	$X_{cp} \pm m_x$	17,3±0,9	16,3±0,5	13,4±0,4	27,3±1,1	11,1±0,2	15,8±0,5
	min	6,3	11,2	8,5	16,0	9,5	11,0
	max	25,0	20,0	16,0	37,0	13,0	21,0
	$C_v, \%$	29,2	17,8	15,7	21,7	11,7	17,5
Относительная протяженность кроны, %	$X_{cp} \pm m_x$	83,8±1,0	83,4±1,1	80,9±1,7	84,7±1,0	79,7±0,9	79,8±0,9
	min	74,0	71,1	56,7	75,0	71,4	72,5
	max	91,7	90,0	88,9	94,9	85,7	88,1
	$C_v, \%$	6,3	7,2	11,7	6,4	6,3	6,2
Ширина кроны, м	$X_{cp} \pm m_x$	8,1±0,2	9,5±0,3	7,2±0,3	8,3±0,3	8,9±0,2	8,2±0,4
	min	5,8	7,5	5,1	6,0	7,0	5,0
	max	10,5	12,0	11,0	12,0	10,0	11,5
	$C_v, \%$	16,7	16,1	24,8	18,0	9,6	25,0
Длина хвои, мм	$X_{cp} \pm m_x$	19,6±0,4	19,5±0,5	22,9±0,5	22,7±0,6	22,8±0,4	21,2±0,5
	min	11,0	12,0	12,0	11,0	13,0	12,0
	max	29,0	30,0	36,0	39,0	33,0	34,0
	$C_v, \%$	20,6	23,4	23,0	25,6	18,9	23,2
Длина шишки, мм	$X_{cp} \pm m_x$	19,2±0,4	21,4±0,5	20,6±0,4	21,9±0,5	19,8±0,3	21,5±0,3
	min	12,	13,0	13,0	12,0	15,0	15,0
	max	26,0	37,0	30,0	33,0	27,0	28,0
	$C_v, \%$	13,2	22,0	18,8	23,2	13,7	13,3
Ширина шишки, мм	$X_{cp} \pm m_x$	20,9±0,3	23,1±0,4	20,8±0,3	22,6±0,6	19,9±0,3	20,7±0,4
	min	1,0	15,0	13,0	11,0	13,0	13,0
	max	26,0	31,0	27,0	36,0	25,0	34,0
	$C_v, \%$	13,0	15,6	16,4	24,4	13,2	17,9
Число хвоинок в пучке	$X_{cp} \pm m_x$	24,8±0,7	23,5±0,5	23,6±0,5	23,9±0,6	36,3±0,6	27,4±0,8
	min	14,0	14,0	14,0	12,0	24,0	14,0
	max	51,0	37,0	41,0	44,0	52,0	50,0
	$C_v, \%$	28,0	20,2	20,7	25,4	16,6	29,3
Число чешуй в шишке	$X_{cp} \pm m_x$	19,5±0,4	23,6±0,7	19,9±0,5	21,7±0,6	16,2±0,3	21,2±0,4
	min	12,0	14,0	13,0	11,0	10,0	10,0
	max	26,0	63,0	30,0	36,0	24,0	32,0
	$C_v, \%$	14,8	28,3	23,1	29,0	17,7	20,4

Примечание:  $X_{cp}$  – среднее значение признака на пробной площади;  $m_x$  – ошибка среднего;  $C_v$  – коэффициент вариации; min – минимальное значение признака max – максимальное значение признака

Максимальное количество хвоинок в пучке обнаружено в популяции на пробной площади в районе ст. Хушенга. Индивидуальная изменчивость этого признака в популяциях имеет средний и преимущественно повышенный уровень ( $C_v = 16,6–29,3 \%$ ). Наиболее изменчив этот признак в популяции на пробной площади в районе ст. Хохотуй.

**Число чешуй в шишке**

По литературным данным этот признак связан с длиной шишек и количеством

семян в шишке. В бассейнах рек Чикой и Хилок число чешуй находится в пределах 16,2 до 23,6.

Наибольшее среднее число чешуй в популяциях лиственницы Чекановского в бассейне р. Чикой, в районе с. Черемхово. Индивидуальная изменчивость этого признака характеризуется средним и повышенным уровнями ( $C_v=14,8–29,0 \%$ ).

Наибольшей изменчивостью этого признака отличается популяция в бассейне р. Чикой, в районе р. Югал.

**Характеристика лесоводственных признаков лиственницы  
Чекановского в бассейнах рек Чикой и Хилок**

Признак	Показатели	№ пробной площади					
		1	2	3	4	5	6
		Бассейн р. Чикой			Бассейн р. Хилок		
Качество ствола, балл	$X_{cp} \pm m_x$	3,5±0,3	4,1±0,2	4,0±0,2	4,4±0,2	3,8±0,2	5,0±0,0
	min	1,0	2,0	3,0	1,0	1,0	5,0
	max	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	$C_v, \%$	42,5	26,2	25,2	28,2	35,5	0,0
Форма ствола, %	$X_{cp} \pm m_x$	52,5±2,7	45,1±1,6	52,3±2,1	54,2±1,1	30,6±0,4	45,1±1,2
	min	28,6	36,2	34,0	41,7	27,0	34,0
	max	75,0	61,8	70,8	60,9	34,0	55,0
	$C_v, \%$	27,7	19,0	21,6	10,8	7,0	15,1
Обилие семеношения, балл	$X_{cp} \pm m_x$	2,0±0,0	5,0±0,0	5,0±0,0	5,0±0,0	3,2±0,1	4,5±0,1
	min	2	5,0	5,0	5,0	3,0	4,0
	max	2	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0
	$C_v, \%$	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	12,7

**Характеристика лесоводственных признаков лиственницы Чекановского  
Качество ствола (прямоствольность)**

Качество ствола – важный морфологический признак, отражающий наследственные свойства древесных пород и влияющий на качество насаждения в целом. Качество ствола в изученных популяциях лиственницы в целом хорошее, в пределах 3,5–5,0 балла. Наиболее качественные стволы лиственницы (5 баллов) отмечены в бассейне р. Хилок, на пробной площади №6, в районе ст. Хохотуй (табл. 4). В бассейне р. Чикой лучшие по качеству стволы (4,4 балла) обнаружены на пробной площади №4, в районе р. Югал, на крутом юго-западном склоне. Выявлена высокая корреляционная связь качества ствола с гибридным индексом популяции ( $r = 0,74$ ). Уровень варьирования этого признака в исследованных популяциях очень широк – от очень низкого (п.п.№6) до очень высокого (п.п.№1).

**Форма ствола (относительная высота)**

Результатом морфофизиологической реакции древесных растений на условия роста является форма ствола, поэтому относительная высота, ее определяющая, широко применяемый параметр, характеризующий условия роста [6]. Считается, что при ухудшении условий роста относительная высота

повышается, так как деревья, приспосабливаясь к условиям, реагируют на них повышенной энергией роста.

Конкурентные отношения лиственницы на исследованных пробных площадях из-за разреженности древостоя минимальные, поэтому формы стволов лиственницы, хотя и отличаются, но близки по значению, находятся в пределах от 45,1 до 54,2 %. Только лиственница на пробной площади №5, в районе ст. Хушенга отличается по этому показателю ( $h:d = 30,6 \%$ ).

**Обилие семеношения**

От обилия семеношения зависит успешность возобновления древесных пород. На семеношение древесных растений влияют экологические факторы: освещенность, температура, влажность почвы и воздуха, количества осадков, а также наследственные свойства растения. Для создания культур наиболее ценны деревья с высокой продуктивностью и обильным семеношением.

Обилие семеношения лиственницы Чекановского в исследованных популяциях было в пределах от 2,0 до 5,0 баллов. Более высоким баллом семеношения отличались популяции лиственницы на пробных площадях 2–4 в бассейне р. Чикой. Прослеживается очень высокая корреляционная связь интенсивности семеношения с гибридным индексом популяции ( $r = 0,93$ ). Индивидуальная

изменчивость обилия семеношения популяций в бассейне р. Чикой была очень низкой ( $C_v = 0,0$ ). В бассейне р. Хилок она характеризовалась низким и средним уровнями изменчивости ( $C_v = 11,3$  и  $12,7\%$ ).

### Заключение

Выполненные исследования дополняют географически прежние работы по характеристике популяций лиственницы Чекановского в Южном Забайкалье.

В результате исследований выявлены популяции лиственницы, характеризующиеся высоким уровнем изменчивости ширины шишки и числа чешуй в шишке (Югал), числа хвоинок в пучке (Хохотуй); установлена высокая положительная корреляционная зависимость качества ствола и интенсивности семеношения с гибридным индексом популяции. Лиственницы, близкие по морфологическим

признакам к лиственнице сибирской, отличаются более качественным стволом и более высокой интенсивностью семеношения.

### Библиографический список

1. Круклис, М.В. Лиственница Чекановского / М.В. Круклис, Л.И. Милютин. – М.: Наука, 1977. – 212 с.
2. Каппер, О.Г. Хвойные породы / О.Г. Каппер. М.–Л.: Гослесбумиздат, 1954. – 304 с.
3. Мамаев, С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений С.А. Мамаев. – М.: Наука, 1972. – 283 с.
4. Коропачинский, И.Ю. Естественная гибридизация древесных растений / И.Ю. Коропачинский, Л.И. Милютин. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2006. – 223 с.
5. Абаимов, А.П. Лиственницы Гмелина и Каяндера / А.П. Абаимов, И.Ю. Коропачинский. – Новосибирск: Наука, 1984. – 121 с.
6. Высоцкий, К.К. Закономерности строения смешанных древостоев / К.К. Высоцкий. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 177 с.

## ВЛИЯНИЕ ФОРМ АЗОТА НА ФОТОСИНТЕЗ, МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ И ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ

В.М. ЛЕБЕДЕВ, *проф. каф. плодоовощеводства, селекции и семеноводства Нижегородской ГСХА, д-р с.-х. наук,*

Е.В. ЛЕБЕДЕВ, *доц. каф. лесных культур Нижегородской ГСХА, канд. биол. наук*

*proximus77@mail.ru*

При разработке оптимальной системы минерального питания растений немаловажное значение имеет форма азотных удобрений. Теоретически  $\text{NH}_4^+$  более желательная форма, так как непосредственно используется на синтез аминокислот и амидов, а  $\text{NO}_3^-$  до ассимиляции восстанавливается до аммонийной формы [1]. Однако поглощение ионов  $\text{NH}_4^+$  ограничено их токсичностью [6]. По мнению японских ученых, наибольшая продуктивность достигается при одновременном применении  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$  [7]. По другим данным, при внесении мочевины наблюдалось более значительное накопление в растении азота, фосфора, калия, кальция, магния и железа различными органами растений, чем при использовании аммонийной и нитратной форм азота [8]. Имеющиеся сведения по этому вопросу в

основном получены на травянистых растениях. Сведения о реакции древесных растений, в частности хвойных лесных культур, на разные формы азотного питания ограничены. Недостаточность наших знаний по данному вопросу вызывает трудности в выборе формы азотного удобрения при разработке системы минерального питания сеянцев и саженцев в питомнике и взрослых деревьев на лесокультурных площадях.

В задачу нашего исследования входило на уровне целого организма получить количественные данные фотосинтетической активности листового аппарата, поглотительной деятельности корневой системы и биологической продуктивности лиственницы сибирской и ели обыкновенной при различных формах азотного питания.

**Влияние формы азота на активную часть корневой системы лиственницы и ели**

Варианты опыта	Длина активного корня, мм		Диаметр активного корня, мкм		Точек роста, шт. м <sup>-1</sup>		УАПКС, см <sup>2</sup> м <sup>-1</sup>	
	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е
Контроль	1,34	1,42	311	282	206	229	2,70	2,89
Фон (P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> )	1,28	1,43	291	265	179	227	2,09	2,70
Фон+NO <sub>3</sub>	1,34	1,42	344	324	134	277	1,94	4,00
Фон+NH <sub>4</sub>	1,33	1,35	356	304	167	253	2,49	3,26
Фон+NH <sub>2</sub>	1,35	1,36	364	310	135	285	2,08	3,77
Фон+NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1,29	1,43	366	275	161	227	2,39	2,80
НСП <sub>0,95</sub>	0,08	0,10	21	25	67	84	0,68	0,31

**Объекты и методы исследований**

Объектами исследования служили однолетние сеянцы лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и ели обыкновенной (*Picea adies* L.). Растения выращивали в условиях микрополевого опыта на серой лесной почве в центральной части Нижегородской области в 2007 г. Агрохимические характеристики почвы: рН<sub>(KCl)</sub> = 5,9; содержание гумуса – 2,1 %; содержание N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O – 14,2, 192,8 и 68,2 мг кг<sup>-1</sup> почвы соответственно. Эксперимент состоял из шести вариантов (по каждой породе): контроля (удобрения не вносились), фона (внесено по 60 кг га<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O) и четырех – с различными формами азотного питания. Растения высаживали в заглубленные полиэтиленовые пакеты без дна (вмещавшие 40 кг почвы) с соблюдением пространственной изоляции между вариантами. Площадь питания каждого растения равнялась 100 см<sup>2</sup>, что соответствовало 1 млн штук на 1 га. В вариантах с формами азота в качестве фона было внесено по 60 кг га<sup>-1</sup> действующего вещества фосфора и калия в виде Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> и K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. В вариантах с формами азотного питания по 60 кг га<sup>-1</sup> вносились сульфат аммония, мочевины, натриевая и аммонийная селитры соответственно. Каждое растение перед посадкой было взвешено с точностью 0,01 г. Вывод растений на заданные режимы проведен через 10 дней после их приживания (появились первичные корешки). Удобрения были внесены в растворенном виде. Длительность опыта составила 115 суток, а время работы хвой лиственницы – 107 дней. В каждом варианте было проанализировано по 10 растений. Каждое растение служило повторностью.

Площадь листьев вычисляли весовым методом. Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли по А.А. Ничипоровичу [2], энергетическую эффективность фотосинтеза (КПД ФАР) – по Х.Г. Тоомингу и Б.И. Гуляеву [3]. Детальный анализ активной части корневой системы и минеральной продуктивности корней (МП) проведен по В.М. Лебедеву [4]. Содержание азота, фосфора и калия в биомассе определяли по общепринятым агрохимическим методам. Биологическую продуктивность пород (БП) находили по относительному увеличению первоначальной массы растения.

**Экспериментальная часть**

Анализ активной части корневой системы изучавшихся пород показал, внесение фона и форм азота не повлияло на длину активного корня пород (табл. 1). Диаметры же активного корня лиственницы достоверно увеличивались при всех формах азота и были максимальными при использовании смешанной, амидной и аммонийной форм. Различия показателя в пределах опыта составили 1,26 раза. У ели достоверное увеличение диаметра активного корня наблюдалось лишь в вариантах с нитратной и амидной формами. Различия в пределах опыта составили 1,22 раза.

Форма азотного питания не повлияла на степень ветвления корневой системы (количество точек роста, приходящихся на метр корневой системы) у обеих пород. Однако у лиственницы в вариантах с нитратной и амидной формами азота показатели были достоверно ниже контрольного. Удельная активная поверхность корневой системы (УАПКС) лиственницы различалась в пределах опыта в 1,39 раза.

**Минеральная продуктивность корневой системы (мг м<sup>-2</sup> сутки<sup>-2</sup>) и поверхность активных корней, приходящаяся на единицу абсолютно сухой биомассы (Sk P<sup>-1</sup>) лиственницы и ели, а также отношение КП ФП<sup>-1</sup> при различных формах азотного питания**

Варианты опыта	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Sk P <sup>-1</sup> , см <sup>2</sup> г <sup>-1</sup> биомассы		КП ФП <sup>-1</sup>	
	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е
Контроль	248	43	63	9	99	21	11,79	11,56	0,27	0,23
Фон (P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> )	636	109	162	24	254	53	4,56	9,73	0,07	0,20
Фон+NO <sub>3</sub>	458	91	117	20	183	44	6,60	10,16	0,13	0,15
Фон+NH <sub>4</sub>	398	118	102	25	159	57	7,51	9,11	0,11	0,15
Фон+NH <sub>2</sub>	508	97	130	21	203	47	6,14	9,00	0,11	0,14
Фон+NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	593	85	151	18	237	41	4,98	9,49	0,09	0,16
НСР <sub>0,95</sub>	106	21	27	5	42	10	1,42	1,37	0,08	0,06

Варианты с формами азота по УАПКС не различались, однако при внесении нитратной формы показатель снижался по сравнению с контролем. УАПКС растений ели в пределах опыта различалась в 1,48 раза и была максимальной при внесении нитратной формы, а минимальной – при внесении фона и смешанной формы.

Изменения показателей активной поверхности корней не могли не отразиться на поглощении минеральных элементов корневыми системами пород (табл. 2). Внесение фона и применение различных форм азота повышало минеральную продуктивность (МП) изучаемых пород по сравнению с контролем. Поглощение лиственницей азота варьировало в пределах опыта в 2,56 раза и было максимальным при внесении фона и смешанной формы. Поглощение же азота елью варьировало в 2,74 раза и было максимальным при внесении аммонийной формы и фона. Поглощение породами фосфора и калия происходило с аналогичной закономерностью, как у азота, и различалось по фосфору в 2,57 и в 2,78 раза, а по калию – в 2,57 и в 2,71 раза соответственно для лиственницы и ели. Однако у ели поглощение фосфора в вариантах с амидной и аммонийной формами азота и фонном было на одном уровне.

Для более детальной характеристики особенностей поглотительной деятельности корней лиственницы и ели при внесении различных форм азота рассмотрим изменения поверхности активных корней, приходящейся на единицу абсолютно сухой биомассы (Sk P<sup>-1</sup>). В контроле у лиственницы была

максимальная поверхность активных корней, приходящаяся на единицу абсолютно сухой биомассы, а при внесении фона и смешанной формы – минимальная. Различия в границах опыта у лиственницы составили 2,59 раза, а у ели – 1,28 раза. Показатель Sk P<sup>-1</sup> ели был максимальным в контроле, а во всех остальных вариантах опыта – достоверно ниже (различий между этими вариантами не было).

Функциональная связь корневой системы с фотосинтетическим аппаратом характеризуется отношением корневого (КП) и фотосинтетического ФП потенциалов (КП ФП<sup>-1</sup>). У лиственницы минимальная функциональная связь КП с ФП была в контроле, где 1 м<sup>2</sup> активной поверхности корней обслуживал только 3,7 м<sup>2</sup> поверхности хвои. В остальных вариантах опыта функциональная связь была сильнее и 1 м<sup>2</sup> активной поверхности обслуживал от 7,7 до 14,3 м<sup>2</sup> поверхности хвои. У растений ели различий между вариантами с внесением форм азота не наблюдалось, а все формы азота усиливали функциональную связь КП с ФП по сравнению с контролем. Отношение КП ФП<sup>-1</sup> у ели варьировало в пределах опыта в 1,64 раза, и 1 м<sup>2</sup> активных корней мог обслужить от 4,3 (контроль) до 7,1 м<sup>2</sup> (амидная форма) поверхности хвои.

Анализ корреляций между отношением КП ФП<sup>-1</sup> и МП показал наличие отрицательной связи у растений лиственницы (от -0,609 и до -0,864) и ели (от -0,608 и до -0,873). Связь между показателем Sk P<sup>-1</sup> и МП также была отрицательной и варьировала у лиственницы от -0,446 до -0,972, а у ели – от -0,613 до -0,756.



**Фотосинтетическая активность, биологическая продуктивность и поверхность хвои, приходящейся на единицу биомассы растения (Сл P<sup>-1</sup>), лиственницы и ели при различных формах азотного питания**

Варианты опыта	ЧПФ, г м <sup>-2</sup> день <sup>-1</sup>		КПД ФАР, %		Биомасса за вегетацию, г м <sup>-2</sup>		Сл P <sup>-1</sup> , см <sup>2</sup> г <sup>-1</sup> биомассы		БП, раз	
	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е
Контроль	3,66	0,68	0,79	0,17	392	87	44,01	49,79	4,99	1,27
Фон (P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> )	3,46	1,63	0,79	0,37	370	188	61,16	49,31	6,16	1,60
Фон+NO <sub>3</sub>	4,03	0,99	0,88	0,23	431	114	52,08	66,76	8,25	1,72
Фон+NH <sub>4</sub>	3,51	1,28	0,77	0,29	376	147	65,36	59,59	7,52	1,78
Фон+NH <sub>2</sub>	3,39	1,49	0,73	0,34	362	171	58,25	64,88	8,80	1,59
Фон + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	3,03	1,02	0,66	0,23	324	118	54,66	58,58	6,88	1,67
НСР <sub>0,95</sub>	0,71	0,42	0,15	0,09	76	46	7,08	6,45	0,68	0,24

Следовательно, при увеличении поверхности активных корней, относительно ФП или массы растения, падает поглощение азота, фосфора и калия в расчете на единицу поглощающей поверхности. Таким образом, абсолютная величина размера активной поверхности корней не может служить мерой их минеральной продуктивности. Аналогичные результаты получены нами на девяти лесообразующих породах в условиях экологического потенциала Нижегородской области [5].

Чистая продуктивность фотосинтеза лиственницы различалась в пределах опыта в 1,33 раза (табл. 3) и была максимальной при внесении нитратной, а минимальная – при внесении смешанной формы азота. Только между этими вариантами в опыте были зафиксированы достоверные различия. ЧПФ ели различалась в 2,4 раза и повышалась относительно контроля во всех вариантах, кроме вариантов с нитратной и смешанной формами. ЧПФ лиственницы была выше, чем у ели, в 2,12–5,38 раза. Энергетическая эффективность фотосинтеза (КПД ФАР) и количество биомассы, накопленной за вегетацию 1 м<sup>2</sup> поверхности хвои, изменялись с той же закономерностью, что и ЧПФ.

Поверхность хвои, приходящаяся на единицу биомассы лиственницы (Сл P<sup>-1</sup>), различалась в 1,49 раза. Относительно контроля показатель достоверно повысился при внесении фона и всех форм азота и был максимальным в фоновом варианте и при внесении аммонийной формы азота. У ели показатель Сл P<sup>-1</sup> различался 1,35 раза, и достоверно выше контрольных (в 1,54 раза) были лишь значения варианта с внесением нитратной формы, где растения, имея ЧПФ на одном уровне с

фоном, увеличили поверхность хвои, приходящуюся на 1 г биомассы, относительно больше, чем в других вариантах.

Все формы азота достоверно повышали биологическую продуктивность (БП) обеих пород относительно контроля. Минимальная БП среди вариантов с формами азота у лиственницы наблюдалась при внесении аммонийно-нитратной (смешанной) формы, а БП ели в вариантах с формами азота была на одном уровне. Максимальная БП лиственницы была при внесении амидной формы азота, то есть в 1,3 раза выше, чем в варианте со смешанной формой. Остальные же варианты занимали промежуточное положение, поскольку их БП достоверно не различалась ни с максимальными значениями, ни с минимальными (при смешанной форме). БП лиственницы изменялась в пределах опыта в 1,76, а у ели в 1,26 раза. Следовательно, для выращивания на серых лесных почвах сеянцев лиственницы наиболее эффективно использование амидной, а для ели – любой из применявшихся в опыте форм азота.

Растения лиственницы повышали прирост абсолютно сухой биомассы за счет увеличения поверхности хвои, приходящейся на единицу биомассы растения (Сл P<sup>-1</sup>) и, соответственно, фотосинтетического потенциала (ФП), так как наблюдалась высокая положительная связь между ΔP и размером ФП (*r* варьировал от 0,855 до 0,968). Связи же ЧПФ лиственницы с ΔP и БП носили пестрый характер. У сеянцев же ели наблюдалась не только высокая корреляция между ФП и ΔP, но и между ЧПФ и БП, что объясняет увеличение ее ростовых процессов повышением ЧПФ.

### Выводы

1. Внесение форм азотного питания не повлияло на длину активного корня лиственницы и ели, однако привело к изменению диаметра активного корня, числа точек роста (у лиственницы), величины УАПКС и к повышению МП изучаемых пород. Поглощение минеральных элементов у лиственницы было максимальным при внесении фона и смешанной формы, а у ели – при внесении аммонийной формы и фона (а поглощение фосфора елью также в варианте с амидной формой). Абсолютная величина размера активной поверхности корней не может служить мерой их минеральной продуктивности.

2. Максимальная ЧПФ лиственницы наблюдалась в варианте с нитратной, а минимальная – со смешанной формой азота. Внесение аммонийной и амидной форм, а также фона повышало ЧПФ ели. ЧПФ лиственницы была выше, чем у ели в 2,12–5,38 раза. Лиственница повышала прирост абсолютно сухой биомассы за счет увеличения фотосинтетического потенциала, а ель – еще и за счет роста ЧПФ.

3. Функциональная связь корневого потенциала (КП) с фотосинтетическим (ФП) у лиственницы усиливалась, по сравнению с контролем, во всех вариантах с формами азота и в фоне, а у ели – при внесении нитратной, аммонийной и смешанной форм, где единица активной поверхности корневой системы могла обслужить относительно большую фотосинтезирующую поверхность.

4. Для достижения наибольшей биологической продуктивности при выращивании на серых лесных почвах сеянцев лиственницы наиболее эффективно использование

амидной, а для ели – любой из применявшихся в опыте формы азота.

### Библиографический список

1. Измайлов, С.Ф. О физиологической роли корней и листьев растений в ассимиляции различных доз нитратов / С.Ф. Измайлов, Т.И. Котлярова, А.М. Смирнов // Изв. АН СССР, сер. биол. – 1983. – № 3. – С. 366–374.
2. Ничипорович, А.А. О методах учета и изучения фотосинтеза как фактора урожайности / А.А. Ничипорович // Тр. ИФР АН СССР. – 1955. – Т. 10. – С. 210–249.
3. Тооминг, Х.Г. Методика измерения фотосинтетически активной радиации / Х.Г. Тооминг, Б.И. Гуляев. – М.: Наука, 1967. – 144 с.
4. Лебедев, В.М. Определение активной поверхности и минеральной продуктивности корневой системы плодовых и ягодных культур / В.М. Лебедев // Методика исследования и вариационная статистика в научном плодоводстве. Сб. докладов Международной научно-практической конференции 25–26 марта 1998 г. – Мичуринск: Изд-во МГСХА, 1998. – Т. 2. – С. 39–42.
5. Лебедев, Е.В. Возможности повышения биологической продуктивности лесообразующих пород в условиях экологического потенциала Нижегородской области: Автореф. дис...канд. биол. наук / Е.В. Лебедев. – Н.Новгород, 2003. – 193 с.
6. Reisenauer, H.M. Comparative efficiency of ammonium and nitrate for grasses / H.M. Reisenauer, C.R. Clement, L.H.P. Jones // Plant Nutrition. Proc. 9<sup>th</sup> Intern. Plant Nutrition Coll. Warwick, England, 1982. / Ed. A.Scaife. – Vol. 2, Comm. Agric. Bureaux. – 1982. – P. 539-544.
7. Ikeda, H. Studies on the utilization of inorganic nitrogen by vegetable crops with special reference to the form of nitrogen supplied / H. Ikeda // Bull. Univ. Osaka Pref. Ser. B. – 1988. – Т. 40. – P. 69-117.
8. Therios, I.N.; Sakellariadis S.D. Effects of nitrogen form on growth and mineral composition of olive plants / I.N. Therios, S.D. Sakellariadis // Sc. hortic, 1988. – Т. 35, N 3/4. – P. 167-177.

## ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ХВОЙНЫХ В БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЕ. МОЖЖЕВЕЛЬНИК В УРОЧИЩЕ ПЫМ-ВА-ШОР

М.В. СУРСО, *с. н. с. Института экологических проблем Севера УрО РАН, канд. биол. наук,*  
О.С. БАРЗУТ, *ст. преподаватель Поморского ГУ, канд. с.-х. наук*

*surso@iepn.ru; fc.geo@pomorsu.ru*

**И**зучение особенностей роста и развития можжевельника в урочище Пым-Ва-Шор было проведено в ноябре 2009 г. в рамках Полярной комплексной экспедиции

[1], организованной и проведенной Институтом экологических проблем Севера УрО РАН при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 09-

04-02100-э\_к, 07-04-00313-а, 09-05-00547-а, 09-04-00371-а, 08-04-00090-а, 08-05-98807-р\_север\_а).

Урочище Пым-Ва-Шор расположено на юго-востоке Большеземельской тундры. В урочище находятся единственные на Крайнем Севере термальные источники. Эти источники пробиваются сквозь трещины в скалах левого борта долины р. Пым-Ва-Ю. Постановлением администрации Ненецкого автономного округа № 599 от 01.08.2000 г. здесь создан памятник природы «Пым-Ва-Шор». В урочище находится древний пещерный самоедский храм Хомят Пээн зи, а в скальных гротах обнаружены места жертвоприношений [3–5]. В 1952 г. Г.А. Чернов нашел здесь две стоянки каменного века [6]. В районе Пым-Ва-Шора встречаются редкие реликтовые, тундровые и горные виды сосудистых растений. Наряду с типичными ландшафтами ерниковых тундр, вдоль берегов речных долин тянутся еловые редколесья с небольшой примесью березы. В заливаемых и заболоченных поймах рек и ручьев и по береговым откосам произрастают ивняки (*Salix glauca* L., *S. hastata* L., *S. lanata* L., *S. lapponium* L., *S. pyrolifolia* Ledeb., *S. reticulata* L. и др.) [2]. Можжевельник образует небольшие заросли вдоль береговой кромки р. Пым-Ва-Ю, по склонам долины произрастает одиночно или куртинами, выступая в качестве подлеска в елово-березовых редколесьях, на верхней террасе при выходе в тундру. Как и ель, чаще растет одиночно.

Материалом для дендрохронологического анализа можжевельника послужили поперечные спилы у корневой шейки стволиков (13 особей). Образцы древесины были взяты у наиболее развитых растений, произраставших в пойме на правом берегу долины р. Пым-Ва-Ю, в устье «холодного» ручья.

Изучение многолетней динамики годовых приростов древесных растений позволяет выявить их общие и индивидуальные закономерности роста. Амплитуда колебаний относительных индексов прироста можжевельника, произрастающего в урочище, чаще соответствует диапазону 60–90 %, реже – 120–210 % и в целом выше по сравнению с амплитудой колебаний годовых радиальных приростов ели.

Средняя ширина годового слоя у можжевельника в урочище Пым-Ва-Шор более чем в 2 раза уступает этому же показателю у произрастающей здесь ели и составляет в среднем 0,44 мм. Изменчивость абсолютных значений ширины годовых слоев у можжевельника колеблется от 40 до 93,4 %.

Динамика годовых приростов разных растений можжевельника характеризуется низкими показателями синхронности: низкое сходство тенденции изменчивости ширины годовых колец наблюдалось у 70,5 % сравниваемых пар. Очевидно, хотя рост можжевельника в границах гидротермальной экосистемы и находится под воздействием общих микроклиматических факторов, но в значительной степени определяется также эдафическими и фитоценоотическими условиями произрастания.

В многолетней динамике годового прироста можжевельника выявлен ряд циклов, так же, как и у ели, приближающихся по своему среднему значению к 11-летнему циклу солнечной активности (рисунок). Так, средняя периодичность формирования максимальных и минимальных приростов можжевельника составила соответственно 11,6 и 11,7 лет, колеблясь в диапазоне от 6 лет до 21 года. При выделении более длительных циклов, связанных с Брикнеровским периодом внутривековых климатических изменений, отмечаются 26 и 66-летние периоды. Продолжительность рассматриваемых дендрохронологических рядов не превышает 100 лет, поэтому установление вековой и сверхвековой цикличности не проводилось.

Образцы вегетативных и генеративных органов можжевельника для морфолого-морфометрического изучения были собраны с особей, у которых брались спилы для дендрохронологических исследований. После оттаивания ветви были зафиксированы в 95 %-м этаноле. Как и ель, можжевельник Пым-Ва-Шора отнесен к своему сибирскому морфотипу – *Juniperus sibirica* Burgsd., или более точно *J. sibirica* Burgsd. f. *cornua culullum* mihi. Взрослые растения габитуально представляют небольшие (высотой до 1 м) стелющиеся кусты чашеобразной формы.

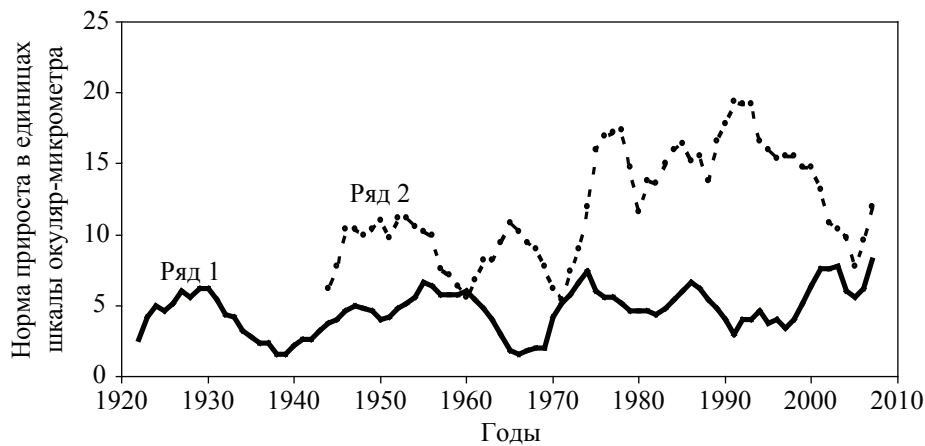


Рисунок. Проявление цикличности в динамике годовичных слоев можжевельника: ряд 1 – №13, ряд 2 – №1

«Шишкоягоды» можжевельника довольно крупные: средняя их длина составляет 4,8 мм (от 3,5 до 6,0 мм), средний диаметр 4,3 мм (от 2,5 до 5,0 мм). «Шишкоягоды» слегка продолговатые, почти шаровидные (отношение длины «шишкоягоды» к ее диаметру  $l : d = 1,1$ ), на короткой (1–1,5 мм «плодоножке»), со вдавленным, плоским или слегка выпуклым трехлучевым рубчиком и отогнутыми назад остатками стигматов пыльцевхода. Семена тетраэдрической формы от 2 до 5 мм длиной, округлые, слегка или сильно удлинённые. Хвоя мелкая, от 2,5 до 9,0 мм (в среднем, 6,3 мм) длиной, прижатая к побегам или отстоящая, слабо серповидно изогнутая, шлемовидно заостренная, плоская, с тупым килем во всю длину. Однолетние побеги желтовато-зеленые или желтовато-коричневые, двулетние – коричневые или золотисто-коричневые, на поперечном срезе круглые, с тремя полушаровидными сегментами.

Полный генеративный цикл можжевельника составляет три года. Созревшие «шишкоягоды» в основной массе опадают уже после первых же сильных заморозков, поэтому в данном исследовании речь идет о «шишкоягодах» второго года развития. К концу второго вегетационного периода «шишкоягоды» можжевельника почти достигают максимальных размеров. Семяпочки находятся на той стадии позднего эмбриогенеза, когда недифференцированные еще зародыши булавовидной формы проталкиваются вторичными суспензорами в коррозионную полость эндосперма. Однако уже на этой стадии можно судить о качестве будущих семян, поскольку морфологическая дифференциация эмбриона можжевельника в семяпочках

третьего года жизни протекает очень быстро, полностью заканчиваясь обычно к концу июля, при этом деграционные процессы эмбриональных структур уже маловероятны.

Качество семенного потомства можжевельников Пым-Ва-Шора определяли путем взрезывания и визуального анализа семяпочек. В норме в каждой «шишкоягоде» можжевельника закладывается по три мегаспорангия. Снижение количества семян в зрелых «шишкоягодах» обусловлено неопределенно большим числом факторов как наследственного, так и внешнего характера, способствующих деграционным процессам в семяпочках на ранних стадиях развития. Деграционные процессы в семяпочках после оплодотворения приводят к образованию семян с некротированными мягкими тканями («пустые» семена). Результаты взрезывания показали довольно хорошее качество семян можжевельника в урочище. В среднем на одну «шишкоягоду» приходится 2,5 семени, из которых лишь 13,4 % оказались некротическими. Вероятнее всего, высокое качество семян можжевельника здесь обусловлено благоприятными условиями опыления, поскольку можжевельники в пойме р. Пым-Ва-Ю произрастают плотными куртинами, где доля мужских особей достаточно существенна.

Таким образом, произрастающий в экстремальных климатических условиях можжевельник Пым-Ва-Шора характеризуется относительно неплохим ростом. В его женском репродуктивном цикле также не отмечено каких-либо существенных нарушений. Негативным проявлением низкотемпературного воздействия следует считать проморажива-

ние тканей можжевельника в зимний период, когда в сильные морозы его вегетативные органы (тонкие молодые ветви) рассыпаются от малейшего прикосновения.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №№ 09-04-02100-э\_к, 09-04-00371-а).

#### Библиографический список

1. Боголицын, К.Г. Программа Полярной комплексной экспедиции по изучению закономерностей функционирования арктической гидротермальной экосистемы в зимний период (на примере горячих источников Пым-Ва-Шор в Большеземельской тундре) / К.Г. Боголицын, И.Н. Болотов. – Архангельск, 2009. – 31 с.
2. Виноградова, В.М. Флора района теплых источников Пым-Ва-Шор в Большеземельской тундре / В.М. Виноградова // Вестник Ленингр. ун-та. – 1962. – Сер. биол. – № 9. – Вып. 2. – С. 22–34.
3. Журавский, А. Хребет Адак-Тальбей. Горячий водопад / А. Журавский // Архангельск. губерн. ведом. – 1906. – № 143.
4. Керцелли, С.В. По Большеземельской тундре с кочевниками / С.В. Керцелли // Архангельск: Губерн. тип., 1911. – 116 с.
5. Кулик, Н.А. Источники «Пым-Ва-Шор» / Н.А. Кулик // Изв. Архангельского общ-ва по изуч. Русского Севера. – 1909. – С. 22–34.
6. Чернов, А.А. Сероводородные источники некоторых новых районов Печорского края, имеющих признаки нефтеносности и газоносности / А.А. Чернов // Природные газы. – 1952. – №3.

## СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ПИГМЕНТОВ В ХВОЕ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

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

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

Формирование ассортимента плюсовых деревьев, используемых в создании постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ) и объектов единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК), предопределяет необходимость их многостороннего анализа, в том числе по показателям, связанным с физиологическими характеристиками, фотосинтетической активностью и биологической устойчивостью. В качестве информативных признаков сравнительной оценки и ранней диагностики селекционного материала древесных видов рассматривается содержание хлорофилла и других пигментов листового аппарата [1–4].

Объектом исследований выступали клоны плюсовых деревьев сосны обыкновенной, сосредоточенные в их архивах и на лесосеменных плантациях (ЛСП) Нижегородской области. Однолетняя и двухлетняя (раздельно) хвоя заготавливалась одновременно и равномерно с нормально развитых побегов в однотипных участках кроны: хорошо освещенная периферийная часть среднего яруса. Клоны сравнивали по одновозрастной хвое, заготовленной в одном физиологическом состоянии, чем достигалось единство ее характеристик. Содержание пигментов выполнено традици-

онными методами [5, 6]. Плюсовые деревья заметно различались средними величинами анализируемых признаков и диапазонами их значений. Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил существенность различий между их клонами по большинству анализируемых признаков на всех обследованных лесосеменных плантациях и в архивах клонов (табл. 1).

Влияние организованного фактора по большинству анализируемых показателей значительно и достоверно. Это позволяет принять тезис о выраженной наследственной обусловленности специфики изучаемых объектов по содержанию пигментов, участвующих в процессе фотосинтеза. Данное представление получает подтверждение и тем, что на каждом отдельном участке ПЛСБ и ЕГСК условия произрастания деревьев могут быть признаны выровненными и существенно не влияющими на проявление зафиксированных различий. Отмеченный факт и установленный уровень генотипической детерминированности изучаемых признаков достаточно стабильно сохраняется в течение ряда лет наблюдений и устойчиво проявляется в хвое разного возраста в других ЛСП и архивах клонов.

**Оценки существенности различий между клонами плюсовых деревьев по содержанию основных пигментов в однолетней хвое (учет 2008 г.)**

Показатели	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm s_{h^2}$ )				НСР	D критерий Тьюки
			по Плохинскому		по Снедекору			
	$F_{он}$	$F_{05}$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$		
Архив клонов № 1								
Хлорофилл- <i>a</i> ( <i>a</i> )	3,65	1,64	0,4109	0,1127	0,3060	0,1328	0,223	0,407
Хлорофилл- <i>b</i> ( <i>b</i> )	3,53	1,64	0,4030	0,1142	0,2965	0,1346	0,127	0,232
Сумма хлорофилла ( <i>a+b</i> )	3,61	1,64	0,4082	0,1132	0,3028	0,1334	0,314	0,572
Каротиноиды ( <i>k</i> )	2,08	1,64	0,2848	0,1368	0,1527	0,1621	0,073	0,132
Отношение <i>a/b</i>	3,32	1,64	0,3888	0,1169	0,2793	0,1379	0,304	0,554
Отношение <i>a/k</i>	6,33	1,64	0,5479	0,0865	0,4706	0,1013	0,436	0,794
Отношение <i>b/k</i>	4,06	1,64	0,4370	0,1077	0,3375	0,1267	0,308	0,561
Доля хлорофилла- <i>a</i>	3,68	1,64	0,4129	0,1123	0,3084	0,1323	0,023	0,042
Доля хлорофилла- <i>b</i>	3,68	1,64	0,4129	0,1123	0,3084	0,1323	0,023	0,042
Отношение <i>k/(a+b)</i>	4,94	1,64	0,4858	0,0984	0,3964	0,1155	0,023	0,043
Общая сумма пигментов	3,05	1,64	0,3683	0,1208	0,2545	0,1426	0,352	0,642
ЛСП № 1								
Хлорофилл- <i>a</i> ( <i>a</i> )	6,20	1,99	0,7441	0,1199	0,6344	0,1714	0,331	0,582
Хлорофилл- <i>b</i> ( <i>b</i> )	8,53	1,99	0,7999	0,0938	0,7151	0,1336	0,146	0,256
Сумма хлорофилла ( <i>a+b</i> )	7,50	1,99	0,7786	0,1038	0,6842	0,1480	0,447	0,787
Каротиноиды ( <i>k</i> )	3,84	1,99	0,6431	0,1673	0,4867	0,2406	0,151	0,266
Отношение <i>a/b</i>	3,36	1,99	0,6116	0,1821	0,4402	0,2624	0,335	0,590
Отношение <i>a/k</i>	2,94	1,99	0,5793	0,1972	0,3925	0,2848	0,321	0,565
Отношение <i>b/k</i>	2,70	1,99	0,5583	0,2070	0,3613	0,2994	0,236	0,415
Доля хлорофилла- <i>a</i>	3,01	1,99	0,5856	0,1943	0,4017	0,2804	0,029	0,050
Доля хлорофилла- <i>b</i>	3,01	1,99	0,5856	0,1943	0,4017	0,2804	0,029	0,050
Отношение <i>k/(a+b)</i>	2,89	1,99	0,5751	0,1992	0,3861	0,2878	0,031	0,054
Общая сумма пигментов	6,67	1,99	0,7577	0,1136	0,6541	0,1622	0,580	1,020

Сравнительная оценка клонов по содержанию пигментов, в частности хлорофилла-*a*, представлена на диаграммах (рис. 1 – 4), для одного из обследованных объектов.

Материалы рисунков 1, 2, 3, 4 свидетельствуют о значительных различиях между клонами плюсовых деревьев по содержанию хлорофилла-*a* и суммарного содержания хлорофилла и каротиноидов. Сопоставление графических иллюстраций распределения объектов по содержанию пигментов относительно среднего и в отношении друг друга позволило зафиксировать устойчиво сохраняющийся баланс.

Так как каждый вариант учета анализируемого показателя имел свою графическую специфику в распределении оценок изучавшихся образцов в общем комплексе сравнения, все диаграммы имели хорошо заметные общие тенденции в построении. На каждом из приведенных рисунков, как отражающих со-

держание хлорофилла по годам, так и в хвое разного возраста, а также на рисунке, отражающем суммарное содержание пигментов, видны однотипные части. В правой части столбчатой диаграммы легко заметить синхронно повторяющийся на всех графиках фрагмент, образованный показателями клонов плюсовых деревьев К-121, К-172, К-173, К-199, К-206, К-210, К-215 и «средним» для всей ЛСП № 24 значением признака. Сравнительно устойчиво сохраняется соотношение и внутри группы клонов К-106, К-108, К-109. Клон К-101 в большинстве случаев занимает лидирующее значение либо входит в группу с наибольшими значениями. Определенную стабильность в соотносимых оценках демонстрируют и другие клоны, хотя абсолютного сходства в характере их распределения зафиксировать не удастся. Данное обстоятельство можно признать вполне типичным для физиологических показателей биологических объектов.

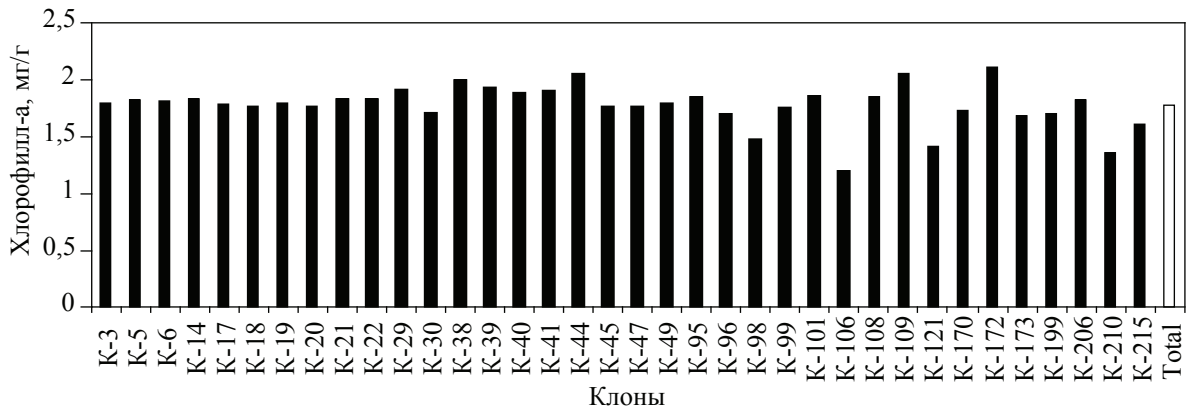


Рис. 1. Содержание хлорофилла-а в однолетней хвое (ЛСП № 24 – 2007 г. учета)

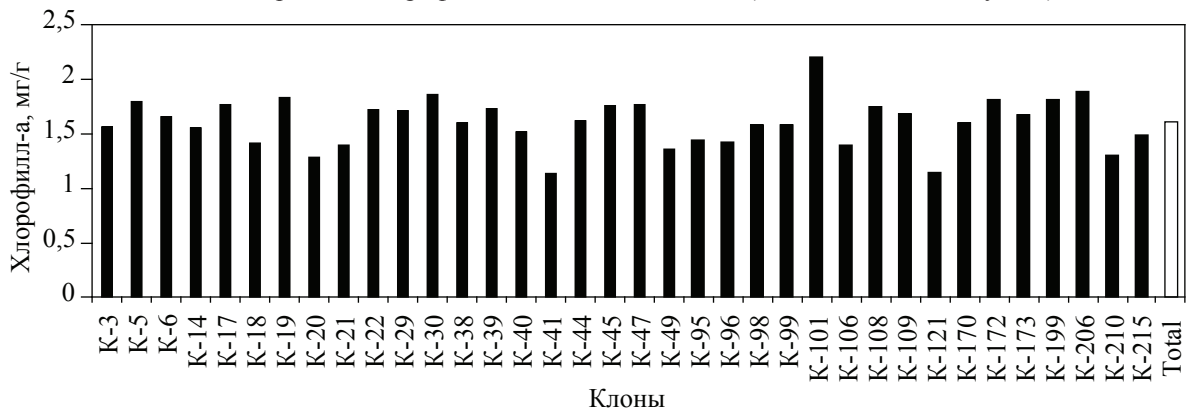


Рис. 2. Содержание хлорофилла-а в однолетней хвое (ЛСП № 24 – 2008 г. учета)

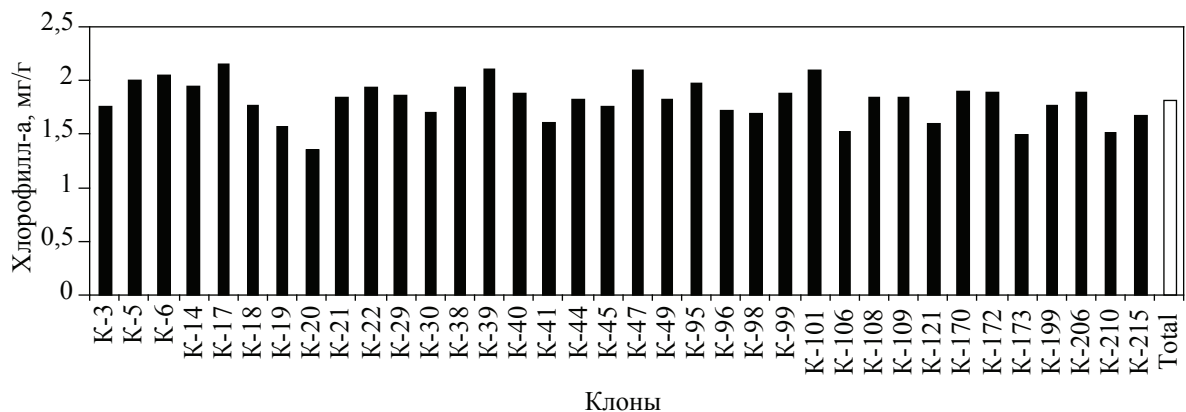


Рис. 3. Содержание хлорофилла-а в двухлетней хвое (ЛСП № 24 – 2008 г. учета)

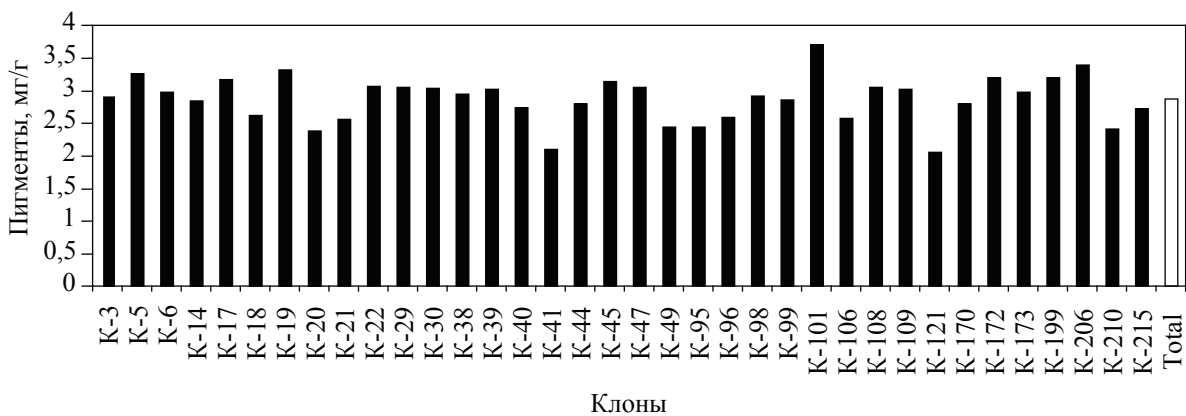


Рис. 4. Суммарное содержание пигментов в однолетней хвое (ЛСП № 24 – 2008 г. учета)

**Результаты двухфакторного дисперсионного анализа**

Объект ПЛСБ ЕГСК	Фактор	Критерий Фи- шера		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm m_h$ )			
				по Плохинскому		по Снедекору	
		$F_{оп}$	$F_{05}$	$h^2$	$\pm m_{h2}$	$h^2$	$\pm m_{h2}$
Содержание хлорофилла-а в однолетней и двухлетней хвое при одновременном учете							
Архив клонов № 1	возраст хвои	10,66	3,94	0,0686	0,0101	0,1222	0,0095
	клоны	1,77	1,66	0,2513	0,1790	0,0098	0,2368
	взаимодействие	0,62	1,66	0,0880	0,2181	-0,0048	0,2403
	остаток			0,5921	0,4079	0,8728	0,1272
Архив клонов № 4	возраст хвои	8,60	3,92	0,0284	0,0081	0,0748	0,0077
	клоны	5,68	1,56	0,5452	0,1099	0,0461	0,2305
	взаимодействие	0,31	1,56	0,0296	0,2345	-0,0068	0,2433
	остаток			0,3968	0,6032	0,8859	0,1141
ЛСП № 24	возраст хвои	42,21	3,91	0,1184	0,0061	0,2710	0,0051
	клоны	3,71	1,50	0,3644	0,1545	0,0178	0,2387
	взаимодействие	1,15	1,50	0,1132	0,2156	0,0010	0,2428
	остаток			0,4040	0,5960	0,7102	0,2898
ЛСП № 1	возраст хвои	46,05	3,99	0,1718	0,0129	0,4435	0,0087
	клоны	8,37	1,83	0,4681	0,1247	0,0725	0,2174
	взаимодействие	2,17	1,83	0,1214	0,2059	0,0115	0,2317
	остаток			0,2387	0,7613	0,4725	0,5275
Содержание хлорофилла-а в разновозрастной хвое в разные годы учета							
Архив клонов № 1	возраст хвои	1,83	3,94	0,0109	0,0108	0,0116	0,0107
	клоны	2,64	1,66	0,3457	0,1565	0,0230	0,2336
	взаимодействие	0,73	1,66	0,0951	0,2164	-0,0039	0,2401
	остаток			0,5483	0,4517	0,9693	0,0307
Архив клонов № 4	возраст хвои	17,55	3,92	0,0540	0,0079	0,1491	0,0071
	клоны	5,01	1,56	0,4467	0,1337	0,0361	0,2329
	взаимодействие	1,46	1,56	0,1303	0,2102	0,0042	0,2407
	остаток			0,3690	0,6310	0,8107	0,1893
ЛСП № 24	возраст хвои	23,78	3,91	0,0745	0,0064	0,0122	0,0058
	клоны	2,46	1,51	0,2696	0,1775	0,0008	0,2404
	взаимодействие	1,87	1,51	0,2049	0,1933	0,0005	0,2415
	остаток			0,4510	0,5490	0,0715	0,1886

Тот факт, что установленные общие тенденции в характере проявления соотношения между сравниваемыми клонами плюсовых деревьев в едином комплексе сравнения (на одной ЛСП или в составе одного архива) отчетливо прослеживаются при повторении опыта с разновозрастной хвоей в течение нескольких лет, а также сохраняются при включении в опыт образцов хвои разного возраста (однолетней и двухлетней), свидетельствует об их устойчивом характере, как собственно во временном, так и в онтогенетическом аспектах.

В конечном итоге такая хронографическая и онтогенетическая стабильность соотносимых оценок свидетельствует об устойчивости различий между сравниваемыми

объектами как на разном экологическом фоне, так и во временном аспекте. Это в свою очередь подтверждает наследственный характер установленной специфики клонов плюсовых деревьев по содержанию хлорофилла и других пигментов в хвое. В данном контексте указанный показатель может быть использован в качестве критерия сравнительных оценок вегетативного потомства плюсовых деревьев. Кроме того, он целесообразен для включения в комплекс характеристик, используемых в многомерном анализе, как признак, имеющий выраженное идентификационное значение.

Дублирование опыта в 2007 г. и 2008 г., а также с однолетней и двухлетней хвоей предопределило необходимость оценки эффек-



тивности влияния каждого из факторов на формирование дисперсии значений анализируемых признаков (табл. 2).

Дисперсионный анализ, в котором независимыми действующими факторами выступали, с одной стороны, возраст хвои, с другой – плюсовые деревья, представленные на ЛСП и в архивах своими клонами, выявил наличие существенных различий во всех вариантах учета (ЛСП и архивы клонов). Опытные критерии Фишера превышают соответствующие критические значения. Достаточно высока доля влияния фактора, действие которого обусловлено различиями в генотипах клонов плюсовых деревьев: от 25,13 % (архив № 1) до 54,52 % (архив № 4). Разница в возрасте хвои имеет достоверное влияние на уровне 2,84 % (архив № 4) – 17,18 % (ЛСП № 1). Эффект взаимодействия указанных факторов в большинстве случаев приводит к возникновению существенных различий, а доля его влияния оценивается в 2,96 % – 12,14 % в архиве 4 и на ЛСП №1 соответственно. Схема, в которой действующими факторами выступали различия в погодных условиях разных лет наблюдения и клоны плюсовых деревьев, также показала существенность различий по ним практически на всех участках учета. Исключение составляет архив № 1. При этом реакция на увеличение возраста хвои более заметна, чем реакция на изменения погодных условий. Доля влияния фактора «возраст хвои» составляла от 2,84 до 17,18 %, в то время как доля влияния фактора «годы учета» находилась в пределах от 1,09 % до 7,45 %.

Кроме этого обнаружено, что реакция растений на изменение условий заложения и развития хвои по годам учета (хронографическая изменчивость) и на увеличение возраста листового аппарата (онтогенетическая изменчивость) на фоне разных условий освещенности, корневого питания и водообеспечения неодинакова. На лесосеменных плантациях, на которых площадь питания на одно растение в 3–4 раза больше, чем в обследованных архивах клонов, зависимость растений от внешних условий оказалась выше, и их реакция на изменение внешних условий, связанная с изменением возраста хвои или изменением погодных условий в разные годы, оказалась

более выраженной. Это зафиксировал дисперсионный анализ: доля влияния фактора на ЛСП выше, чем в архивах клонов.

Отмеченные закономерности в значительной степени сохраняются при выполнении аналогичных анализов и по другим показателям: содержанию хлорофилла-*b*, каротиноидов, суммарному содержанию хлорофилла и общему количеству фотоактивных пигментов, доле содержания каждой из разновидностей хлорофилла и другим относительным признакам.

Полученный материал позволяет сделать ряд заключений. Пигментный состав хвои в значительной мере детерминирован генотипическими особенностями растений. Клоны плюсовых деревьев сосны обыкновенной существенно различаются содержанием хлорофилла, каротиноидов и их балансом. Соотношения между плюсовыми деревьями, представленными в объектах ПЛСБ и ЕГСК вегетативными потомствами, по содержанию пигментов в хвое устойчивы в онтогенетическом и временном аспектах. Наследственный характер устойчиво проявляющихся различий между клонами плюсовых деревьев по содержанию основных пигментов хвои позволяет рекомендовать указанный показатель как один из идентификационных признаков.

#### Библиографический список

1. Барская, Е.И. Изменения хлоропластов и вызревание побегов в связи с морозоустойчивостью древесных растений / Е.И. Барская. – М.: Наука, 1967. – 223 с.
2. Кундзиньш, А.В. Лесная селекция / А.В. Кундзиньш, Г.А. Игаунис, Я.Я. Гайлис и др. – М.: Лесная пром-сть, 1972. – 200 с.
3. Мезенцева, В.Т. Сезонная динамика хлорофилла в хвое отдельных видов и экотипов лиственницы / В.Т. Мезенцева и др. // Известия вузов. Лесной журнал. – 1976. – № 6. – С. 132–135.
4. Мезенцева, В.Т. Содержание хлорофилла и микроэлементов в хвое географических культур / В.Т. Мезенцева, Р.И. Дерюжкин // Лесоведение. – 1984. – № 6. – С. 61–65.
5. Ермаков, И.А. Методы биохимических исследований растений / И.А. Ермаков, В.В. Арасимович, М.И. Смирнова-Иконникова и др. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1952. – 520 с.
6. Малый практикум по физиологии растений: Учебно-методическое пособие / Под ред. М.В. Гусева. – 8-е изд-е., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 192 с.

## ВОДНЫЙ РЕЖИМ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.)

И.Б. АМОСОВА, асп. каф. экологии и защиты леса Архангельского ГТУ,

П.А. ФЕКЛИСТОВ, проф. каф. экологии и защиты леса Архангельского ГТУ, д-р с.-х. наук

*pfeklistov@yandex.ru*

Береза на севере европейской части России считалась второстепенной породой из-за большой площади хвойного леса и слабого развития производства, основанного на переработке лиственной древесины [6]. Но в последние десятилетия площадь вторичных лесов на севере, где береза является одной из лесообразующих пород, с каждым годом увеличивается. В связи с этим необходимо изучать березу как быстрорастущую породу, которая может давать большой объем древесины. Для того чтобы получать высококачественную древесину, необходимо знание морфо-физиологических особенностей деревьев. Водный режим является одним из первостепенных, так как взаимодействует с важнейшими физиологическими процессами растения – ростом, фотосинтезом, дыханием и др [3].

Целью настоящего исследования являлось изучение некоторых особенностей водного режима ассимиляционного аппарата березы повислой: особенности транспирации; содержания влаги в листьях и дефицита влажности.

Наши исследования проводились на территории Архангельской области в Приморском (северная подзона) и Ленском (средняя подзона) районе с 2008 по 2009 год. Все работы проходили в одном типе леса – березняке черничном.

При изучении интенсивности транспирации березы повислой исследовано 73 дерева разных возрастных состояний от ювенильных (j) до старых генеративных (G3). Данные по транспирации собирались на протяжении двух лет (2008–2009) с июня по август. Транспирацию изучали методом быстрого взвешивания [2]. Ветки для взвешивания брали в пятикратной повторности из разных частей кроны. У ювенильных (j) и иматурных (im) особей крона не подвергалась делению из-за слабого ветвления. У виргинильных (V) крону делили на верх-

нюю и нижнюю часть, так как в наших исследованиях крона V деревьев не превышала в высоту 3–4 м. У генеративных (G) деревьев крона делилась на верхнюю, среднюю и нижнюю часть. Измеряли с 13 до 16 часов, в период самой интенсивной транспирации [4, 5]. Всего проведено взвешиваний 1692. Замеряли основные внешние факторы, влияющие на интенсивность транспирации: температуру, освещенность, скорость ветра.

Влажность листьев березы повислой также изучалась у деревьев разного возрастного состояния (от im до G3 особей). Рассматривали изменение влажности листьев в разных частях кроны. Деление кроны осуществлялось точно так же, как и при транспирации. Из каждой части кроны изымали по 30 листочков для навески. У иматурных особей по 15 листочков, т.к. крона плохо развита. Для вычисления относительного содержания воды в листьях березы использовали формулу  $a - v / a \times 100 \%$ , где  $a$  – сырая масса листьев;  $v$  – абсолютно сухая масса. Всего было изучено 96 деревьев березы повислой.

При определении водного дефицита листьев березы повислой брали навеску диаметром 2,5 см. Она взвешивалась на электронных весах (точность весов до 0,01 г) и погружалась в воду на 10 мин. По истечении этого времени навеску вновь взвешивали и погружали в воду еще на 10 мин, чтобы убедиться в полном насыщении ее водой. Для вычисления водного дефицита использовали формулу  $d = c - a / c - b \times 100 \%$ , где  $c$  – масса исследуемой навески при полном насыщении;  $a$  – сырая масса навески;  $b$  – абсолютно сухая масса навески [1].

Прослеживается зависимость интенсивности транспирации от возрастного состояния. В первый год исследований наибольшей транспирацией отличаются молодые генеративные деревья (G1) (рис. 1) как в северной, так и в средней тайге (602 мг/г\*час

– северная; 2205 мг/г\*час – средняя). Наименьшая интенсивность транспирации зафиксирована у старых генеративных деревьев (200 мг/г\*час – северная; 225 мг/г\*час – средняя). Но уже на следующий год эта зависимость проявляется нечетко. В северной подзоне транспирация выше у имматурных особей (im – 436 мг/г\*час), а в средней у виргинильных деревьев (V – 492 мг/г\*час). Минимальная интенсивность транспирации в северной подзоне отмечена у старых генеративных деревьев – 160 мг/г\*час.

В средней подзоне у имматурных и генеративных деревьев показатели практически одинаковые – 442 и 441 мг/г\*час соответственно.

При расчете зависимости интенсивности транспирации от возрастного состояния дерева установили, что в 2008 г. в северной подзоне связь высока ( $\eta = 0.6 \pm 0.1$ , при  $t = 6.4$ ), а в средней подзоне эта связь немного больше ( $\eta = 0.7 \pm 0.1$ , при  $t = 7.0$ ). В 2009 году зависимость прослеживается только в северной подзоне тайги, но она ниже, чем год назад ( $\eta = 0.5 \pm 0.1$ , при  $t = 5.4$ ). В средней подзоне этой связи не обнаружено ( $\eta = 0.2 \pm 0.2$ , при  $t = 1.1$ ).

Отмечено изменение интенсивности транспирации в разных частях кроны (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Показатели интенсивности транспирации в разных частях кроны**

Подзоны	Возрастные состояния	Интенсивность транспирации в разных частях кроны, мг/г*час	
		нижняя	верхняя (средняя)*
2008 год			
северная	V	257	253
	G	292	753
средняя	V	–	–
	G	712	1420
2009 год			
северная	V	482	501
	G	442	440
средняя	V	539	281
	G	359	302

\*Верхняя часть кроны у виргинильных особей – V; средняя часть кроны у генеративных особей – G

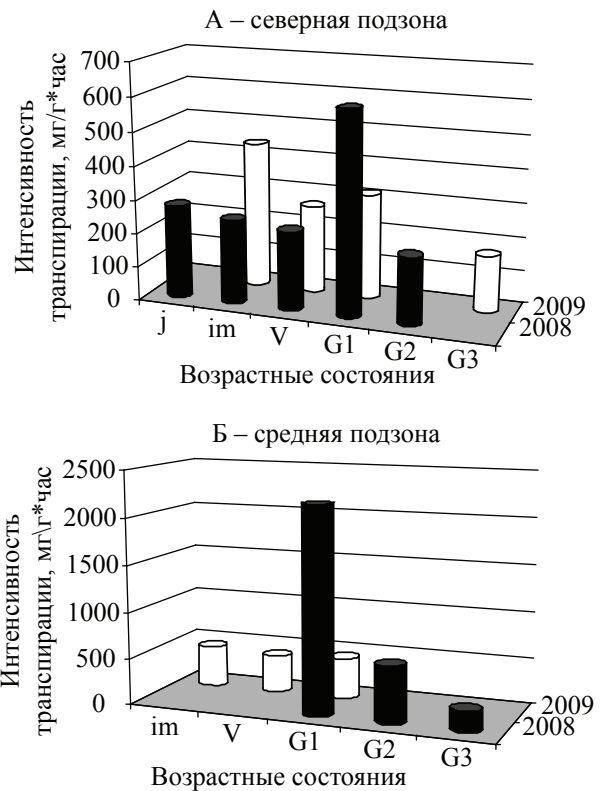


Рис. 1. Зависимость интенсивности транспирации от возрастного состояния деревьев

В первый год исследований у виргинильных особей показатели интенсивности транспирации практически не отличались в разных частях кроны. У генеративных деревьев эта зависимость хорошо просматривалась, в средней части кроны транспирация была выше, чем в нижней, в 2 раза. Во второй год интенсивность транспирации практически не различалась в разных частях кроны, в северной подзоне. А в средней подзоне показатели выше в нижней части кроны. У виргинильных особей в 2 раза выше, а у генеративных – на 56 мг/г\*час.

Интенсивность транспирации изменяется в течение лета (рис. 2). В 2008 г. наибольшие показатели отмечены в июне, в среднем 807 мг/г\*час. Затем транспирация закономерно снижалась, и в августе зафиксированы минимальные показатели интенсивности транспирации – 238 мг/г\*час. В 2009 г. картина меняется, максимальные показатели отмечены уже в июле – 741 мг/г\*час, а в июне минимальные – 323 мг/г\*час.

Транспирация в июле выше в 2 раза, чем в июне и в августе.

**Влажность листьев в зависимости от возрастного состояния**

Статистические показатели	Возрастные состояния				
	im	V	G1	G2	G3
<b>СРЕДНЯЯ ПОДЗОНА ТАЙГИ</b>					
Среднее значение	59,42	59,76	59,97	61,83	67,00
Основная ошибка	0,76	0,81	0,98	2,66	1,53
Среднее квадратическое отклонение	3,31	5,19	5,65	6,52	2,65
Коэффициент изменчивости	5,56	8,68	9,43	10,55	3,95
Точность опыта, %	1,28	1,36	1,64	4,31	2,28
Достоверность среднего значения	78,37	73,79	60,93	23,22	43,86
<b>СЕВЕРНАЯ ПОДЗОНА ТАЙГИ</b>					
Среднее значение	72,60	71,50	71,80	68,50	–
Основная ошибка	1,18	0,70	1,85	1,85	–
Среднее квадратическое отклонение	3,72	2,22	4,15	3,70	–
Коэффициент изменчивости	5,12	3,11	5,78	5,40	–
Точность опыта, %	1,62	0,98	2,58	2,70	–
Достоверность среднего значения	61,75	101,68	38,71	37,06	–

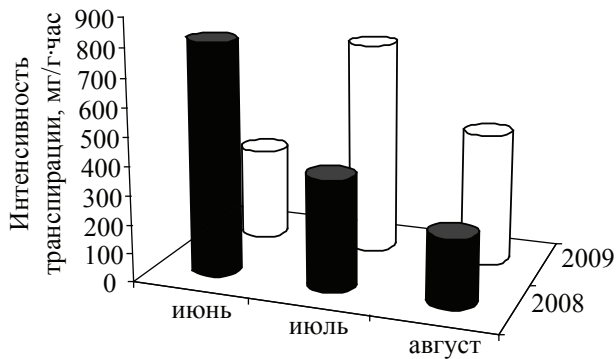


Рис. 2. Изменение транспирации в разные месяцы лета

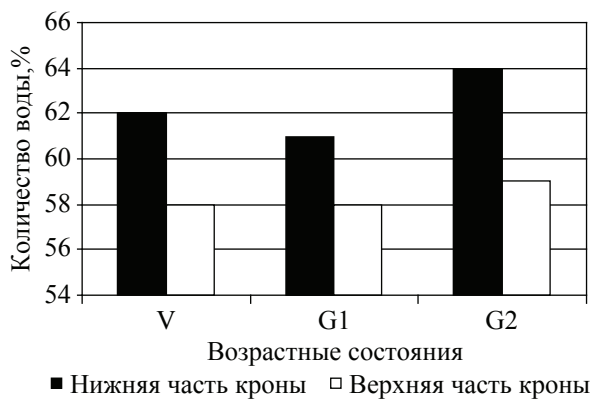


Рис. 3. Влажность листьев в разных частях кроны

Средний показатель транспирации в течение лета в 2008 г. равен 477 мг/г·час, а в 2009 – 509 мг/г·час. Интенсивность транспирации практически не отличается, только незначительно выше в 2009 г., на 14 мг/г·час.

Транспирация различается в разных подзонах тайги. В 2008 году интенсивность транспирации выше в средней подзоне тайги на 137 мг/г·час, а в 2009 наоборот в северной подзоне, но незначительно выше – на 70 мг/г·час. Такие показатели в 2009 получились скорее всего в результате того, что исследования в средней подзоне выполнялись уже в середине августа.

Влажность листьев с возрастом изменяется (табл. 2). Изменчивость показателя низкая, но чуть выше в средней подзоне тайги.

В северной подзоне тайги количество воды уменьшается на 4 %, а в средней наоборот возрастает на 8 %. Различия достоверны: в первом случае  $t = 5,1$ , во втором случае  $t = 6,3$ , при  $t_{st} = 3,0$ . Установили, что корреляционная связь между влажностью листьев и возрастным состоянием особи слабая в обеих подзонах: северная  $r = -0,3$ ,  $t = 2,0$ ; средняя  $r = 0,2$ ,  $t = 2,0$ .

Влажность листьев выше в нижней части кроны, чем в верхней, во всех возрастных состояниях (рис. 3).

В нижней части кроны влажность составляет 62 % в среднем, а в верхней части 58 %, что ниже на 4 %. Такое процентное соотношение сохраняется во всех возрастных состояниях. Корреляционная зависимость влажности листьев с частью кроны умеренная, обратная ( $r = -0,4$ ,  $t = 3,6$ ).

**Водный дефицит листьев в зависимости от возрастного состояния**

Статистические показатели, %	Возрастные состояния				
	im	V	G1	G2	G3
<b>СРЕДНЯЯ ПОДЗОНА</b>					
Среднее значение	31,22	21,86	19,27	17,33	12,67
Основная ошибка	2,01	0,88	1,31	2,60	1,45
Среднее квадратическое отклонение	6,02	3,30	4,36	4,51	2,52
Коэффициент изменчивости	19,27	15,11	22,63	26,02	19,87
Точность опыта	6,42	4,04	6,82	6,55	6,87
Достоверность среднего значения	15,57	24,77	14,66	15,02	11,47
<b>СЕВЕРНАЯ ПОДЗОНА</b>					
Среднее значение	26,67	23,00	21,62	23,00	–
Основная ошибка	6,49	1,10	2,63	1,47	–
Среднее квадратическое отклонение	11,24	2,68	7,44	2,94	–
Коэффициент изменчивости	42,15	11,67	34,42	12,8	–
Точность опыта	24,34	4,76	12,17	6,4	–
Достоверность среднего значения	4,11	21,00	8,22	15,63	–

Количество воды в листьях березы повислой отличается в разных подзонах. В северной тайге влажность листьев в среднем равна 72 %, а в средней 62 %, на 10 % меньше. Различия средних значений достоверны  $t = 5,9$ , при  $t_{st} = 3,0$ . Скорее всего, это связано с тем, что исследования проводились в средней подзоне только в августе.

При измерении дефицита влажности установлены следующие закономерности. Он изменяется в разных возрастных состояниях, уменьшается от иматурных особей (31 % – средняя и 27 % – северная) к генеративным (17 % – средняя и 23 – северная) (табл. 3).

Таким образом, наибольший дефицит влаги достигается у иматурных особей. Эти данные подтверждаются результатами по влажности листьев – влажность увеличивается с возрастом, а дефицит влаги соответственно уменьшается.

Наиболее четко эта тенденция прослеживается в средней подзоне тайги. Это подтверждает и высокая достоверность различий  $t = 10,3$ , при  $t_{st} = 3,0$ . В северной подзоне различия недостоверны  $t = 0,9$ , при  $t_{st} = 3,0$ . Установленная корреляционная связь дефицита влажности с возрастными состояниями высокая, обратная  $r = -0,7$ ,  $t = 10,3$ .

Водный дефицит листьев как в северной, так и в средней подзоне тайги составил 20 % и 24 %, соответственно.

В результате проведенных нами исследований установлены следующие особенности водного режима березы повислой.

Интенсивность транспирации зависит от возрастного состояния дерева. В 2008 г. на более высокая транспирация отмечена у молодых генеративных деревьев, наименьшая у старых генеративных, в 2009 г. наибольшая зафиксирована у иматурных и молодых генеративных, а наименьшая у виргинильных и старых генеративных деревьев. Транспирация изменяется в разных частях кроны. В 2008 г. интенсивность транспирации выше в средней части кроны, а в 2009 г. – в нижней. Транспирация изменяется в течение лета. В 2008 г. максимальная транспирация отмечена в июне, а в 2009 – в июле.

Влажность листьев зависит от частей кроны. Имеется четкая закономерность: у всех возрастных состояний количество воды выше в нижней части кроны, в среднем на 4 %.

Дефицит влажности уменьшается с возрастом – от иматурных к генеративным деревьям.

**Библиографический список**

1. Веретенников, А.В. Физиология растений: учебник – 2-е изд., / А.В. Веретенников. – Воронеж: ВГЛТА, 2002. – 272 с.
2. Иванов, Л.А. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях / Л.А. Иванов, А.А. Силина, Ю.Л. Цельникер // Ботан. журнал. – 1950. – Т. 35. – № 2. – С. 171–185.

3. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с.
4. Феклистов, П.А. Влияние степени осушения на суточный ход транспирации сосны / П.А. Феклистов, В.В. Худяков // Материалы отчетной сессии по итогам научно-исследовательских работ за 1988. – Архангельск, 1989. – С. 55–56.
5. Феклистов, П.А. Транспирация деревьев в осушенных сосняках / П.А. Феклистов, В.В. Худяков // Материалы отчетной сессии по итогам научно-исследовательских работ за 1990. – Архангельск, 1991. – С. 67–69.
6. Чупров, Н.П. Березняки Европейского Севера России / Н.П. Чупров. – Архангельск: СевНИИЛХ, 2008. – 386 с.

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВЕРХНЯЯ АНГАРА

О.В. КАЛУГИНА, *н. с. Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН, канд. биол. наук,*

Т.А. МИХАЙЛОВА, *зав. лаб. патологии древесных растений Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН, д-р биол. наук,*

О.И. НЕСТЕРЕНКО, *асп. Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН*

*phytotox@sifibr.irk.ru; mikh@sifibr.irk.ru*

Верхняя Ангара является вторым по величине (после р. Селенги) притоком озера Байкал, ее водный сток составляет около 10 км<sup>3</sup>, или 18 % от общего стока в озеро [1]. Верхняя Ангара протекает в северной части Республики Бурятия, ее длина равна 438 км, площадь водосборного бассейна – 21,4 км<sup>2</sup>. Река берет начало на стыке Северо-Муйского и Делюн-Уранского хребтов на высоте 2000 м н.у.м., в Байкал впадает около самой северной оконечности озера на высоте 456 м, где образует мелководную дельту (Ангарский сор). Долина реки обрамлена с севера крутыми отрогами Верхнеангарского хребта высотой до 2608 м, на юге и юго-востоке – также высокими, но более пологими склонами Баргузинского и Северо-Муйского хребтов (с максимальными высотами 2654 и 2537 м) [2]. В верховьях долина реки узка и зажата в ущельях. В среднем течении на протяжении около 200 км это широкая долина с многочисленными озерами, то есть собственно Верхнеангарская котловина. Приустьевый участок долины отделен от основной ее части узким сужением между отрогами Баргузинского и Верхнеангарского хребтов.

Климат в бассейне Верхней Ангары резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха в устье реки на побережье Байкала составляет –3,2°С, понижаясь до 4,9°С в 60 км и до –6,6°С в 120 км от него.

Продолжительность безморозного периода в долине не превышает 90 дней. Широко распространена многолетняя мерзлота, в отложениях встречаются погребенные льды мощностью до 10 м и более. По мере удаления от Байкала уменьшается также годовое количество осадков – от 417 до 352 мм. Распределение снежного покрова в бассейне реки неравномерное, на склонах хребтов высота его достигает 60 см, в межгорных понижениях – 10–15 см. На этой территории преобладают ветры западного и северо-западного направлений. Большую роль в переносе воздушных масс играет также местная горно-долинная циркуляция, в результате которой происходит отток воздуха в котловину озера [2, 3]. Почвенный покров долины характеризуется преобладанием подзолистых почв легкого механического состава с высоким содержанием гумуса (до 95 %) и обменных оснований, реакция почв в основном нейтральная или слабокислая. Широко распространены также болотно-подзолистые и болотные почвы, на склонах гор – горные со слабо развитым почвенным профилем [4].

Природный комплекс бассейна Верхней Ангары весьма разнообразен. В долине расположено большое количество озер, болот и лугов, на южных склонах хребтов встречаются фрагменты степей. Обширные площади заняты коренными светлохвойными лесами,

выше границы леса распространены гольцы [5]. В бассейне реки имеются выходы термальных минеральных источников. Недра долины обладают значительными запасами минерального сырья. Здесь разведаны крупные месторождения цветных металлов, сынырита, имеются запасы кирпичных и керамзитовых глин, строительного камня [2]. Для освоения минеральных ресурсов в бассейне Верхней Ангары планируется создание нескольких предприятий горнодобывающей промышленности.

В пределах бассейна Верхней Ангары располагается менее 10 населенных пунктов. Это поселки и села, в которых проживает около 15 тыс. человек. Их расположение приурочено к Байкало-Амурской магистрали (БАМ), которая проходит по долине реки. Основным видом деятельности населения является обслуживание железной дороги, а также лесозаготовка и переработка леса, на небольших площадях развивается сельское хозяйство. Промышленных предприятий здесь нет, следовательно, можно говорить, что техногенная нагрузка отсутствует.

Важнейшим средообразующим ресурсом водосборного бассейна реки являются леса. Они выполняют климаторегулирующие, водоохраные, противозерозионные и другие экологически значимые функции, поэтому по их состоянию можно адекватно оценить экологическую ситуацию на обследованной территории.

В настоящее время леса в долине Верхней Ангары подвергаются воздействию ряда антропогенных факторов. Лесопокрываемая площадь сокращается вследствие рубок, в том числе незаконных (Гос. доклад..., 2009). Объемы сплошных и выборочных рубок ежегодно возрастают, за последние 5 лет вырублено около 600 тыс. м<sup>3</sup> древесины, при этом очистка мест лесозаготовок и восстановление нарушенных лесных площадей производятся далеко не в полной мере. Леса в долине реки страдают также и от пожаров. По данным космического мониторинга, проводимого ФГУНПП «Росгеолфонд», в бассейне реки в 2007 г. было зарегистрировано около 30 лесных пожаров, в основном в нижнем течении. На территориях, пройденных пожарами, меняющиеся природные условия способствуют

образованию болот и озер, уменьшению стока воды в Байкал [3]. Древостои, ослабленные действием негативных факторов, становятся уязвимыми для насекомых-ксилофагов. Результаты энтомологических исследований свидетельствуют о распространении на этой территории вредоносных для хвойных деревьев видов: алтайского усача, большого и малого черного елового усача, шестизубого и валежничкового короедов [6].

Исследованию лесов Верхнеангарской долины посвящены работы В.А. Поварницына, Л.Н. Тюлиной, Л.И. Малышева [5, 7, 8]. Авторами дана типологическая характеристика хвойных насаждений, приуроченность их к определенным типам почв, проведена оценка продуктивности и состава основных лесобразующих пород. Активные исследования компонентов биогеоценозов в бассейне Верхней Ангары проводились в период строительства БАМ и хозяйственного освоения прилегающей территории [4, 9]. Однако не найдено публикаций, связанных с оценкой современного состояния лесов этой территории, формирующих почти пятую часть водного стока в озеро Байкал. Следует отметить, что подобные исследования приобретают актуальность в аспекте возрастающей экономической значимости территории бассейна реки и усиления антропогенной нагрузки на лесные экосистемы. В связи с этим цель работы – охарактеризовать эколого-физиологическое состояние сосновых древостоев в бассейне Верхней Ангары на основе исследования комплекса параметров ассимилирующей фитомассы деревьев.

#### **Объекты и методы исследований**

Натурными обследованиями была охвачена лесопокрываемая территория Верхнеангарской котловины и приустьевое участка реки общей площадью около 880 тыс. га. Полевые работы проводились в 2006–2008 гг. Преобладающая часть территории представлена коренными светлохвойными формациями – лиственницей и сосной. Насаждения сосны занимают различные местообитания: равнинные хорошо прогреваемые участки с песчаными и супесчаными почвами, повышенные формы рельефа с глубоким уровнем мерзлоты, заболоченные участки долины.

Т а б л и ц а 1

**Морфоструктурные параметры хвои и побегов сосны из разных частей бассейна Верхней Ангары**

Место произрастания	Класс бонитета	Длина побега, см	Масса хвои с одного побега, г	Масса одной хвоинки (m), мг	Длина хвои (d), мм	Число пар хвоинок на побеге, шт.	Коэффициент роста хвои, m/d
Приустьевый участок реки	III–II	16,60±2,14	6,93±2,41	37,02±3,62	52,70±0,21	93,60±14,37	0,70±0,05
Долина реки	IV–III	13,39±3,16	4,46±1,70	27,80±0,92	50,60±0,35	80,21±18,70	0,55±0,06

Т а б л и ц а 2

**Содержание элементов (% от сухой массы) в хвое сосны в бассейне Верхней Ангары**

Элемент	Бассейн Верхней Ангары	
	Приустьевый участок	Долина реки
Азот	0,86±0,04	0,92±0,11
Фосфор, ×10 <sup>-1</sup>	2,73±0,11	2,48±0,35
Кальций, ×10 <sup>-1</sup>	4,39±0,64	3,98±1,39
Калий, ×10 <sup>-1</sup>	4,47±0,02	4,25±0,14
Магний, ×10 <sup>-1</sup>	0,95±0,08	0,89±0,06
Сера, ×10 <sup>-2</sup>	2,60±0,06	2,30±0,07
Кремний, ×10 <sup>-1</sup>	1,16±0,28	1,92±0,79
Натрий, ×10 <sup>-2</sup>	0,85±0,07	0,86±0,14
Марганец, ×10 <sup>-2</sup>	3,75±1,09	4,46±1,95
Железо, ×10 <sup>-2</sup>	0,79±0,15	0,91±0,10
Цинк, ×10 <sup>-3</sup>	3,80±0,47	4,72±1,69
Медь, ×10 <sup>-4</sup>	3,23±1,22	2,51±0,35
Фтор, ×10 <sup>-3</sup>	1,01±0,17	0,96±0,20
Свинец, ×10 <sup>-5</sup>	0,69±0,21	0,91±0,12
Кадмий, ×10 <sup>-6</sup>	4,57±0,59	3,51±0,83
Сумма всех элементов	2,32±0,33	2,35±0,45

Широкое распространение древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по всему бассейну Верхней Ангары обусловило выбор их в качестве объекта исследований. На этой территории преобладают сосняки рододендроновые, чаще без примеси других пород, иногда с примесью лиственницы, III–IV класса бонитета, полнота составляет в среднем 0,6. В этом доминирующем типе сосновых лесов были заложены пробные площади в соответствии с ОСТ (ОСТ, 1990). На каждой пробной площади определяли состояние ассимилирующей фитомассы крон деревьев по визуальным и морфоструктурным параметрам: уровню дефолиации, продолжительности жизни хвои, длине побегов, длине и массе хвои на побегах, охвоенности побегов. Кроме того, на пробных площадях отбирали образцы хвои с 5–8 деревьев II класса возраста, в которых анализировали содержание

элементов: азота, фосфора, кальция, магния, калия, серы, кремния, натрия, фтора, марганца, железа, цинка, меди, свинца, кадмия. Элементный химический состав хвои определяли методами пламенной фотометрии, атомно-абсорбционной спектрофотометрии, фотоколориметрирования [11]. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Ms Office (Excel) и STATISTICA 6.0.

**Результаты и их обсуждение**

Результаты исследований показывают значительное варьирование морфоструктурных параметров древостоев сосны в бассейне Верхней Ангары. Так, продолжительность жизни хвои в долине реки составляет 4–5 лет, в приустьевом участке она достигает 5–6 лет. Уровень дефолиации крон деревьев в долине равен 25–30 %, в низовьях реки – 10–20 %. В



достаточно широких пределах (коэффициенты вариации  $CV$  составляют 20–50 %) изменяются и другие морфоструктурные параметры (табл. 1).

В целом наиболее высокие значения показателей роста и состояния ассимилирующих органов обнаруживаются у деревьев в нижнем течении Верхней Ангары (приустьевый участок), где сказывается воздействие Байкала, снижающее континентальность климата. При сопоставлении этих данных с интегральной характеристикой роста древостоев – классом бонитета – выявляется определенное соответствие, в приустьевом участке преобладают сосняки III класса бонитета, в долине – IV класса бонитета.

Анализ элементного химического состава хвои сосны показал, что содержание большинства элементов и их суммарное количество в образцах из разных частей бассейна Верхней Ангары близки, различия небольшие и статистически не значимы (табл. 2).

Таким образом, показано, что на обследованной территории древостои из разных мест произрастания мало отличаются по содержанию химических элементов в хвое, но в то же время по ростовым параметрам ассимилирующей фитомассы различия существенны. В частности, в более жестких условиях произрастания (в долине) ростовые характеристики более низкие. Это объясняется, по-видимому, разными затратами вещества и энергии на ростовые и адаптивные процессы, то есть в более благоприятных условиях преобладают затраты на рост, а в менее благоприятных – на адаптацию.

При сравнении полученных данных со шкалой обеспеченности сосны элементами питания [12, 13] следует, что в целом сосновые древостои в бассейне Верхней Ангары испытывают недостаток азота и калия, хорошо обеспечены фосфором, магнием, серой, кальцием, количество цинка, марганца и железа соответствует оптимальным для роста деревьев показателям, концентрация меди находится на уровне нижнего предела обеспеченности. Содержание фтора, свинца и кадмия в хвое сосны значительно ниже порога токсичности, равного для фтора  $3,0 \cdot 10^{-3} \%$ , свинца –  $5,0 \cdot 10^{-4} \%$ , кадмия –  $2,0 \cdot 10^{-4} \%$  от

сухой массы [14]. Эти данные подтверждают отсутствие техногенной нагрузки на древостои в настоящий период, следовательно, территория бассейна Верхней Ангары может считаться фоновой. От других фоновых территорий Предбайкалья и Западного Забайкалья [15, 16] она отличается по более высокому уровню фосфора, калия, кремния, марганца, цинка, кадмия и меньшему содержанию азота, кальция, магния, серы, натрия, фтора, свинца в хвое. По ряду морфоструктурных характеристик сосняки в бассейне Верхней Ангары близки к древостоям Западного Забайкалья. В Предбайкалье параметры роста и состояния ассимилирующих органов сосны в среднем в 1,5 раза выше.

### Заключение

Эколого-физиологическое состояние древостоев сосны в бассейне Верхней Ангары определяется местом их произрастания. В приустьевом участке реки, где сказывается снижающее континентальность климата воздействие Байкала, сосновые древостои характеризуются более высокими показателями роста и состояния ассимилирующих органов преобладанием более высокого класса бонитета. При продвижении в долину реки, с ужесточением условий произрастания, показатели состояния ассимилирующей фитомассы древостоев снижаются, по-видимому, в этом случае значительная доля вещества и энергии расходуется на адаптивные процессы. При дополнительных стрессовых нагрузках этот вектор может усилиться и рост еще больше снизится. Средообразующая роль таких древостоев будет уменьшаться. Это следует учитывать при создании в данном регионе новых промышленных предприятий, деятельность которых повлечет за собой дополнительные антропогенные нагрузки на лесные экосистемы.

### Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2008 году». – Иркутск: Сиб. филиал ФГУНПП «Росгеолфонд», 2008. – 455 с.
2. Атлас Забайкалья. – М.-Иркутск: ГУГК СССР, 1967. – 176 с.
3. Гета, Р.И. Краткий физико-географический очерк озер Верхнеангарской впадины / Р.И. Гета // Озера

- Прибайкальского участка зоны БАМ. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 5–17.
4. Кузьмин, В.А. Почвы котловин Байкальского типа / В.А. Кузьмин. – Иркутск, 1976. – 144 с.
  5. Поварницын, В.А. Почвы и растительность бассейна Верхней Ангары / В.А. Поварницын // Труды СОПС АН СССР. Вост.- Сиб. серия, 1937. – Вып. 4. – С. 15–26.
  6. Плешанов, А.С. Эколого-хозяйственные группы насекомых в лесах зоны БАМ / А.С. Плешанов, Е.Д. Бережных, О.Г. Гамерова и др. // Лесоведение. – 1988. – № 3. – С. 21–26.
  7. Тюлина, Л.Н. Лиственничные леса северо-восточного побережья Байкала и западного склона Баргузинского хребта / Л.Н. Тюлина // Труды Ботанического ин-та АН СССР. Сер. III, Геоботаника. – 1954. – Вып. 9.
  8. Малышев, Л.И. Растительность лесного пояса побережий Северного Байкала: автореф. ... канд. биол. наук / Л.И. Малышев. – Иркутск, 1956.
  9. Ляхова, И.Г. Флора и растительность болот Верхнеангарской котловины / И.Г. Ляхова, О.С. Зацепина, М.В. Рагзина и др. // Естественные кормовые угодья Забайкалья, их рациональное использование и охрана: научно-технический бюллетень. – 1987. – Вып. 20. – С. 21–23.
  10. ОСТ 16128-90. Пробные площади лесостроительные. М.: Гослесхоз СССР, 1990. – 8 с.
  11. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
  12. Wehrmann, J. Metodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kiefernbeständen / J. Wehrmann // Fortstwiss. Sbl., 1959. – Н. 78. – 3-4 s.
  13. Ковальский, В.В. Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 300 с.
  14. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
  15. Михайлова, Т.А. Элементный состав хвои и морфофизиологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения / Т.А. Михайлова, Н.С. Бережная, О.В. Игнатьева. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2006. – 134 с.
  16. Михайлова, Т.А. Оценка влияния атмосферного загрязнения на состояние лесов северной части байкальской природной территории / Т.А. Михайлова // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 3. – С. 122–127.

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ФОРМ СОСНЫ НА БОЛОТНЫХ ВЕРХОВЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ПРИ АЭРОТЕХНОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

С.Н. ТАРХАНОВ, *с. н. с. лаборатории экологии популяций и сообществ Института экологических проблем Севера УрО РАН, канд. с.-х. наук,*

С.Ю. БИРЮКОВ, *с. н. с. лаборатории экологии популяций и сообществ Института экологических проблем Севера УрО РАН, канд. биол. наук*

*tarkse@yandex.ru; syubir65@yandex.ru*

**Б**олотные верховые почвы формируются при увлажнении мягкими застойными водами атмосферных осадков на плоских слабодренированных водоразделах. В затопленных почвах избыток гравитационной воды вытесняет воздух из пор. Недостаточная аэрация может вызывать ослабление роста побегов древесных растений, уменьшая их снабжение регуляторами роста и органическими азотистыми соединениями, а также замедляя поглощение воды и солей, снижает их тургор. Одним из следствий пониженного тургора является ослабление фотосинтеза, вызываемое закрытием устьиц, влияние на механизм фотосинтетического процесса и уменьшение листовой поверхности. Водный стресс действует на многие процессы, идущие с участием

ферментов, в том числе и дыхание, темновые реакции фотосинтеза, образование хлорофилла, углеводный и азотный обмены [1].

Вопросы влияния аэротехногенного загрязнения Архангельской агломерации на древесные растения, в частности хвойные породы, детально рассмотрены нами ранее [2, 3]. Выявлено снижение интенсивности фотосинтеза и содержания пластидных пигментов сосны с приближением к Архангельскому ЦБК.

Различия в окраске мужских пыльников послужили основанием для выделения у сосны обыкновенной двух форм – краснопыльниковой (*P. sylvestris* var. *erythranthera* Sanio.) и желтопыльниковой (*P. sylvestris* f. *sulfuranthera* Kozubov.). Краснопыльниковая форма отличается повышенным содержанием

антоцианов в хвое, что способствует лучшему прогреванию ее солнечными лучами. Это явление особенно важно для сосен, произрастающих в экстремальных условиях [4]. Данные по частоте встречаемости форм сосны и ели в различных лесорастительных условиях (устья и дельты Сев. Двины) проведены нами ранее [5, 6]. Цвет микростробиллов наследственно обусловлен и устойчиво сохраняется в процессе онтогенеза, в отличие, скажем, от формы кроны или характера коры. По сути, речь идет о различных генетических группах сосны.

Краснопольниковой сосне присущи: куполообразная крона рыхлого сложения, деформированность ствола и кроны, часто приобретающих уродливую форму, сильно выдающиеся толстые, длинные и сильно искривленные живые ветви и сучья, а в условиях активного аэротехногенного загрязнения – суховершинность, ажурность, значительная поврежденность и дефолиация хвои. Особенно это характерно для насаждений сфагновой группы, произрастающих на верховых торфяных почвах. Желтопольниковая сосна чаще имеет конусообразную, узкоовальную или с неопределенными геометрическими пропорциями крону с предельной продолжительностью жизни хвои от 3 до 8 лет. Отмечается большее доленое участие краснопольниковой формы в хорошо освещенных условиях, в древостоях с малой сомкнутостью крон, редианах сфагнового типа, верховых болотах, а также в более сухих условиях произрастания (сосняках брусничных), т.е. на бедных почвах с высокой кислотностью. Желтопольниковая сосна часто произрастает в более густых насаждениях черничного типа с благоприятными почвенными условиями. Показатели энтропии северотаежных популяций сосны по цвету микростробиллов значительно выше в более экстремальных условиях произрастания (в насаждениях сфагновой группы типов леса), а меньше в более благоприятных условиях. Это связано с большим участием в насаждениях сфагновой группы краснопольниковой формы [4].

#### Методы исследований

Изучали структуру этих форм в северотаежной усть-двинской популяции сосны по биохимическим признакам (содержанию

пигментов хлоропластов, рН и активности пероксидазы 1-летней хвои) во II-III декадах июня 2009 года в сосняках сфагновой группы на расстоянии 3,5 км от Архангельской ТЭЦ.

Объем выборки для каждой формы на пробной площади составлял 5 деревьев, а в пределах одного дерева отбирали по 10 ветвей. Для определения содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла и каротиноидов) брали навески 1–3-летней хвои (100–150 мг) и растирали в ступке с 5 мл 96 % этилового спирта и небольшого (на кончике скальпеля) количества мела или углекислого магния. Содержимое ступки переносили на стеклянный фильтр и извлекали пигменты до полного обесцвечивания фильтрата. Оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре СФ–46 и на фотоколориметре КФК-3 при длинах волн 665, 649, 440,5 нм. Концентрацию пигментов в данной вытяжке рассчитывали по формулам [7,8] (по 10–20 определений с погрешностью измерения до 0,001 мг г<sup>-1</sup> сырой массы). Побеги для определения содержания пигментов отбирали в сухую, преимущественно пасмурную погоду, что исключало потерю влаги в период подготовки образцов к анализу [2]. Уровень рН гомогената 1–3-летней хвои сосны определяли после растирания навески с дистиллированной водой. Навеску хвои (800 мг) размалывали и растирали с 8 мл дистиллированной воды. Определение рН производили сразу же после растирания (точность измерения – до 0,01 ед. рН). Время гомогенизации и снятия отсчетов значений рН было одинаково для всех образцов. Для рН-метрии использовались комбинированный портативный измеритель рН-150 и рН-метр лабораторный «Delta-320» (фирма Mettler, Швейцария). Активность пероксидазы определяли методом А.Н. Бояркина [9], по скорости реакции окисления бензидина до образования синего продукта и достижения оптической плотности раствора 250 нм. Расчет активности фермента вели по скорости реакции и выражали в условных единицах (с погрешностью до 0,1 усл. ед.). Перечисленные показатели в каждой фенотипической группе далеко не исчерпывают все особенности метаболизма фенотипов, но позволяют судить о его особенностях у каждой группы фенотипов (формы), их иммунитете и ассимиляционной активности.

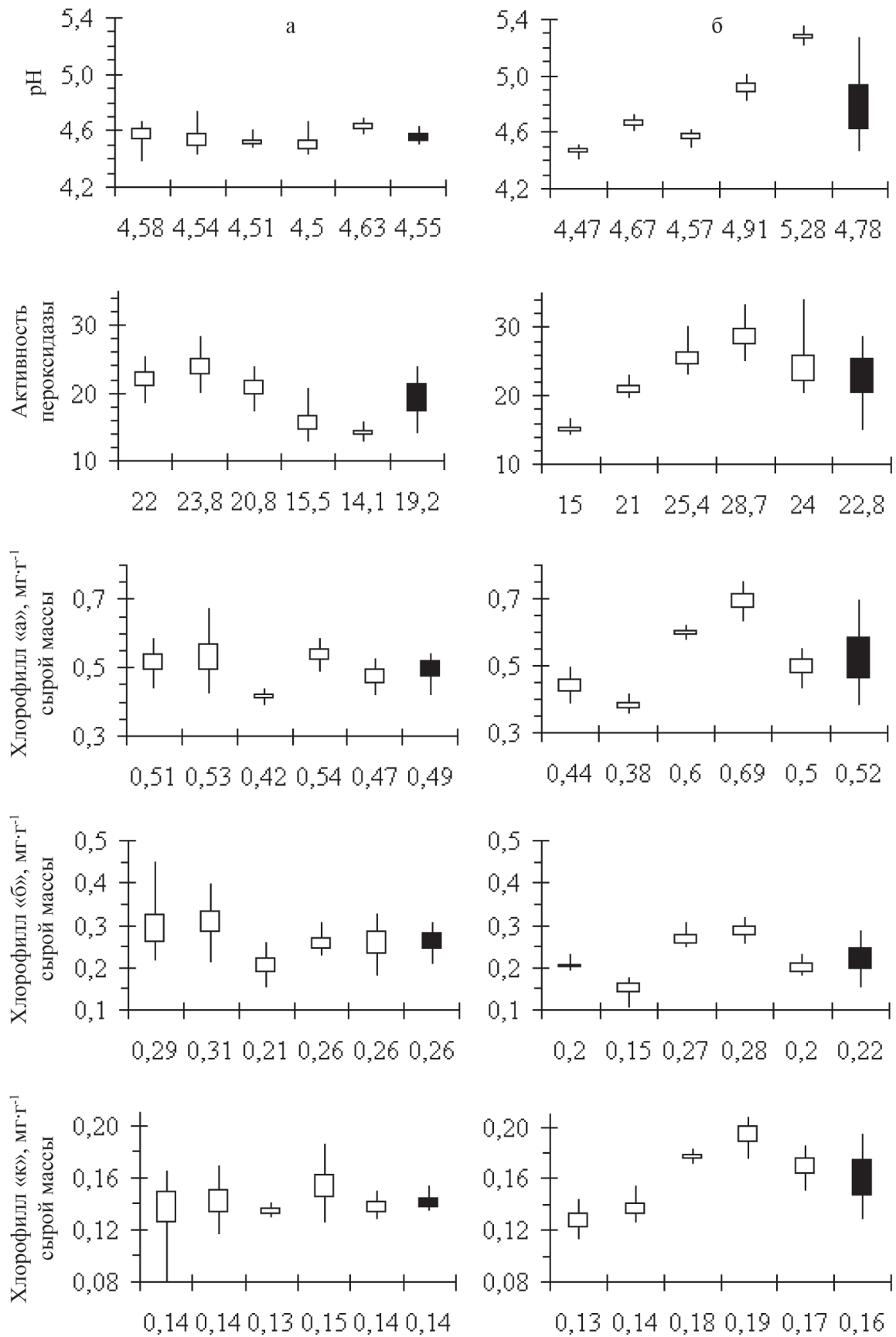


Рисунок. Амплитуда изменчивости биохимических признаков хвои сосны у деревьев краснопыльничковой (а), и желтопыльничковой (б) форм в сосняках сфагновой группы типов леса на расстоянии 3,5 км от Архангельской ТЭЦ (ППП Т45Д)

## Результаты и обсуждение

Полученные нами результаты не выявили достоверных различий средних значений данных у анализируемых альтернативных форм при критических значениях  $t$  ( $t < t_{0,05}$ ), но показали существенные различия при критических значениях  $F$ -критерия рН гомогената и концентрации пластидных пигментов однолетней хвои. Показатель рН характеризуется очень низким уровнем эндогенной изменчивости ( $C.V. = 0,3-1,9\%$ , по шкале С.А. Мамаева [10]). Очень низкий, низкий и средний уровень эндогенной изменчивости ( $C.V. = 4-15\%$ ) имеет содержание хлорофилла «а» у краснопыльничковой формы. У желтопыльничковой формы эндогенная изменчивость этого показателя характеризуется очень низким и низким уровнем ( $C.V. = 2,5-11\%$ ). То же самое можно отметить в отношении концентрации каротиноидов, суммы хлорофиллов и общей суммы пигментов. Содержание хлорофилла «б» характеризуется низким, средним и повышенным уровнем эндогенной изменчивости ( $C.V. = 10-23\%$ ) у сосны с красной окраской мужских стробилов и очень низким, низким и средним ( $C.V. = 5-16\%$ ) – у сосны с желтым цветом микростробилов. Эндогенная изменчивость активности пероксидазы у разных форм сосны имеет очень низкий, низкий и средний уровень ( $C.V. = 5-16\%$ ). Слабая вариация признака в пределах организма может свидетельствовать о его функциональной важности.

Индивидуальная изменчивость содержания пигментов хлоропластов хвои краснопыльничковой сосны не выходит за пределы эндогенной ( $C.V. = 5-15\%$ ), а желтопыльничковой значительно больше ( $C.V. = 18-25\%$ ). С одной стороны, уровни эндогенной и индивидуальной изменчивости концентрации пигментов хлоропластов 1-летней хвои у данных форм сосны относительно близки между собой, что соответствует общей закономерности, установленной для хвойных. С другой стороны, величины эндогенной и индивидуальной изменчивости этих биохимических признаков могут сильно отличаться из-за различий диапазона нормы реакции индивидуумов (генотипов) на изменяющиеся условия внешней среды (например, микроэкологическими усло-

виями в кроне дерева – освещенности, температурному режиму, влажности и др.).

Уровень индивидуальной изменчивости активности пероксидазы у анализируемых нами форм выше ( $C.V. = 22-39\%$ ), чем эндогенной ( $C.V. = 5-16\%$ ). Между деревьями рассматриваемых форм сосны в условиях аэротехногенного загрязнения и корневой гипоксии в пределах выборки наблюдаются различия по амплитуде эндогенного варьирования биохимических признаков, что наглядно проиллюстрировано на одной из пробных площадей (см. рисунок). Особенно эта дифференциация выражена в отношении содержания пластидных ферментов и активности пероксидазы. Следовательно, уровень эндогенной изменчивости биохимических признаков зависит от индивидуальных особенностей деревьев рассматриваемых форм, т.е. в популяции встречаются генотипы как с узкой, так и с широкой нормой реакции параметров на изменения внешних условий. Это определяет диапазон разброса фенотипических изменений, т.е. общую фенотипическую дисперсию. Организм представляет собой сложную динамическую биосистему, находящуюся в постоянном движении и развитии, т.е. в каждый конкретный момент особь находится на определенном этапе реализации наследственной программы в онтогенезе. Например, в нашем случае это проявляется в высоком уровне фенотипической изменчивости отдельных деревьев по содержанию хлорофилла «б» в однолетней хвое. Все это играет важную роль в процессе адаптации разных форм сосны в условиях аэротехногенного и гипоксического стресса.

Таким образом, несмотря на сходство и общий характер физиолого-биохимических процессов разных групп (форм) сосны, различающихся окраской мужских стробилов в стрессовых условиях (избыточное увлажнение и аэротехногенного загрязнения), в пределах этих фенотипов формируются деревья, достоверно различающиеся между собой по биохимическим процессам в цитоплазме.

## Библиографический список

1. Крамер, П. Физиология древесных растений / П. Крамер, Т. Козловский. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 464 с.

2. Тарханов, С.Н. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения. Диагностика состояния / С.Н. Тарханов, Н.А. Прожерина, В.Н. Коновалов. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2004. – 333 с.
3. Коновалов, В.Н. Состояние ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях аэрального загрязнения / В.Н. Коновалов, С.Н. Тарханов, Е.Г. Костина // Лесоведение. – 2001. – № 6. – С. 43–46.
4. Козубов, Г.М. Внутривидовое разнообразие сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Карелии и на Кольском полуострове: Автореф. дис. ... канд. с-х. наук / Г.М. Козубов. – Л., 1962. – 20 с.
5. Внутривидовая изменчивость хвойных и изучение состояния лесорастительных сообществ в условиях загрязнения атмосферы Северо-Двинского бассейна: Отчет о НИР (заключ.): Рук. С.Н. Тарханов. № ГР 01.200.112255; Инв. № 02.2.006 04913. – Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2005. – 467 с.
6. Тарханов, С.Н. Формовое разнообразие хвойных на Европейском Севере России / С.Н. Тарханов, В.В. Коровин, Р.В. Щекалев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2006. – № 5. – С. 89–95.
7. Шлык, А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А.А. Шлык // Биологические методы в физиологии растений. – 1971. – С. 154–170.
8. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков, Т.В. Карнаухов, Л.А. Паничкин и др. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
9. Бояркин, А.Н. Быстрый метод определения активности пероксидазы / А.Н. Бояркин // Биохимия. – 1951. – Вып. 1. – № 4. – С. 352–357.
10. Мамаев, С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале) / С.А. Мамаев. – М.: Наука, 1972. – 284 с.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Б.Е. БАЙГАЛИЕВ, проф., Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, д-р техн. наук,  
А.А. ШАЙХУТДИНОВА, Оренбургский государственный институт менеджмента, канд. техн. наук

*tot@tot.kstu-kai.ru*

Город является сложной экосистемой, которая включает ряд элементов: предприятия, дороги, скверы, строения, атмосферу улицы, прилегающие территории. Типичным представителем производственной среды выступает предприятие, генерирующее примеси в атмосферу. Между предприятием и линией застройки располагается третий компонент улицы – прилегающая территория, которая включает все признаки квазиприродной среды: почву, растения, животных, грунтовые воды, ландшафты, преобразованные в городские и измененные под действием техногенных факторов. По ряду объективных причин прилегающая зона выступает буферной емкостью между предприятием и жилым комплексом, поглощая и рассеивая загрязняющие вещества. Поэтому при рассмотрении экосистемы «улица промышленного города» требуется изучение ряда процессов, происходящих в ней:

– оценка подсистемы «предприятие» в качестве источника выбросов примесей в атмосферу улицы;

– исследование процессов распространения и осаднения примесей осадками из атмосферы улицы;

– интегральная и дифференциальная оценка воздействия примесей на прилегающую территорию улицы [1, 4, 6].

Нас интересует существующий методический подход к дифференциальной и интегральной оценке воздействия на квазиприродную среду.

Первая схема дифференциальной оценки экологической нагрузки на земную поверхность реализуется при использовании уравнения

$$N_i = m_i / (S_m t), \quad (1)$$

где  $N_i$  – абсолютная нагрузка отдельной  $i$ -ой примеси, т/км<sup>2</sup>·сез;

$m_i$  – масса  $i$ -го загрязняющего вещества, т;

$S_m$  – площадь поверхности среза снежного покрова, км<sup>2</sup>;

$t$  – количество дней от начала сохранения снежного покрова.

Масса загрязняющего вещества определяется по формуле

$$m_i = C_i V_{об} \quad (2)$$

где  $C_i$  – концентрация загрязняющего вещества, мг/л;

$V_{об}$  – общий объем пробы, взятой для исследования, л.

Экологическую нагрузку на почву необходимо представить через концентрационные характеристики промежуточных сред (воздух и осадки)

$$N_i = C_{cp.i} I, \quad (3)$$

где  $C_{cp.i}$  – средняя концентрация  $i$ -ой примеси в осадках, мг/л;

$I$  – интенсивность осадков за сезон, мм.

Следовательно, экологическая нагрузка, оказываемая отдельной примесью на почву, может быть представлена через характеристики промежуточных состояний системы, а уравнение (3) используется для ретроспективных и прогнозных оценок процессов вымывания примеси осадками, при этом эталонами должны служить нормированные нагрузки [1–6].

Для того чтобы определить концентрации веществ, необходимо произвести отбор проб осадков в виде дождя в момент их выпадения несколько раз за теплый период и провести химический анализ каждой пробы. Для проведения исследования нами были отобраны пробы осадков на границе санитарно защитной зоны Кумертауской ТЭЦ (г. Кумертау Республика Башкортостан) в приоритетном северном направлении по розе ветров и в фоновой (контрольной) точке на расстоянии 150 км от источника загрязнения (с. Кананикольское Зилаирский район Республики Башкортостан), где в радиусе 100 км нет промышленных объектов и крупных населенных пунктов. В пробах было определено содержание взвешенных веществ, сульфат-, гидросульфид-, гидрокарбонат-ионов и ионов аммония. В ходе эксперимента использовались следующие методы: гравиметрический, титриметрический, фотоколориметрический. Расчет по существующей методике проводится следующим образом. Например, концентрация сульфат-ионов в осадках 5 июня составила 5,10 мг/л, 7 июля – 7,42 мг/л, 20 августа – 2,78 мг/л, далее оп-

ределяется среднее значение концентрации за сезон

$$C_{so_4^{2-}} = \frac{5,10 + 7,42 + 2,78}{3} = 5,10 \text{ мг/л.}$$

Расчет проводится по формуле 3 с использованием коэффициента  $10^{-3}$  для перерасчета в  $\text{т/км}^2 \cdot \text{сез}$

$$N_{so_4^{2-}} = 5,10 \times 405,7 \times 10^{-3} = 2,07 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сез}$$

Если же учитывать, что концентрация 5,10 мг/л была при интенсивности осадков 28 мм, 7,42 мг/л – при 12 мм, 2,78 мг/л – при 30 мм, то необходимо делать перерасчет концентрации сульфат-ионов на 1 мм осадков

5 июня  $C_1 = 5,10/28 = 0,18$  мг/л на 1 мм,  
7 июля  $C_2 = 7,42/12 = 0,62$  мг/л на 1 мм,  
20 августа  $C_3 = 2,78/30 = 0,09$  мг/л на 1 мм.

Далее необходимо усреднить концентрацию сульфат-ионов в 1 мм осадков

$$C_{so_4^{2-}} = \frac{0,18 + 0,62 + 0,09}{3} = 0,30 \text{ мг/л}$$

и рассчитать экологическую нагрузку вещества за теплый период

$$N_{so_4^{2-}} = 0,30 \times 405,7 \times 10^{-3} = 0,12 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сез},$$

где 405,7 мм – общая интенсивность осадков за теплый период года (за сезон).

Таким образом, получается, что при перерасчете на 1 мм осадков значение экологической нагрузки в 17 раз меньше, чем при расчете по существующей методике оценки.

Также были определены концентрации остальных загрязняющих веществ в осадках в виде дождя на территории, прилегающей к Кумертауской ТЭЦ, и подсчитаны значения экологических нагрузок по существующей методике ( $N^M$ ) и с учетом поправок ( $N^n$ ) (табл. 1).

Получили, что разница между значениями экологических нагрузок по действующей методике расчета и при расчете с учетом поправок составляет 17 – 22 раза.

Согласно второй схеме оценки определяется суммарная нагрузка по совокупности примесей

$$N_{сум} = \sum_{i=1}^n N_i = \sum_{i=1}^n C_{cp.i} \cdot I, \quad (4)$$

где  $N_{сум}$  – абсолютная суммарная нагрузка на почву всех примесей, выделяющихся из атмосферного воздуха,  $\text{т/км}^2 \cdot \text{сез}$ .

**Значения экологических нагрузок загрязняющих веществ**

Наименование загрязняющего вещества	Значение фоновой нагрузки, т/км <sup>2</sup> ·сез			Значение нагрузки у источника выброса, т/км <sup>2</sup> ·сез		
	по методике	с учетом поправок	разница	по методике	с учетом поправок	разница
Взвешенные вещества при влажном вымывании	3,56	0,17	21	51,16	2,51	20
Сульфат-ионы	0,17	0,01	17	2,07	0,12	17
Гидросульфид-ионы	0,28	0,014	19	1,88	0,09	21
Гидрокарбонат-ионы	25,52	1,29	20	124,01	6,98	18
Ионы аммония	0,90	0,04	22	4,76	0,24	20
Сумма	30,43	1,52	20	183,88	9,94	19

**Критерии оценки качества территории по суммарным экологическим нагрузкам [2, 3]**

Значение суммарной экологической нагрузки, т/ км <sup>2</sup> ·сез	Характеристика территории
0 – 50	сравнительно чистая
50 – 100	умеренно загрязненная
100 – 200	сильно загрязненная
> 200	с превышением предельно допустимой нагрузки

Оценка воздействия по суммарным экологическим нагрузкам осуществляется согласно критериям, представленным в табл. 2 [1–3, 6].

Ранжирование территорий, согласно данным табл. 2, показывает, что при расчете по действующей методике фоновая территория относится к зонам со сравнительно чистой территорией, т.к. значение суммарной экологической нагрузки равно 30,43 т/ км<sup>2</sup>·сез и лежит в интервале  $0 < N_{\text{сум}} < 50$ , а в исследуемой точке у предприятия (183,88 т/ км<sup>2</sup>·сез) – к сильно загрязненным территориям ( $100 < N_{\text{сум}} < 200$ ). Сильно загрязненные территории сопровождаются снижением биоразнообразия, падением продуктивности и упрощением структуры, замедлением круговорота биогенов. Тормозятся как продукционные, так и деструкционные процессы, нарушается баланс между ними. Наблюдается вселение синантропных видов и видов, приуроченных к открытым местообитаниям. Однако на территории, прилегающей к Кумертауской ТЭЦ, регистрируется ухудшение санитарного состояния деревьев, но плотность древостоя и его запас не изменяются. Происходят изменения в травяно-кустарничковом ярусе (выпадают чувствительные виды

лесного разнотравья). Замедлены процессы, осуществляемые почвенными микроорганизмами. Незначительно увеличена толщина подстилки. Существенно уменьшается разнообразие эпифитных лишайников.

Если расчет вести с учетом поправок, то по полученным значениям суммарных экологических нагрузок наблюдается более благоприятная ситуация и исследуемые территории относятся к зонам со сравнительно чистой территорией ( $0 < N_{\text{сум}} < 50$ ), т.к. значения в фоновой точке и на границе санитарно-защитной зоны предприятия составляют 1,52 и 9,94 т/ км<sup>2</sup>·сез соответственно. Визуальное наблюдение позволило установить, что на территориях, прилегающих к Кумертауской ТЭЦ, биоценозы представлены искусственными насаждениями и синантропными видами растительности, что означает упрощение состава и снижение продуктивности в данных экосистемах, поэтому приоритетное загрязнение растительности и почвенного покрова происходит не через осадки, а, возможно, через атмосферное загрязнение без осадков.

Таким образом, мы предлагаем считать суммарную экологическую нагрузку, используя перерасчет на 1 мм осадков.



Предлагаемая методика расчета экологической нагрузки позволяет объективно оценивать состояние квазиприродной среды и осуществлять прогностическую и ретроспективную оценку техногенного воздействия.

#### Библиографический список

1. Гарицкая, М.Ю. Оценка экологического благополучия территории по состоянию растительных биогеоценозов: автореф. дисс... канд. биол. наук / М.Ю. Гарицкая. – Оренбург: ОрГМА, 2004. – 184 с.
2. Луканин, В.Н. Промышленно-транспортная экология: учебник для вузов / В.Н. Луканин. – М.: Высшая школа, 2003. – 273 с.
3. Протасов, В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России: учебное и справочное пособие / В.Ф. Протасов. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 672 с.
4. Тарасова, Т.Ф. Исследование экологических нагрузок на придорожные территории города Оренбурга / Т.Ф. Тарасова, М.Ю. Гарицкая // Вестник ОГУ. – 2004. – № 2. – С. 116–121.
5. Тарасова, Т.Ф. Химия окружающей среды: учеб. пособие / Т.Ф. Тарасова, М.Ю. Гарицкая, О.В. Малыгина. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2001. – 41 с.
6. Цыцура, А.А. Транспортно-дорожный комплекс и его влияние на экологическую обстановку города Оренбурга / А.А. Цыцура, В.Ф. Куксанов, Е.В. Бондаренко. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2002. – 163 с.

## ИНТРОДУКЦИЯ СОСНЫ БАНКСА ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА ЕГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ

С.Б. ВАСИЛЬЕВ, доц. каф. лесных культур МГУЛ, канд. с.-х. наук,  
Д.А. ЛЕДЕНЁВ, асп. каф. лесных культур МГУЛ

*svasilyev@mgul.ac.ru*

В России из хозяйственного оборота ежегодно выпадают тысячи гектар плодородной земли. Интенсификация промышленного производства часто приводит к нарушению ценных сельскохозяйственных и лесных угодий. Одним из основных факторов, влияющих на разрушение природных ландшафтов, является добывающая промышленность. Большую часть полезных ископаемых добывают открытым способом. При этом используется тяжелая техника, а работы отличаются большой землеемкостью и оказывают наиболее сильное разрушительное действие на почвенный покров.

Как уже упоминалось, часто нарушение земель происходит при разработке месторождений полезных ископаемых. Таковым является Егорьевское месторождение фосфоритов (ЕМФ) – самое крупное из четырех государственного значения по добыче фосфоритного сырья. В прежние годы в процессе рекультивации нарушенных земель на ЕМФ были заложены искусственные насаждения сосны Банкса и сосны обыкновенной, которые в настоящее время вступили в генеративную фазу. В данной работе приведены результаты изучения

семеношения группы деревьев сосны Банкса и обыкновенной в возрасте 21 года, растущей на промышленных отвалах ЕМФ.

На ЕМФ около 25 % нарушенных земель восстанавливается под сельскохозяйственные угодья (Мирзаев, Маковский, 1986), а 75 % используют для лесонасаждений. В конце 80-х годов под руководством кафедры лесных культур МГУЛ начаты испытания целого ряда новых древесных и кустарниковых видов, в том числе интродуцентов, среди которых достойное место занимает сосна Банкса [4].

В настоящее время при решении проблем лесовосстановления, лесной рекультивации и агролесомелиорации нарушенных земель все больше внимания уделяется интродукции ценных лесообразующих древесных пород. Однако использование интродуцентов в лесном хозяйстве сдерживается несколькими причинами, одна из основных – отсутствие региональных семенных баз. В свою очередь, их создание невозможно без предварительной оценки результатов первичного испытания древесных растений в дендрариях или обобщения результатов изучения опытных лесных культур интродуцентов. Отсюда вытекает

важность изучения биологии семеношения в новых условиях, в частности определение семенной продуктивности и качества семян [6].

Сосна Банкса (*Pinus Banksiana*) лучше всего растет на своей родине (Северная Америка) и достигает наиболее крупных размеров в западной части своего ареала, на бедной песчаной почве. В Европе сосну Банкса культивируют с середины XVIII в., а в России – с 1888 г.

Ареал этого североамериканского вида простирается от реки Макензи и Медвежьего озера (Канада) на северо-западе до северной части штатов Вермонт и Мэн (США) на юго-западе. Древесина у данного вида твердая, тяжелая. Она используется в строительстве, идет на пиловочник, из нее готовят сульфатную целлюлозу. Дерево высотой до 25 м и диаметром ствола 50–80 см. Вид декоративен ярко-зеленой кроной. Хвоя сильно изогнутая и скрученная, светло-зеленая, длиной 2–4 см, сохраняется на побегах 3–5 лет. Шишки косые и изогнутые, сидячие, конические, до 4,5 см, держатся на дереве, оставаясь закрытыми в течение нескольких лет. Вид устойчив к вредителям и болезням, но из-за густого ветвления часто страдает от снежных навалов. В молодости растет быстро, но после 30 лет темп роста замедляется.

Введение сосны Банкса в рекультивационные культуры ЕМФ было неслучайным, так как она мирится с суровым климатом, обладает быстрым ростом (дает по 2–3 прироста в год) по сравнению с сосной обыкновенной, крайне нетребовательна к запасу питательных веществ и на любых почвах растет хорошо: на песчаных, карбонатных, засоленных, заболоченных и даже торфянисто-болотных.

Очень перспективными считаются смешанные культуры сосны Банкса и сосны обыкновенной, особенно в тех регионах, где встречаются основные вредители и болезни сосновых сеянцев и молодых деревьев.

Особенностью смешанных культур является быстрый рост сосны Банкса в молодом возрасте, что подтверждает Е.А. Кобецкий (1962, 1966) и выполненные нами исследования (табл. 1).

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что в обоих случаях сосна Банкса имеет

преимущество в росте над сосной обыкновенной.

Известно, что в комплексе экологических факторов, влияющих на рост и развитие растений, одним из важнейших является почва. После добычи фосфоритного сырья и этапа технической рекультивации нарушенные земли ЕМФ в основном представлены субстратами, сложенными из смеси мелкозернистых кварцевых песков.

Одной из важнейших характеристик почвенного плодородия является содержание гумуса в почве. По данным исследований, содержание гумуса на исследуемых участках очень низкое и составляет 0,20–0,24 %. Однако этот факт свидетельствует о наличии гумусообразовательного процесса.

Основные питательные вещества – азот, фосфор и калий – находятся в почве в усвояемых и неусвояемых растениями формах их соединений.

Вскрышные породы ЕМФ включают ничтожное количество азота, потому содержание его доступной формы оценивается как очень низкое. Содержание подвижного азота ( $N(NH_4+NO_3)$ ) составило 1,16–3,10 мг/100 г. Агрохимический анализ техногенных субстратов позволил установить, что содержание доступного фосфора ( $P_2O_5$ ) в течение всего вегетационного периода составило 4,0–8,2 мг/100 г. Количество обменного калия ( $K_2O$ ) в субстратах пробных площадей за весь вегетационный период находилось на уровне 9,0–11,4 мг/100 г почвы.

Таким образом, по данным исследований, субстраты не являются токсичными и по агрохимическим свойствам вполне пригодны для произрастания как местных, так и интродуцированных пород.

Минеральное питание имеет большое значение для физиологии дерева. Рост и развитие растений в целом и минеральный состав его органов определяют генетические особенности вида. Концентрация питания в различных органах дерева различная. В связи с этим при анализе важно выбрать именно тот орган, который наиболее точно характеризует потребность растений в элементах питания. Наиболее достоверные результаты дает метод листовой диагностики.

**Основные показатели роста сосен обыкновенной и Банка в смешанных культурах**

Регион исследования	Возраст культур, лет состав	Порода	Высота, м	Диаметр, см
Юго-восток Литвы, (Кобецкий, 1966)	14	С	3,9	3,8
	5С065С6	С6	5,5	5,7
ЕМФ	12	С	4,0	5,4
	5С065С6	С6	4,45	6,1

**Отношение содержания основных макроэлементов за вегетационный период в однолетней хвое древесных пород на рекультивируемых землях ЕМФ**

Порода	Соотношение содержания		
	N/P	N/K	P/K
Сосна Банка	9,7	2,0	0,20
Сосна обыкновенная	9,9	1,8	0,18

Определение NPK из одной навески в хвое исследуемых пород проводилось согласно ускоренному методу сжигания растений по К.Е. Гинзбургу, Г.М. Щегловой, Е.А. Вульфису (1963). Для анализа отбирали 1–3-летнюю хвою на каждой пробной площади с 10 деревьев. Образцы брались с ветвей, с южной стороны в середине кроны.

Как считает Wehrmann (1961), для сосны нормальным является соотношение N/P, равное 10–11, а в засушливые годы – 9,2–9,5, что вполне согласуется с нашими данными. Оптимальные отношения для сосны Банка и сосны обыкновенной, произрастающих на техногенных субстратах ЕМФ, представлены в табл. 2.

Так как шишки сосны Банка способны оставаться на деревьях в нераскрытом виде несколько лет, для анализа отбирались шишки двух возрастов – 2008(2-летние) и 2009(1-летние) гг. (по 100 штук), а также шишки сосны обыкновенной 2009(1-летние) года. Замеры шишек производились с точностью до 0,01 мм. Биометрические показатели исследуемых шишек представлены в табл. 3.

Для извлечения семян шишки нагревали в сушильной камере при температуре 45–50 °С до полного раскрытия.

Результаты проведенных исследований существенно не отличаются от данных, приведенных в работе Репина, Попкова (2004) по Дальнему Востоку.

По ГОСТу 13056.2–89 «Семена деревьев и кустарников. Методы определения

чистоты», чистота семян сосны Банка составляет 95 %, сосны обыкновенной – 96 %.

Проращивание семян проводилось в соответствии с ГОСТ 13056.6-97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести». Проращивали семена на специальном аппарате. Переменную температуру ложа (20–30°С) поддерживали путем подогрева воды в Копенгагенском аппарате в течение 6 ч с 24 до 36°С и последующего охлаждения до 24 °С в течение 18 ч. Температуру ложа проверяли в начале, середине и конце нагрева воды. Ложе для проращивания семян: подкладки с фитилями, фильтровальную бумагу поддерживали во влажном состоянии. Подсчеты проростков проводили на 3,5,7,10 и 15 сутки.

По данным наших исследований, у семян сосны Банка сбора 2008(2-летние) энергия прорастания – 14 %, всхожесть – 26 %; у семян сосны Банка сбора 2009(1-летние) энергия прорастания – 65 %, всхожесть – 83 %; у семян сосны обыкновенной сбора 2009(1-летние) энергия прорастания – 51 %, всхожесть – 73 %.

Согласно ГОСТу 14161–86 «Семена хвойных древесных пород. Посевные качества. Технические условия», семена сосны Банка 2009 г. относятся ко 2 классу качества. А семена сосны обыкновенной к 3 классу качества. Массу 1000 штук семян определяли по ГОСТу 13056.4–67 «Семена деревьев и кустарников. Методы определения массы 1000 семян», для сосны Банка она равна 3,38 г, для сосны обыкновенной – 5,61 г.

**Биометрические показатели шишек сосен Банка и обыкновенной**

Градации	Урожай шишек сосны Банка 2008 г. (2-летние)						Урожай шишек сосны Банка 2009 г. (1-летние)						Урожай шишек сосны обыкновенной 2009 г. (1-летние)					
	Длина, см	Диаметр, см	Масса шишки, г	Масса после сушки	Кол-во, шт.	Масса семян, г	Длина, см	Диаметр, см	Масса шишки, г	Масса после сушки	Кол-во, шт.	Масса семян, г	Длина, см	Диаметр, см	Масса шишки, г	Масса после сушки	Кол-во, шт.	Масса семян, г
Min	3,51	1,8	3,9	3,1	9	0,019	3,22	1,57	4,7	4,0	5	0,014	2,75	1,57	3,0	2,8	6	0,027
Max	6,06	2,5	18,3	15,8	78	0,276	6,46	2,37	18,3	13,2	78	0,305	5,8	2,4	13,2	9,9	38	0,216
Ср.	4,63	2,08	9,27	7,95	42,5	0,123	4,79	1,99	10,1	7,66	31,9	0,107	4,04	1,98	6,65	4,91	19	0,103

Таким образом, результаты исследований доказывают целесообразность использования лесных культур сосны Банка на нарушенных землях с целью их рекультивации, что экспериментально подтверждено высокими посевными качествами семян этого вида, выращенных в местных условиях.

Полученные данные содержания основных макроэлементов в хвое могут служить тестами при индикации оптимального накопления NPK в хвое сосны Банка и сравнения ее с другими культивируемыми видами, а следовательно, и при оценке достаточности плодородия конкретных субстратов для продуцирования устойчивых высокобонитетных насаждений [4].

Результаты исследований указывают на перспективность создания семенной базы из семян интродуцируемой из Северной Америки сосны Банка, выращенной в условиях техногенно нарушенных земель и адаптированных к таким условиям, что является одной из основных предпосылок для создания

устойчивых и долговечных искусственных насаждений целевого назначения.

**Библиографический список**

1. ГОСТ 13056.2–89. Семена деревьев и кустарников. Методы определения чистоты.
2. ГОСТ 14161–86. Семена хвойных древесных пород. Посевные качества. Технические условия.
3. ГОСТ 13056.4–67. Семена деревьев и кустарников. Методы определения массы 1000 семян.
4. Васильев, С.Б. Типы лесных культур на промышленных отвалах Подмосковья (на примере Егорьевского месторождения фосфоритов): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / С.Б. Васильев. – М.: МГУЛ, 2000. – 24 с.
5. Кобецкий, Е.А. Опыт разведения сосны Банка в лесах Литовской ССР и перспективы ее использования при создании лесных культур на песчаных почвах юго-востока республики: автореф. дис. ... канд.с.-х. наук / Е.А. Кобецкий. – Л.: ЛТА, 1996. – 22 с.
6. Репин, Е.Н. Биологические исследования на Горнотаежной станции / Е.Н. Репин, Б.В. Попков. – Владивосток: Горнотаеж. станция ДВО РАН, 2004. – Вып. 9. – С. 124–135.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА И ВЗАИМОСВЯЗИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЗКО- И ШИРОКОКРОННОЙ ФОРМ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В СТРЕССОВЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ**

С.Н. ТАРХАНОВ, *с. н. с. Института экологических проблем Севера УрО РАН, канд.с.-х. наук*,  
С.Ю. БИРЮКОВ, *Институт экологических проблем Севера УрО РАН, канд. биол. наук*

*tarkse@yandex.ru; syubir65@yandex.ru*

Изучение формового разнообразия, определяющего устойчивость популяций древесных растений на Севере, в условиях аэротехногенного воздействия и избыточного увлажнения почв, приобретает особую актуальность. Известно, что в сообществах, под-

вергающихся воздействию природных и техногенных стрессовых факторов, наблюдается повышение внутрипопуляционного полиморфизма и изменение взаимосвязей между органами растений [1, 2]. Крона дерева как носитель ассимиляционного аппарата, влияющая на

продуктивность и качество древесины, давно привлекает внимание лесоводов и селекционеров. Установлено, что в северной тайге у ширококромной формы сосны быстрее наступает кульминация текущего прироста, однако средний прирост по высоте остается относительно низким и к возрасту спелости резко уменьшается [3]. Сосны с узкой кроной отличаются более поздней кульминацией текущего прироста (по высоте и диаметру ствола), однако сохраняют с возрастом довольно высокий средний прирост и формируют ценные полдревесные стволы [3, 4, 5]. Однако в каждом случае необходим дифференцированный подход к оценке этих форм. Каждая из них включает ряд генетически весьма разнородных и хозяйственно неравноценных деревьев. В пределах узко- и ширококромных деревьев имеются высоко- и малоценные генотипы. Оценка индивидуума зависит не только от одного параметра кроны (ширины), а от большого комплекса ее элементов, определяющих в целом продуктивность и в известной мере конкурентоспособность деревьев [6].

Для установления различий между разными формами сосны, выделенными по размерам кроны, в северотаежных сосняках сфагновой группы устья Северной Двины на верховых торфяных почвах в условиях аэротехногенного загрязнения (на расстоянии 4,5 и 6 км от Архангельской ТЭЦ) сравнивали кривые распределения частот морфометрических показателей. Исследования проводили на пробных площадях, заложенных согласно [7, 8]. Объем выборки для каждой формы на пробной площади составлял не менее 50 деревьев 60–70-летнего возраста.

На удалении 6 км от Архангельской ТЭЦ распределение по высоте деревьев близко к нормальному (Гаусса-Лапласа) только для узкокромной формы, а по длине хвои – для ширококромной сосны (рисунок). На расстоянии 4,5 км от ТЭЦ вариационные кривые высоты, диаметра ствола, диаметра кроны, годового прироста, длины хвои имеют две вершины, т.е. наметилась их дифференциация по этим признакам для той или другой формы (группы) деревьев. В отношении выборок сосны на расстоянии 6 км от ТЭЦ явно выраженной дифференциации у обеих форм сосны по анализируемым признакам не

наблюдается. При наложении вариационных кривых признаков рассматриваемых форм (на расстоянии 4,5 и 6 км от ТЭЦ) мода выборок по высоте и протяженности кроны у сосны с узкой кроной смещена вправо по отношению к выборкам ширококромной формы сосны.

По другим признакам в рядах распределения численностей ее мода смещена влево или совпадает с ширококромной сосной. Индивидуальная вариабельность форм по рассматриваемым параметрам на расстоянии 4,5 км от ТЭЦ больше, чем на удалении 6 км, особенно у узкокромной сосны (исключая диаметр кроны).

Ширококромной сосне свойственна более значительная вариабельность по высоте ствола и протяженности кроны ( $C.V. = 19–29\%$ ), чем узкокромной ( $C.V. = 14–21\%$ ), причем с приближением к источнику эмиссий изменчивость рассматриваемых признаков несколько увеличивается у обеих форм. Ряды распределения численностей у узкокромной сосны редуцированы по сравнению с ширококромной на расстоянии 4,5 км от ТЭЦ, а диапазон изменчивости признаков на расстоянии 6 км различается не так значительно (исключая диаметр кроны). Кривые распределения частот признаков у разных форм различаются не только модой, но и величиной и направленностью асимметрии и эксцесса, а также диапазоном изменчивости.

Асимметрия совокупностей преимущественно положительна ( $A > 0$ ) по всем рассматриваемым количественным параметрам обеих форм (за исключением распределения протяженности кроны у узкокромной сосны). В выборках ширококромной сосны вариационная кривая анализируемых показателей более асимметрична по сравнению с узкокромной формой (кроме длины хвои). Кривые распределения высоты и диаметра ствола, годового прироста и особенно длины хвои у сосны с узкой кроной характеризуются довольно выраженной островершинностью ( $E > 0$ ). У ширококромной формы довольно выражен положительный эксцесс ( $E = 1,1$ ) выборки вариант годового прироста на расстоянии 6 км от ТЭЦ, а у узкокромной сосны – годового прироста, диаметра ствола и длины хвои ( $E = 1,2–2,5$ ), т.е. кривые распределения по этим признакам имеют одну выраженную острую вершину (рисунок).

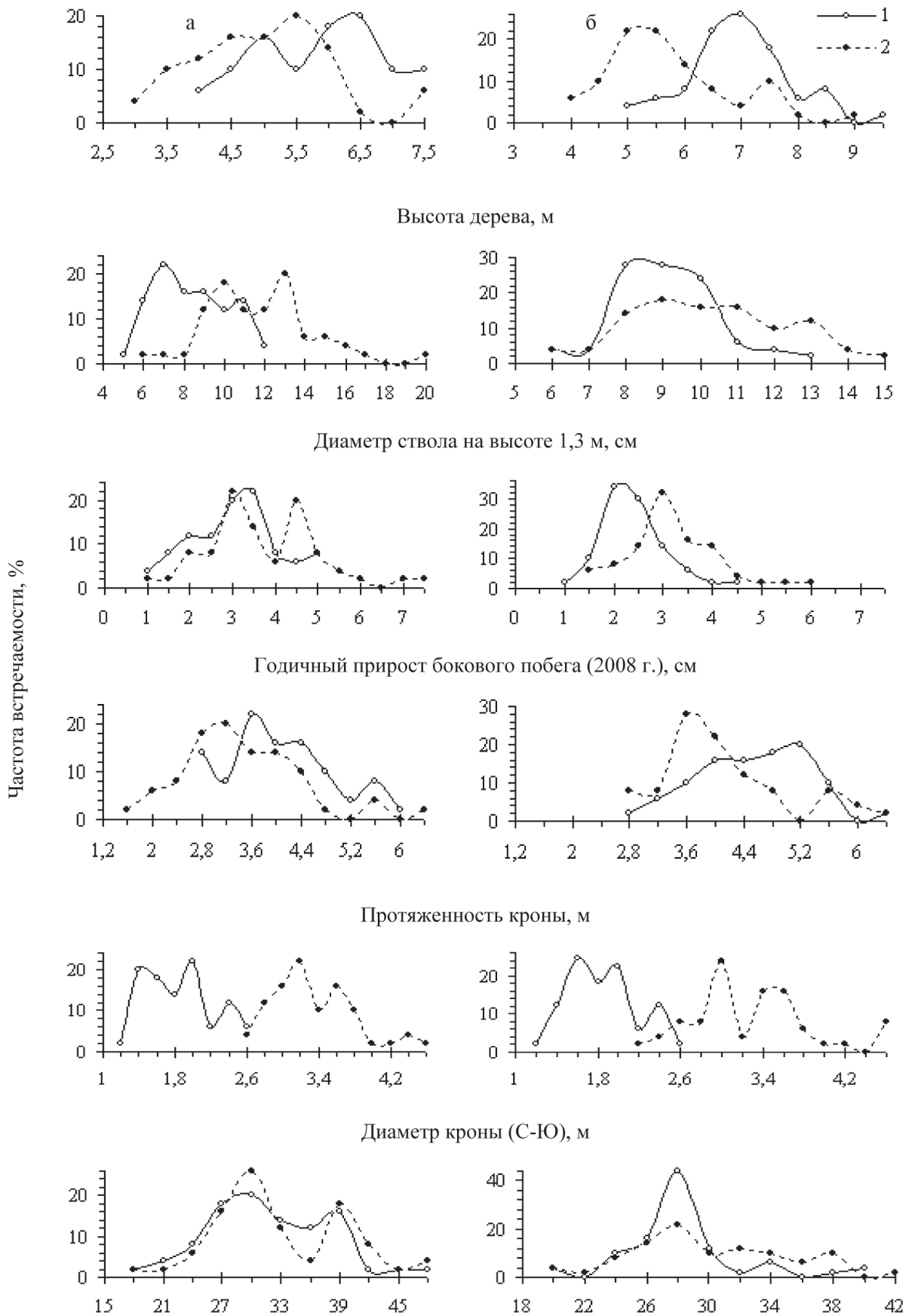


Рисунок. Вариационные кривые распределения морфометрических показателей узкокромной (1) и ширококромной (2) форм сосны 60–70-летнего возраста на расстоянии 4,5 км (а) и 6 км (б) от «высокого» источника выбросов

**Распределение по высоте, диаметру ствола, диаметру кроны, годичному приросту, длине хвои деревьев ширококромной и узкокромной формы**

Параметры	$d$ , см	$Z$ , см	$L_{кр}$ , м	Дкр, м	$L_{хв}$ , мм
Ширококромная форма					
$H$ , м	$\frac{0,63}{0,02}$	$\frac{0,26}{0,02}$	$\frac{0,90}{0,01}$	$\frac{0,40}{0,02}$	$\frac{0,43}{0,02}$
$H$ , м	$\frac{0,63}{0,02}$	$\frac{0,26}{0,02}$	$\frac{0,90}{0,01}$	$\frac{0,40}{0,02}$	$\frac{0,43}{0,02}$
$d$ , см		$\frac{0,16}{0,02}$	$\frac{0,56}{0,02}$	$\frac{0,51}{0,02}$	$\frac{0,32}{0,02}$
$Z$ , см			$\frac{0,27}{0,02}$	$\frac{0,17}{0,02}$	$\frac{0,45}{0,02}$
$L_{кр}$ , м				$\frac{0,47}{0,02}$	$\frac{0,43}{0,02}$
Дкр, м					$\frac{0,29}{0,02}$
Узкокромная форма					
$H$ , м	$\frac{0,70}{0,01}$	$\frac{0,09}{0,02}$	$\frac{0,80}{0,01}$	$\frac{0,55}{0,02}$	$\frac{0,29}{0,02}$
$d$ , см		$\frac{0,22}{0,02}$	$\frac{0,62}{0,02}$	$\frac{0,73}{0,01}$	$\frac{0,27}{0,02}$
$Z$ , см			$\frac{0,19}{0,02}$	$\frac{0,22}{0,02}$	$\frac{0,58}{0,02}$
$L_{кр}$ , м				$\frac{0,54}{0,02}$	$\frac{0,33}{0,02}$
Дкр, м					$\frac{0,27}{0,02}$

Примечание.  $H$  – высота дерева,  $d$  – диаметр ствола на высоте 1,3 м,  $Z$  – годичный прирост бокового побега,  $L_{кр}$  – протяженность кроны, Дкр – диаметр кроны (С–Ю),  $L_{хв}$  – длина хвои;  $r$  – коэффициент корреляции,  $Sr$  – ошибка коэффициента корреляции

При анализе матриц можно отметить довольно умеренную сопряженность между собой параметров кроны у узко- и ширококромной форм ( $r = 0,47–0,54$ ;  $Sr = 0,02$ ). На более высоком уровне связей ( $r = 0,8–0,9$ ;  $Sr = 0,01$ ) эти формы в условиях избыточного увлажнения и аэротехногенного загрязнения проявляют общие черты в отношении высоты дерева и протяженности кроны. С ними довольно умеренно связаны диаметр ствола и кроны. Собственно, это параметры, определяющие габитус деревьев (таблица). Длина хвои более тесно коррелирует с годичным приростом боковых побегов у узкокромной формы ( $r = 0,58$ ;  $Sr = 0,02$ ) по сравнению с ширококромной ( $r = 0,45$ ;  $Sr = 0,02$ ). С другими рассматриваемыми параметрами длина хвои коррелирует слабо или связи вообще отсутствуют.

Корреляция ( $r/s_r$ ) морфометрических показателей у ширококромной и узкокромной

форм усть-двинской популяции сосны на расстоянии 4,5 км от Архангельской ТЭЦ.

Связи параметров ствола и кроны с предельной продолжительностью жизни хвои и возрастом боковых побегов с потерей хвои менее 50 %, на расстоянии 4,5 км от Архангельской ТЭЦ у ширококромной и узкокромной сосны отсутствуют ( $r < 0,3$ ).

### Заключение

Таким образом, в стрессовых условиях северной тайги выборки деревьев форм сосны, выделенных по ширине кроны, различаются характером вариационных кривых морфометрических признаков, в том числе их модами, что (по определению Н.В. Тимофеева-Ресовского) «можно классифицировать как элементарное адаптивное явление» (цит. по: [9]) при воздействии природных (постоянное избыточное увлажнение почвы) и техногенных (воздушное загрязнение) факторов.

В общем можно отметить довольно слабую сопряженность (разбалансированность) параметров кроны у обеих форм в сосняках сфагновой группы. В большей мере в условиях стресса параметры кроны связаны с размерами ствола дерева. По-видимому, в стрессовых условиях теснота связи признаков, в большей мере зависящих от условий внешней среды, нарушается, чего нельзя сказать о таких общих признаках у древесных видов, например размерах ствола.

#### Библиографический список

1. Мамаев, С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале) / С.А. Мамаев. – М.: Наука, 1972. – 284 с.
2. Тихонова, И.В. Сопряженная изменчивость морфологических признаков сосны обыкновенной на юге Средней Сибири / И.В. Тихонова, М.А. Шемберг // Лесоведение. – 2004. – № 1. – С. 48–55.
3. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. – М.: Дизайн. Информатика. Картография, 1999. – 332 с.
4. Щекалев, Р.В. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения / Р.В. Щекалев, С.Н. Тарханов. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2006. – 127 с.
5. Щекалев, Р.В. Радиальный прирост сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении в бассейне Северной Двины / Р.В. Щекалев, С.Н. Тарханов // Лесоведение. – 2007. – № 2. – С. 47–51.
6. Селекция лесных пород / П.И. Молотков, И.Н. Патлай, Н.И. Давыдова и др. – М.: Лесная. пром-сть, 1982. – 224 с.
7. ГОСТ 16128–70. Площади пробные лесоустойчивые. Метод закладки. – М.: Изд-во стандартов, 1971. – 23 с.
8. ОСТ 56–69–83. Площади пробные лесоустойчивые. Метод закладки. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1984. – 60 с.
9. Позолотина В.Н. Адаптационные процессы у растений в условиях радиационного воздействия / В.Н. Позолотина // Экология. – 1996. – № 2. – С. 111–116.

## ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ЧИСТЫХ И СМЕШАННЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УЧАСТКОВ ЦЕЗИЕМ-137

И.А. АЛЕКСЕЕВ, *проф. каф. управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ, д-р с.-х. наук,*

О.Н. ГУСЕВА, *асп. каф. управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ*

*alekseev\_iv\_al@mail.ru*

Новгород-Северско-Брянское Полесье, расположенное в 150–300 км от Чернобыльской АЭС, подверглось значительному загрязнению радионуклидами <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr и другими, но с более коротким периодом полураспада [9].

Исследователями загрязнения территорий выявлено, что почти 80 % загрязнения приходится на сосновые леса [10, 12, 14, 20]. Так, по данным В.В.Копыткова [11], в 1986–2001 гг. в Гомельском ПЛХО на пашнях, исключенных из сельскохозяйственного пользования из-за высокого уровня радиационного загрязнения, создано 7694 га культур, в основном с участием сосны.

Основная часть сосняков Полесья искусственного происхождения. В основном они представлены чистыми сосновыми культурами, созданными на бывших пахотных землях.

Они в той или иной степени поражены пестрой ситовой гнилью от корневой губки (базидиальным, аффилофороидным грибом из сем. пориевых *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). Пораженные корневой губкой сосновые культуры стали очагами стволовых вредителей. Отпад от такого сочетания болезни и повреждения вредителями мы назвали **патологическим**, то есть фитопатогенно-энтомогенным.

Патологический отпад начинается с выпадения тонкомерных деревьев. Поэтому возникающие очаги болезни обычно не фиксируются при лесопатологических обследованиях. Места куртинного поражения называются **очагами усыхания** [20]. Начальный период развития очага усыхания чисто патогенный. Затем дальнейшее развитие очага становится фитопатогенно-энтомогенным. Но мы неоднократно отмечали, что фитопатогенно-энтомогенным.



тогенное усыхание, относящееся к возникающим очагам, при отсутствии участия энтомогенного фактора прекращает дальнейшее развитие, то есть возникший очаг затухает. А площадь окна закрывается кроной оставшихся сравнительно здоровых деревьев. В формирующейся и прогрессирующей стадиях развития очага участие энтомогенных факторов возрастает [3]. Предварительных повреждений корней черным корнежилком и другими корневыми вредителями со стороны центра очага было в 2–10 раз больше, чем с противоположной межочаговой стороны [2].

С 35–40 лет **очаговый тип усыхания** заменяется **очагово-диффузным**. С 60 лет и старше культуры больше разрушаются **диффузным** усыханием до уровня редины. Диффузное поражение корневой губкой и вредителями древостоев ели, сосны веймутовой, сосны Банкса, ели европейской, пихты и лиственницы сибирской начинается значительно раньше, чем при поражении сосны обыкновенной. Культуры ели по вырубке пораженного сосновым штаммом начинают усыхать с 35 лет и старше, то есть несколько позднее, чем сосны.

**Очаг поражения** – лесоустроительный выдел, в котором обнаружен хотя бы один формирующийся или прогрессирующий и хронически действующие очаги усыхания, а в ельниках и культурах других хвойных пород диффузное поражение патологическим отпадом, превышающим в 1,5 раза уровень нормального, то есть естественного отпада (определяемого делением запаса на коэффициент нормального отпада [2]).

К категории **затухающих** очагов относят такие, у которых на половине и более периметра за последние три года усыхание не происходит. К затухшим, но остающимся в числе потенциальных очагов усыхания относят такие, в которых усыхание не происходит в течение последних 6 и более лет и очаг обычно покрывается лиственно-хвойным возобновлением [2].

Казалось бы, что тут нового? Однако производство это положение не учитывало и боролось с корневой губкой, для которой рубки усохших деревьев, включая старый сухостой, усиливают базу питания. И таким

образом поддерживается патогенность гриба, а для стволовых вредителей создаются даже лучшие условия, т.к. санитарными рубками уничтожаются энтомофаги.

Поражение корневой губкой сосны на старопахотях является своего рода начальной стадией формирования лесной среды [1, 6]. В образовавшихся окнах и редирах появляется типичный для сосняков живой напочвенный покров, кустарники, самосев, а затем и подрост разных пород. Они в целом определяют **тип зарастания** очага усыхания. Этот момент исследователями корневой губки вообще не изучался. А по типу зарастания уточняют прогноз улучшения санитарного состояния. По типам зарастания в радиологии оценивается уровень уменьшения, сохранения или даже увеличения фонового загрязнения радионуклидами. Наиболее опасными с точки зрения повышения активности радиационного воздействия являются зеленомошниковый (в основном дикранумовый) и вейниковый типы зарастания очагов усыхания. И, наоборот, в очаге усыхания разнотравно-рябинового типа зарастания при наличии загрязнения радионуклидом цезием-137 на уровне 3–5 Ки/км<sup>2</sup> в межочаговом пространстве плотность загрязнения не доходила до 0,5 Ки/км<sup>2</sup>. Н.И. Булко [5] выявил, что участие кустарников в составе сосняков снижает коэффициент перехода цезия -137 в 6–10 раз. При поражении корневой губкой в сосновых культурах по очагам усыхания развиваются кустарники.

Тысячелетнее земледелие на территории Новгород-Северско-Брянского Полесья породило развитие дефляционных явлений, которые привели к образованию песчаных массивов и заброшенных сельскохозяйственных угодий. Уже к середине XIX в. объем лесопосадочных работ на Черниговщине доходил до 1000 десятин в год.

Смешанные культуры в рассматриваемом регионе стали в больших масштабах создаваться с конца 20-х годов XX столетия, с перерывом на годы войны и первых послевоенных лет. Разными авторами предлагались разные типы смешения и размещения пород. Оценка созданных смешанных культур на устойчивость к комплексному усыханию в больших масштабах не производилась.

**Возрастной тренд категорий и типов зарастания**

Возраст культур, лет	$K_g$ патологический	Тип усыхания	Категории очагов усыхания	Типы зарастания
15	1,6–3,0	очаговое, с невыраженными границами	возникающие, формирующиеся и затухающие	грушанковый, пятнами разнотравный и мшистый
25	1,2–1,8	очаговое	формирующиеся прогрессирующие и затухающие	малинниковый, кипрейный, разнотравный
35	1,1–1,7	очаговое	прогрессирующие, хронически действующие	малинниковый, орляковый, кипрейный
45	1,1–1,6	очагово-диффузное	хронически действующие, затухающие. Или отпад чисто энтомогенный	ежевиковый, малинниковый, березово-сосновый, зеленомошниковый, орляковый
55	1,3–2,0	очагово-диффузное, переходящее в диффузное	хронически действующие, затухающие и затухшие. Очаги чисто энтомогенные	кустарниковый, древесный, зеленомошниковый, орляковый
65	1,5–2,2	диффузное	преобладают затухающие, при случайных отпадах переходят в хронически действующие	кустарниковый, древесный, зеленомошниковый, орляковый

В этом отношении можно указать лишь на работы А.И. Гримальского [8], П.С. Погребняка [15], Д.Д. Лавриненко [13], Н.И. Ониськива [16], которые провели оценку устойчивости некоторых смешанных культур к поражению корневой губкой. Однако эти оценки часто оказывались общими или носили явно локальный характер.

Обследование смешанных культур на устойчивость к поражению корневой губкой в Полесье потребовалось по той причине, что смешанные культуры сосны, по данным Н.И. Булко [5], Е.А. Гончарова [7] и др., снижают фоновое загрязнение 137-Cs.

Для установления устойчивости к поражению корневой губкой в условиях свежих суборей и сугрудков в типах лесорастительных условий ( $A_2$ ,  $B_2$ ,  $C_2$ ), в которых наиболее проявляется поражение корневой губкой, мы произвели обследование более 500 участков смешанных культур сосны. В возрасте максимального поражения 25–40 лет маршрутно-детальным способом определили следующие параметры поражения и устойчивости: запасы наличного (характеризует уровень поддержания общей санитарии), свежего (статическая санитарная характеристика древостоя на день обследования) и годичного (динамическая характеристика, уровень отпада, приходящийся на этот год) отпадов по трем группам причин образования (естественный, случайный, патологический), коэффициенты отпада, сравнение

отпадов с уровнем естественного изреживания, скорость оголения лесопокрытой площади на 1 га с оценкой по шкале кафедры управления природопользования и лесозащиты МарГТУ. Кроме того, в полевых условиях определяли наиболее распространенные категории и типы зарастания очагов усыхания, по шкалам коэффициенты возобновления, происхождения, потери среды, потери состава, проведение рубки ухода и наличие базы питания (свежих пней) патогена [3]. По формулам с использованием полевых параметров и шкал вычислялись коэффициенты биогенной активности, категорий очагов усыхания, прироста очагов усыхания, техногенной, сельскохозяйственной, рекреационной нагрузки, условной общей и биотической фауны, отпада, доли патологического отпада от нормативного, оптимальности биологического разнообразия, полевой агрессивности, вирулентности и патогенности и др. [3].

Проведенный анализ корневых систем показал, что инфекция патогена продвигается в слое почвы 20–30 см быстрее, чем в поверхностном слое 0–10 см. И при поражении корней пестрой ситовой гнилью уровень радиации снижается, переходя в более глубокие слои почвы. Распределение источника гамма-излучения в почвенных слоях зависит от насыщенности и глубины расположения всасывающих корней. При обследованиях выявились следующие закономерности распространения категорий и типов зарастания очагов усыхания (табл. 1).

**Лесопатологическая характеристика производственных чистых сосновых культур (220 участков, пройденных обследованием)**

ТЛУ	Средний возраст, лет	Запас растущий, м <sup>3</sup> /га	Процент пораженных участков	Суммарная площадь очагов усыхания на 1 га, м <sup>2</sup>	Средний прирост очагов усыхания, м <sup>2</sup> /га	Годичный отпад в год обследования, м <sup>3</sup> /га и превышение над нормативным
A <sub>2</sub>	31,6±2,9	148	83,3	329	27,3	2,88 (2,8 раза)
B <sub>2</sub>	32,9±0,65	216	96,0	1759	139,6	6,49(6,2 раза)
C <sub>2</sub>	37,0±1,10	236	96,0	1762	165,9	6,87(6,6 раза)
Средние	34,4±1,08	218	94,7	1626	112,4	6,27(6 раз)
Нормативные	32	305	0	0	15,0	1,045

Наиболее эффективно вмешательство при возникновении очагов усыхания, когда усыхающие и усохшие тонкомерные деревья удаляются с корнями. По рассказу исполнителя работ в 1897–1900гг. жителя х. Бензики (Сумская область) М.Грибаня, в опытных культурах В.Д. Огиевского удалялся весь усохший тонкомер в возрасте культур 6–12 лет. Эти культуры были созданы после сельскохозяйственного пользования, полностью сохранились в высокопроизводительном состоянии до 100 лет. Запас их, по данным последнего перечета, колебался от 400 до 600 м<sup>3</sup>/га. Суммарный (в основном, естественный) годичный отпад не превышал 0,5–0,9 м<sup>3</sup>/га (годичный отпад определялся делением запаса свежего отпада на 3, так как в состоянии свежего отпада сильно ослабленные и усыхающие деревья находятся 3 года). Состояние же производственных чистых сосновых культур, даже при аккуратном соблюдении положений нормативных документов при лесоводственных вмешательствах, по материалам обработки данных И.А.Алексеева и совместных исследований, через 40 лет выглядят значительно хуже (табл. 2).

Данные показывают неблагоприятное положение производственных объектов по сравнению с объектами, где ранними лесокультурными изреживаниями в 3–5-летнем возрасте были исключены осветления, прочистки и первые прореживания (данные перечета на объекте 40-летней давности, пр. пл.102, Собичское лесничество, где на секциях с лесокультурным изреживанием отпад не превышал 1 м<sup>3</sup>/га). При принятом в нормативно-технических документах уровне сохранности культур (при числе со-

хранившихся саженцев 5 тыс. на 1 га качество культур считается отличным, 4 тыс. – хорошим) при рубках ухода в возрасте от 8 до 40 лет как верховым, так и низовым способами происходит поражение губкой. В таких насаждениях фактический отпад превышал нормативный на уровне естественного изреживания. Уровень естественного изреживания при данном запасе нами определялся не по таблицам хода роста, а делением фактического растущего запаса на коэффициент нормального отпада при данном возрасте с поправкой на коэффициент рубок ухода. Нормальный естественный отпад [3] даже в чистых сосновых культурах имеет иные закономерности, чем в таблицах хода роста. В жердняковом возрасте отпад всегда выше данных таблиц хода роста, то есть коэффициент отпада по запасу в этом возрасте будет наименьшим. Большая часть чистых сосновых культур, в которых очаги корневой губки и стволовых вредителей отсутствовали, имели нетипичное происхождение (отсутствовали дополнения при значительном отпаде и междурядные уходы, считались пропавшими культурами, не уничтожался самосев лиственных пород).

По 7 положительным и 16 отрицательным параметрам по формуле [3] определяли показатели прогнозной характеристики чистых и смешанных культур. В условиях, когда все эти показатели для всех обследованных участков не смогли рассчитать, для обследованных насаждений из смешанных культур ограничились указанием суммарной площади, возраста, числа очагов на 1 га и прироста очагов на 1 га, таксационные данные древостоя и сохранность кустарниковой примеси, если она вводилась в состав культуры.

**Поражение корневой губкой смешанных культур**

Средний состав культуры	Средний возраст, лет	Растущий запас всего/ в том числе сосны, м <sup>3</sup> /га	Процент участков, пораженных корневой губкой	Суммарная площадь очагов усыхания, м <sup>2</sup> /га	Средний прирост очагов усыхания, м <sup>2</sup> /га
Березово-сосновые культуры при полосном смешении (ТЛУ В <sub>2</sub> )					
7,8С2,2Б	28,7	141/118	84,0	592	82,0
Рябиново-березово-сосновые культуры (ТЛУ В <sub>2</sub> )					
7,7С2,3Б	33,0	281/215	50,0	20	2,0
Белоакациево-сосновые культуры (ТЛУ В <sub>2</sub> )					
8,4С0,5Акб1,1Б	27,0	139/119	91,7	1100	72,0
Кустарниково-сосновые культуры при смешении в рядах (ТЛУ В <sub>2</sub> и С <sub>2</sub> )					
10С	30,6	270/270	20,0	70	8,8
Дубово-сосновые культуры при полосном смешении (ТЛУ В <sub>2</sub> и С <sub>2</sub> )					
9,3С0,7Д	35,0	165/134	80,0	263	28,9
Дубово-сосновые культуры при звеньевом смешении в рядах (ТЛУ В <sub>2</sub> )					
9,2С0,6Д0,2Б	30,1	261/246	0	0	0

Чистые сосновые культуры показывали прогнозную характеристику – коэффициент стабильности состояния от 5 до 85, то есть на уровне неудовлетворительного состояния (по шкале – Кст = 10000 и более – стабильно высокая прогнозная характеристика, 1000–9900 – хорошая, 100–999 – удовлетворительная, 1–99 – неудовлетворительная, 1–10 – плохая, требующая срочного лесозащитного вмешательства, менее 1 – пропавший древостой).

С перерывом 5–7 лет в течение 48 лет обследовались (563 участка в возрасте массового поражения корневой губкой в ТЛУ А<sub>2</sub>, В<sub>2</sub>, С<sub>2</sub>) смешанные сосновые культуры. Кустарниково-сосновые, дубово-сосновые культуры при смешении в ряду через посадочное место или через звено практически оказались полностью устойчивыми к поражению корневой губкой и в 70 лет показывали запас сосны на 1 га 450–550 м<sup>3</sup>. Смешанные культуры, при меньшем количестве высаженных саженцев сосны, по всем качественно-количественным параметрам не уступали самым высокопроизводительным сосновым лесам естественного происхождения. Их прогнозные характеристики по значению совпадали с уровнем элитных насаждений. Неудачным оказались к 80 годам березово-сосновые культуры при полосном и кулисном (2–3 ряда) смешениях. Площади очагов усыхания в таких культурах доходили до 1800 м<sup>2</sup>/га (табл. 3).

Из приведенных данных можно заключить, что смешанные культуры также разрушаются корневой губкой, но меньше, чем

чистые сосновые. Устойчивыми оказались культуры, где в ряды сосны вводились дуб или липа, либо кустарники аморфа, акация желтая, ракитник русский, ирга круглолистная, жимолость обыкновенная. Производительность сосны при смешении с кустарниками, а также с красным дубом была на 1,5 класса бонитета выше, чем в чистой сосновой культуре. Следует также отметить, что березово-сосновые культуры без примеси кустарника через 48 лет расстроились без корневой губки до полноты 0,5–0,6. Сказалось как негативное влияние березы на сосну (корни березы пронизали всю 5–8-рядную полосу сосны), так и светолюбие обеих пород. Анализ энергоемкости выращивания 1000 семян сосны 1,5 раза больше, чем дуба, 2 раза – липы, 8–20 раз кустарников. Посадка лесопосадочной машиной смешением в ряду звеньями происходит без потери производительности. Создание смешанных культур целесообразно и с точки зрения экономики средств. Средняя экологическая эффективность всех обследованных смешанных сосновых культур (вычислялась по значениям депонированного и раздепонированного углерода, выделенного кислорода, коэффициентов влияния на плодородие почвы, оптимальности биологического разнообразия, оптимальности состава по функциональному назначению, индекса жизнеспособности, прогнозной характеристики) колебалась от +27 до 95 %, энергетическая – от +12 до +81 %.

Плодовое тело (базидиома) корневой губки по сравнению с другими грибами обла-

дает сравнительно высоким коэффициентом накопления радионуклида цезия-137 при загрязнении почвы на уровне загрязнения 1–5 Кюри на квадратный километр. Радиологические анализы в Н.-Северской районной лаборатории и лаборатории МарГТУ показали содержание радионуклида 137-цезия на уровне от 300 до 1800 Бк/кг. Большинство исследователей указывает на меньшие значения коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  у ряда почвенных грибов, чем микоризообразующих грибов сосны и березы (рыжика, свинушки, масленка). Плодовое тело корневой губки содержит большое количество калия, до 300–500 мг/100 г [1], а калий является антагонистом цезия (по Ипатову). Поэтому очаги усыхания от корневой губки и стволовых вредителей показывают меньшую удельную активность 137-цезия, чем в межочаговом пространстве. В то же время в очагах усыхания с зеленомошниковым и орляковым типами зарастания радиационный фон был существенно выше, чем с ежевикowymi и малинниковыми типами зарастания, с возобновлением березы, осины, ивы, крушины и рябины.

Анализы показали довольно высокое содержание цезия-137 в плодовых телах афилороидных грибов, разрушающих древесину осины и липы (вешенки обыкновенной, трутовика Трога, кленового и чешуйчатого трутовиков, ложноберезовой губки, чернополосной бьеркандеры). Но в целом активные очаги усыхания, по данным нашего обследования, через 20 лет пребывания в радиоактивно загрязненной зоне превратились в хронически действующие и затухающие. Основная часть активных в 1960–1980 гг. очагов к 1998–2008 гг. затухла вследствие зарастания кустарниковой ивой, ежевикой, иргой, осинкой и березой. Сосновый самосев составляет около 15–20 % древесного возобновления. Средний состав возобновления в затухших очагах ЗБЗОс2Ив2С. Затуханию очагов, по нашему мнению, способствовала не столько радиация, сколько почти полное прекращение деятельности лесоводов в лесу. Не стали проводиться выборочные санитарные рубки (проверка результатов правильно проведенных рубок в доверительные сроки 5–6 лет в 95 % случаев показала отрицательный эффект по сравнению с участками с таким же уровнем поражения, но без рубки).

Так, в Новгород-Северском лесхозе в каждом лесничестве до аварии на Чернобыльской АЭС ежегодно проводились все виды рубок ухода на нескольких сотнях гектаров. В настоящее время, даже при незначительной загрязненности цезием-137 (плотность загрязнения от 0,5 до 5 Ки/км<sup>2</sup>, когда разрешается проведение всех видов лесохозяйственных работ [21]), объемы рубок резко сократились (до 10–20 га).

Природа сама лучше исправляет человеческие ошибки. И, главное, при восстановлении лесов кустарниково-сосновыми культурами, не требующими вмешательства рубок ухода, работники леса меньше заражаются радиацией. Для деревьев всех пород наиболее распространенные уровни загрязнения цезием-137 и стронцием-90 даже являются стимулирующими рост факторами. Усиление отпада сосны в радиоактивно загрязненной зоне связано с размножением стволовых вредителей. Причина низкой эффективности выборочных санитарных рубок в очагах корневой губки объясняется невозможностью выполнять в сжатые сроки отвод лесосек, рубку с раскряжевкой и окоркой заготовленной древесины при больших площадях поражения. Принятые в «Руководстве по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий» [19], «Руководстве по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований» [18], «Руководстве по локализации и ликвидации очагов вредных организмов» [17] и других нормативных документах по поддержанию лесной санитарии в лесах Российской Федерации и Украины, придержки для оценки состояния и назначения рубок не учитывают, что отпад надо делить на три группы: естественный, случайный (разовый) и патологический. Нельзя забывать о том, что у больного сильно ослабленного дерева болезней и повреждений больше, чем у ослабленного. А у отмирающих они нарастают в геометрической прогрессии. Поэтому принцип оценки состояния по арифметической прогрессии «1,5 – балла здоровые, 2,5 – ослабленные, 3,5 – сильно ослабленные, 4,5 – погибшие» весьма ошибочен, как и придержка при снижении полноты до 0,3 [19] – «можно назначать сплошную санитарную рубку». Они явно приводят к экологическому ущербу. Все зависит от тенденций развития

патологического отпада. В степных районах в расстроенных до такой степени насаждениях (например, в Бузулукском бору Оренбургской и Шакинском лесу Волгоградской области) в образовавшихся редианах следует производить содействие естественному возобновлению или подпологовых культур с сохранением достигнутой лесной среды.

В 1963 г. в Машевской даче Семеновского лесхоззага (Черниговская область) при суммарной площади очагов усыхания более 6000 м<sup>2</sup>/га и полноте менее 0,4 лесопатологическая комиссия попросила руководство лесхоззага не назначать в двух кварталах сплошную санитарную рубку, так как заметили начало затухания очагов. В 2003 г. лесопатологической таксацией мы определили, что древостои этих кварталов имеют полноту 0,7 и показывают типичный запас спелого леса 250 м<sup>3</sup>/га. В рассматриваемом регионе в течение второй половины XX века почти 40 % участков без эколого-экономической необходимости были срублены сплошной санитарной рубкой.

В начальной стадии поражения корневой губкой следует удалять усыхающие от болезни деревья с корнями (как было сделано рабочими на объектах В.Д. Огиевского в 5–12-летнем возрасте) при запасе на 1 га 0,5 м<sup>3</sup>/га, а не дожидаться, когда накопится 10 м<sup>3</sup> на 1 га, как записано в нормативных документах.

Корневая губка захватывает все больше новых территорий леса. Если не предотвратить лесокультурными методами первичное заражение, то с вторичным заражением бороться будет еще сложнее и накладнее.

### Библиографический список

1. Алексеев, И.А. Роль корневой губки в процессе формирования лесной среды в сосновых культурах / И.А. Алексеев // Вопросы лесозащиты: II Междунар. конф. по защите леса. – М.: МЛТИ, 1963. – Т.1. – С.4–8.
2. Алексеев, И.А. Научные основы лесохозяйственных мер борьбы с корневой губкой в лесах Полесья и Лесостепи УССР: автореф. дис. ... д.с.–х. наук / И.А. Алексеев. – Л.: ЛОЛЛТА, 1974. – 38 с.
3. Алексеев, И.А. Лесное товароведение с основами древесиноведения / И.А. Алексеев, О.И. Полубояринов. – Йошкар-Ола, МарГТУ, 2006. – 431 с.
4. Багинский, В.Ф. Динамика таксационных показателей сосны и березы при их совместном произрастании / В.Ф. Багинский, Е.А. Усс // Проблемы лесоведения и лесоводства на радиоактивно за-

- раженных землях. – Вып. 60. – Гомель: Изд. ИЛ НАНБ, 2004. – С. 253–263.
5. Булко, Н.И. Накопление <sup>137</sup>Cs в компонентах фитомассы основного древесного яруса определенного видового состава / Н.И. Булко // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. научн.тр. – Вып. 56. Гомель: ИЛ НАНБ, 2003. – С. 8–23.
6. Василяускас, А.П. Корневая губка и устойчивость экосистем хвойных лесов / А.П. Василяускас. – Вильнюс, 1989. – С. 176.
7. Гончаров, Е.А. Особенности радиационного мониторинга лесных биогеоценозов Пензенской области: автореф. дис. ... к.с.–х. наук / Е.А. Гончаров. – Йошкар-Ола, 2007. – 24 с.
8. Гримальский, В.И. Устойчивость сосновых насаждений против хвоегрызущих вредителей / В.И. Гримальский. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 136 с.
9. Донец, Н.П. Ретроспективный анализ радиэкологической ситуации на территории Черниговской области вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Н.П. Донец // «Довкілля та здоров'я». – 2004. – № 1. – С. 3–15.
10. Калетник, Н.Н. Рекомендации по ведению лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения / Н.Н. Калетник, В.П. Краснов, Н.П. Савушник и др. – Киев: Ярмарок, 1998. – 88 с.
11. Копытков, В.В. Лесовосстановительные работы на Гомельщине / В.В. Копытков // Лес. Человек, Чернобыль. – 2005. – Вып. 41. – С. 45–53.
12. Краснов, В.П. Научные основы реабилитации загрязненных радионуклидами лесов / В.П. Краснов, А.А. Орлов, И.Д. Иванюк // Мат. междунар. конф. (11–14 ноября 2002 г.) «Теория и методы оценки, оптимизации использования и облагораживания земельных ресурсов». Ч.2. – Киев: – С. 203–206.
13. Лавриненко, Д.Д. Взаимодействие древесных пород в различных типах леса / Д.Д. Лавриненко. – М.: Лесная. пром-сть, 1965. – 248 с.
14. Марадулин, И.И. Основы прикладной радиэкологии леса / И.И. Марадулин. – М.: ВНИИЛМ, 2001. – 224 с.
15. Ониськив, Н.И. Создание культур под пологом низкопродуктивных насаждений / Н.И. Ониськив. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 108 с.
16. Погребняк, П.С. Общее лесоводство / П.С. Погребняк. – М.: Сельхозгиз, 1968. – 399 с.
17. Руководство по локализации и ликвидации очагов вредных организмов. Федер. агентство лесного хозяйства, 2007. – 92 с.
18. Руководство по планированию, организации и ведению лесопатологического обследования. Изд. Федер. агентства лесного хозяйства, 2007. – 58 с.
19. Технические указания по обследованию на зараженность корневой губкой и мерам борьбы с ней / И.А. Алексеева, М.Р. Спектора, И.Я. Шемякина и др. // Сб. технических указаний по лесозащите. – Киев: Урожай, 1964. – С. 143–150.
20. Ушаков, Б.А. Радиоактивное загрязнение лесов Брянской области / Б.А. Ушаков, А.В. Панфилов // Вопросы экологического мониторинга. Ч.2. – Брянск, 1991. – С. 18–19.

## ИНТРОДУКЦИЯ ДЕНДРОФЛОРЫ, УСТОЙЧИВОЙ К МОРСКИМ БЕРЕГОВЫМ ПРОЦЕССАМ

М.Г. АДАМОВ, *проф. каф. лесоводства Дагестанского ГУ, д-р с.-х. наук,*  
Х.М. ГАМЗАТОВА, *соискатель, мл. н. с. каф. лесоводства Дагестанского ГУ,*  
Р.М. АДАМОВА, *асп. каф. лесоводства Дагестанского ГУ,*  
А.Б. БАГАМАЕВА, *инженер лесного и лесопаркового хозяйства Дагестанского ГУ*

*raika25@mail.ru*

Лесное сообщество – наиболее мощное средство регулирования важнейших природных процессов, которое может быть использовано с исключительно высоким экологическим эффектом для сохранения и улучшения окружающей среды, депонирования углерода и производства кислорода. Оно обладает активными свойствами живого организма, объединяет в единое целое растительный и животный мир, земельные и водные ресурсы с редуцентами (грибы, бактерии и др.). Экологические механизмы регулирования и использования этих ресурсов, в комплексе предотвращающие деградацию земель, основаны на устойчивости деревьев и кустарников, в данном случае, к морским береговым процессам.

Засушливые климатические условия и засоленные почво-грунты Западного побережья Каспия сдерживают увеличение биоразнообразия древесных и кустарниковых пород. Успешность лесоразведения в этих полупустынных условиях зависит от выявления, интродукции и использования устойчивых видов.

Объектом изучения явились виды естественной дендрофлоры, произрастающие на Западном побережье Каспия на разном расстоянии от береговой линии.

В задачу исследований входило проведение исследований по установлению видов дендрофлоры, устойчивых к морским береговым процессами, и их интродукция в Ботанический сад ДГУ.

В результате проведенных интродукционных работ сад пополнился новыми ботаническими видами с использованием морфологии ландшафта и созданных в нем уникальных условий механизированного и автоматизированного орошения, в т.ч. установки искусственного тумана для регенерации [1].

Интродукционные работы выполнены на основе разработанной нами методики завоза семян вместе с почвой (со спорами грибов) этих территорий, т.е. со специфическим грибным компонентом [2]. А.Р.Родин и С.А. Родин также указывают, что «...многие древесные породы являются микотрофными растениями, и без наличия на их корнях микоризы (симбиоза гриба и корня) плохо растут и развиваются. На бывших сельскохозяйственных, бесструктурных, малоплодородных и эродированных землях микориза обычно отсутствует. Вместе с тем, она способствует более полному использованию растениями питательных веществ почвы, интенсифицирует их биохимические реакции и физиологические процессы, повышает содержание сахаров и свободных аминокислот, улучшает рост и ускоряет развитие культивируемых растений. Особое значение микориза имеет в условиях недостаточной влажности почв благодаря огромной всасывающей поверхности почвенного мицелия гриба-симбиота и его выносливости к высокому осмотическому давлению. Растения, имеющие мицелий, лучше снабжаются водой и легче переносят недостаток влаги в почве. Следовательно, на таких землях необходимо проводить микоризацию пахотного горизонта путем внесения микоризообразующих грибов или обработки корневых систем посадочного материала чистой культурой микоризных грибов» [7, с. 32].

Лесоинтродукционная деятельность в нашей стране развивается весьма неравномерно, с заметными подъемами и спадами. Во многих работах показано, что интродукция растений, особенно древесных, далеко не всегда завершается успехом. Так было и в Ботаническом саду ДГУ. Причина этого явления нами установлена: отсутствие в новых условиях специфического грибного

компонента. После завоза семян или сеянцев вместе с почвой эта проблема решается успешно [2,4]. Созданные в Ботаническом саду ДГУ условия механизированного полива, орошения дождеванием в интродукционных блоках и в установке искусственного тумана отвечают самым высоким требованиям проведения научно-исследовательских работ по интродукции. Они были одобрены экспертными комиссиями Минобрнауки РФ в 2005 и 2008 гг.

Исследования проводились вдоль Западного побережья Каспия по маршруту Каспийск–Зеленоморск–Манаскент протяженностью более 20км, на прибрежной полосе шириной от 50 до 150 м от береговой линии.

Список выявленных видов дендрофлоры, устойчивых к морским береговым процессам, на Западном побережье Каспия включает 15 наименований из 10 семейств (табл.).

Семейства и виды дендрофлоры, устойчивые к морским береговым процессам (по С.К. Черепанову, 1981)

Семейство	Ботанический вид
1. Caesapiniaceae R. Br.	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.
2. Flaeagnaceae Juss.	<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.
3. Fabaceae R. Rr.	<i>Robinia pseudacacia</i> L.
4. Juglandaceae A. Rich. ex. Kunth.	<i>Juglans regia</i> L.
5. Moraceae Link.	<i>Morus nigra</i> L.
6. Oleaceae Hoffngg. et Link.	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
7. Rosaceae Juss.	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh. <i>Pyrus salicifolia</i> Pall. <i>Rosa canina</i> L. <i>Rubus caesius</i> L.
8. Salicaceae Mirb.	<i>Populus alba</i> L. <i>cane-scens</i> Ait. <i>Salix alba</i> L. <i>Salix caspica</i> Pall.
9. Mamaricaeae Link.	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.
10. Ulmaceae Mirb.	<i>Ulmus laevis</i> Pall.

В начале весны (февраль-апрель 2009г.) эти виды мы интродуцировали в Ботанический сад ДГУ вместе с почвой (песком) вокруг корней, т.е. с устойчивым в этих условиях специфическим грибным компонентом, что обеспечило их приживаемость.

Как видно из вышеизложенного, проблемы интродукции дендрофлоры весьма сложны. Их решению способствуют мощные базы инженерно-биологических сооружений Ботанического сада ДГУ: отапливаемая зимняя теплица, установка искусственного тумана, механизированная система орошения и др.

На основании полевых исследований устойчивой псамофильной дендрофлоры на Западном побережье Каспия можно сделать следующие выводы.

1. Первичными естественными видами, произрастающими ближе всего к морской береговой линии, являются тамарикс ветвистый и лох узколистный.

2. На второй полосе от морской береговой линии, т.е. на безводной песчаной территории без травяного покрова (бугристые пески), наиболее часто встречаются лох узколистный и ива каспийская.

3. На третьей, сравнительно ровной полосе, более богатой древесно-кустарниковой растительностью, сплошные заросли образуют лох узколистный, тамарикс ветвистый, груша иволистная, шелковица черная, а в подлеске – ежевика сизая, роза собачья, бирючина обыкновенная.

4. На сравнительно обжитой территории, где проходят тропинки и есть редкие постройки, преобладают занесенные на эту территорию случайной интродукцией виды, которые проявили устойчивость на песчаных засоленных почвах: вяз гладкий, ива белая, тополь сереющий, гледичия обыкновенная, робиния лжеакация, слива растопыренная (алыча), орех грецкий.

Выявленные на Западном побережье Каспия и интродуцированные в Ботанический сад ДГУ виды псамофильной дендрофлоры заслуживают внимания и включения в реестр видов, рекомендуемых в производство при широкомасштабных лесомелиоративных работах по защитному лесоразведению, при освоении Западного побережья Каспия древесно-кустарниковой растительностью как прошедших многолетние испытания в естественных условиях. Каждый вид выполняет свои экологические функции и сосредоточен в определенной полосе на береговой линии.



Работа выполнена при поддержке грантов по аналитической ведомственной программе «Развитие научного потенциала высшей школы»

### Библиографический список

1. Адамов, М.Г. Ботанический сад Дагестанского государственного университета, его экологическое и фитосанитарное состояние / М.Г. Адамов, А.А. Лепехина, И.М. Гамзаев // ИПЦ ДГУ. – Махачкала 1999. – 67 с.
2. Адамова, Р.М. Исследования степени развития микоризы видов дендрофлоры в связи с интродукцией / Р.М. Адамова // Юг России: экология, развитие. – М.: Издательский дом «Камертон» № 1, 2009. – С. 24–28.
3. Акаев, Б.А. Физическая география Дагестана: учебное пособие / Б.А. Акаев, З.В. Акаев, Б.С. Гаджиев и др. – М.: «Школа», 1996. – 386 с.
4. Алибекова, З.Р. Интродукция декоративных древесных растений в целях озеленения Западного побережья Каспия / З.Р. Алибекова, Р.М. Адамова // Тезисы докладов студенческой научной конференции ДГУ – Махачкала. – 2005. – С. 5–7.
5. Булыгин, Н.Е. Дендрология: учебник. 3-е изд., стереотип / Н.Е. Булыгин, В.Т. Ярмишко. – М.: МГУЛ, 2002. – 528 с.
6. Дроздов, И.И. Лесная интродукция: учебное пособие для студентов заочного отделения специальности 260400, аспирантов и специалистов лесного и лесопаркового хозяйства / И.И. Дроздов, Ю.И. Дроздов. – М.: МГУЛ, 2000. – 135 с.
7. Родин, А.Р. Лесоводственно-физиологическое обоснование создания «киотского» леса лесокультурными методами / А.Р. Родин, С.А. Родин // Лесное хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 31–33.
8. Черепанов, С.К. Сосудистые растения СССР / С.К. Черепанов. – Л.: Наука, 1981. – 510 с.

## МИКРОФАЗНОЕ РАССЛОЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ ГЕЛЕЙ И СВОЙСТВА ПОЧВ

Г.Н. ФЕДОТОВ, *с. н. с. МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р биол. наук,*  
В.С. ШАЛАЕВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук*

*shalaev@mgul.ac.ru*

В ряде работ [7–10] методом малоуглового рассеяния нейтронов было показано, что почвенные коллоиды фрактально организованы. Однако авторы рассматривали частицы почвенных коллоидов, рассеивающих нейтронное излучение и армирующие гумусовый студень, и пытались объяснить с позиций их изменения все полученные результаты.

В частности, было обнаружено [9] снижение интенсивности рассеяния при повышении температуры почвы с последующим ее частичным восстановлением при понижении температуры. Это снижение интенсивности было объяснено разрывом сетки гумусового студня, освобождением коллоидных частиц и их коагуляцией, а последующий рост–восстановление при понижении температуры – декоагуляцией. Оба этих объяснения нельзя считать корректными, так как некоторое падение интенсивности рассеяния продолжалось и при понижении температуры после достижения максимальных значений, а механизм процесса – декоагуляции совершенно непонятен.

Таким образом, авторам не удалось с позиций предлагаемой ими модели армированного гумусового студня корректно объяснить все полученные результаты, и, следовательно, предлагаемая модель нуждается в доработке.

В настоящее время отвергаются существующие традиционные представления о том, что гуминовые вещества имеют полимерную природу. Показано, что гуминовые вещества – ассоциаты относительно низкомолекулярных компонентов, возникающих при деградации и разложении биологического материала, динамически объединенных и стабилизированных, в основном, слабыми связями. Именно это является главным в структуре гуминовых веществ. Они представляют собой супрамолекулярные структуры, построенные по принципу «гость–хозяин», стабилизированные в основном слабыми, а не ковалентными связями. Гидрофобные, Ван-дер-Ваальсовы,  $\pi$  –  $\pi$ , СН –  $\pi$  и водородные связи ответственны за большой размер молекул гуминовых веществ [17, 19, 22, 23].

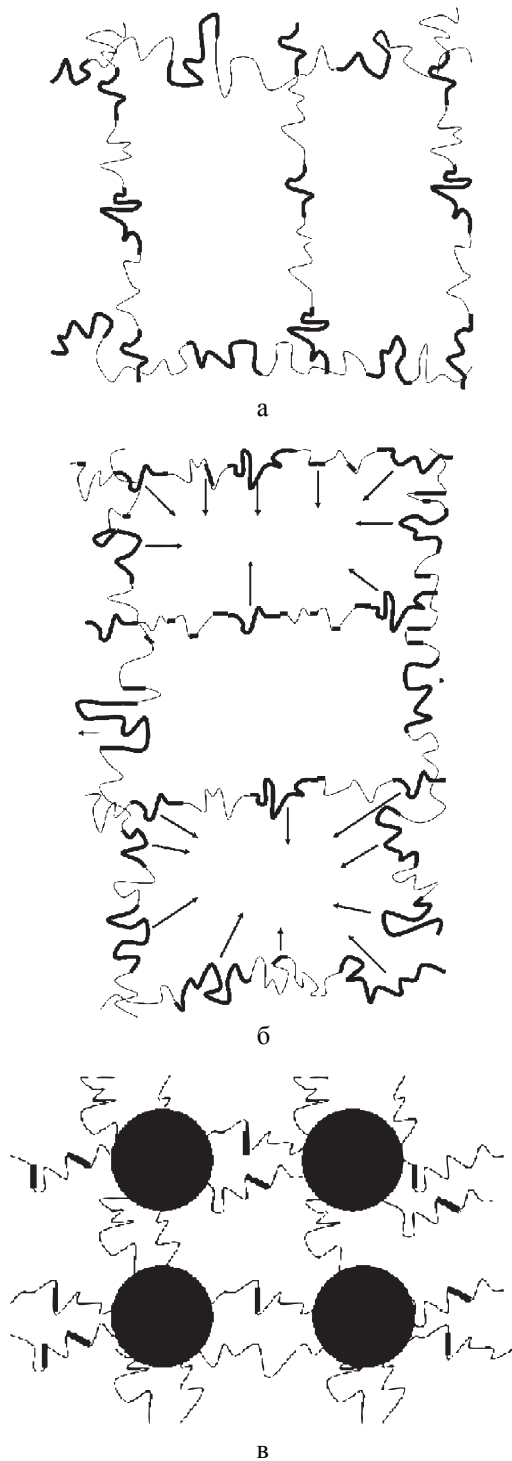


Рис. 1. Схема микрофазного расслоения в супраполимерной гумусовой матрице при изменении степени диссоциации кислотных групп (черным показаны гидрофобные участки молекул гумуса): а. состояние супраполимерной гумусовой матрицы до расслоения; б. увеличение количества гидрофобных участков в супраполимерной гумусовой матрице при уменьшении диссоциации приводит к стремлению этих участков объединиться; в. микрофазное расслоение супраполимерной гумусовой матрицы с выделением гидрофобной фазы

Можно предположить участие в образовании супрамолекулярных ансамблей почвенного гумуса как низкомолекулярных и высокомолекулярных органических соединений, так и неорганических ионов, гидроксополимеров и наночастиц, что приводит к возникновению супраполимерной [3] гумусовой матрицы, обладающей определенным набором свойств. В частности супраполимеры гумуса из-за наличия связей, соединяющих молекулы и макромолекулы в единую матрицу, и наличия большого числа функциональных групп и гидрофобных участков являются аналогами полиэлектролитных гелей и обладают способностью к самоорганизации с образованием наноструктур путем микрофазного расслоения (рис. 1) [11, 12]. Подобный подход был подтвержден при изучении микрофазного расслоения в гумусовых системах [6].

Использование малоуглового рассеяния нейтронов, сканирующей и просвечивающей микроскопий при изучении гумуса в вытяжках из почв или гумуса, взвешенного в воде водоемов, показало, что первичные частицы нанокolloидов гумуса диаметром 5 нм формируют фрактальные кластеры со средними радиусами 30–50 нм и с фрактальной размерностью  $D = 2,3 \pm 0,1$  [15, 16, 18, 20, 21].

Вся эта полученная за последнее время информация позволяет рассмотреть результаты исследований почв методом малоуглового рассеяния нейтронов с новых позиций, уделяя внимание не только наночастицам различной природы, армирующим гумусовый студень, но и изменению наноструктурной организации супраполимерной гумусовой матрицы (гумусового студня). Схема микрофазного расслоения в супраполимерной гумусовой матрице представлена на рис. 1.

Целью работы было проведение совместного анализа результатов изменения фрактальных характеристик почв с изменением структурно-механических свойств почв и температуропроводности.

В качестве объектов исследования были выбраны дерново-подзолистая почва из окрестностей поймы р. Яхрома и кубанский выщелоченный чернозем.

Метод малоуглового рассеяния нейтронов позволяет исследовать частицы раз-

мером 1–100 нм – структурную организацию органоминерального почвенного геля, в том числе и глубинных слоев почвенных гелей [2], а присутствие крупных частиц не мешает изучению образцов. Этот метод дает возможность получать информацию о фрактальной размерности почв, представляющей собой интегральную характеристику их коллоидной структуры [7–10].

Остановимся на самом понятии «фрактал». По Мандельброту: «Фракталом называется объект, состоящий из частей, которые в каком-то смысле подобны целому». Определение фрактальной размерности  $D$  требует, чтобы диаметр  $\delta$  покрывающих множеств (например, длина линейного эталона) стремился к нулю. В реальных физических системах данное требование не может быть выполнено в силу естественных ограничений. Тем не менее, фрактальная теория может быть применена и к физическим объектам.

В общем случае количество частиц, составляющих некий объект, обладающий фрактальной размерностью  $D$ , может быть найдено с помощью следующего асимптотического соотношения

$$N = \rho(R / R_0)^D, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус объекта;

$R_0$  – радиус частицы,

$\rho$  – плотность упаковки частиц.

Величина  $D$  в соотношении «число частиц – радиус» называется размерностью кластера. Поскольку масса всех мономеров в кластере одинакова, число частиц  $N$  часто интерпретируют как массу,  $\rho$  – как плотность массы, а размерность кластера называют размерностью массы.

Приведенное соотношение имеет большое значение для анализа физических объектов, поскольку оно позволяет определять, является ли объект фрактальным, и находить его размерность. Из данного выражения следует, что фрактальная размерность характеризует плотность заполнения пространства частицами, образующими кластер. Чем она выше, тем плотнее заполняется частицами пространство.

В работах [9, 10] исследовали образцы, отобранные из гумусоаккумулятивных горизонтов выщелоченного чернозема, дерново-

подзолистой почвы и краснозема. Измерения были проведены на малоугловом нейтронном спектрометре «ЮМО», расположенном на канале импульсного реактора ИБР-2.

Для фрактальных объектов, к которым относится и коллоидная составляющая почв, зависимость интенсивности рассеяния под малыми углами от передаваемого импульса в логарифмических координатах представляет собой прямую линию. При этом для массовых фракталов, когда коллоидные частицы образуют разветвленные, а не компактные структуры и полностью не контактируют друг с другом, значение тангенса угла наклона, называемого показателем Порода, меньше трех, а для поверхностных фракталов, когда коллоидные частицы агрегируют и находятся в контакте, больше трех. Для массовых фракталов значение показателя Порода совпадает с фрактальной размерностью [14].

При проведении измерений образцы помещали в кюветы фирмы «Hellma» с полезной толщиной 2 мм, размер пучка составлял 14 мм. При изучении влияния температуры на фрактальные характеристики почв кюветы размещали в термостате, изменяя температуру в интервале 20–90°C. Образцы перед измерением выдерживали при заданной температуре в течение 10 минут.

Величину теплопроводности определяли по общепринятой методике способом регулярного режима [1, 13]. Полый тонкостенный алюминиевый цилиндр диаметром 34 мм и высотой 125 мм заполняли почвой и уплотняли ее. Цилиндр закрывали пробками, в одну из которых был вставлен термодатчик так, чтобы в закрытом состоянии он находился в центре почвенного образца. Затем цилиндр для предотвращения попадания воды из термостата со стороны пробок стягивали пластинами из оргстекла, используя длинные болты. Температуру воды в термостатах устанавливали на уровнях  $T^\circ\text{C}$  и  $T+5^\circ\text{C}$ . Цилиндр с почвенным образцом помещали в термостат с температурой воды  $T^\circ\text{C}$ . После термостатирования цилиндр с почвой перемещали в термостат с температурой воды  $T+5^\circ\text{C}$ . В течение 10 минут снимали показания термодатчика с интервалом 30 секунд. Коэффициент теплопроводности (КТП) рассчитывали, ис-

пользуя график зависимости  $\ln\xi$  от времени термостатирования (при  $t = T+5^\circ\text{C}$ )

$$\xi = \Delta t / \Delta t_0;$$

$$\Delta t = t_{\text{кон}} - t_{\text{в точке}}; \Delta t_0 = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}};$$

где  $\xi$  – нормированная разность температур;  
 $t_{\text{нач}}$  – температура в первом термостате;  
 $t_{\text{в точке}}$  – температура термодатчика в момент измерения;  
 $t_{\text{кон}}$  – температура во втором термостате.

По построенному графику определяли коэффициент температуропроводности  $\kappa = \kappa \alpha$  [ $\text{см}^2/\text{час}^{-1}$ ], где  $\alpha = \Delta \ln \xi / \Delta \tau$  [ $\text{час}^{-1}$ ], а  $\kappa$  – постоянная ячейки равная  $2,064 \text{ см}^2$ .

Отметим, что коэффициент регрессии  $\alpha$  определяли по 10 и более экспериментальным точкам, то есть он является усредненным наклоном экспериментальной кривой. Использование такого способа усреднения экспериментальных данных обеспечило высокую воспроизводимость результатов. Предварительные эксперименты показали, что при проведении повторных измерений расхождение полученных значений  $\kappa$  не превышает 2 %, что позволило в дальнейшем ограничиться однократным определением КТП образцов.

Структурно-механические свойства почв изучали методом погружения конуса [4]. Использовали конус Васильева [2], определяя предельное напряжение сдвига почв. Точность определения глубины погружения конуса составляла 5 мкм, ошибка метода не превышала 7 %.

При определении предельного напряжения сдвига почв влажностью 0,8–0,9 НВ в воздушно-сухую почву добавляли воду, перемешивали и уплотняли под нагрузкой в течение нескольких минут, выдерживали необходимое время (до 5 суток) и определяли глубину погружения конуса.

Из полученных при изучении фрактальных характеристик почв данных [9] следовало, что фрактальная размерность при повышении температуры до  $90^\circ\text{C}$  и последующем понижении до  $20^\circ\text{C}$  меняется очень мало. При этом интенсивность рассеяния, отражающая изменение количества рассеивающих частиц, находящихся в объеме кюветы, через которую проходил поток нейтронов, заметно изменялась (рис. 2).

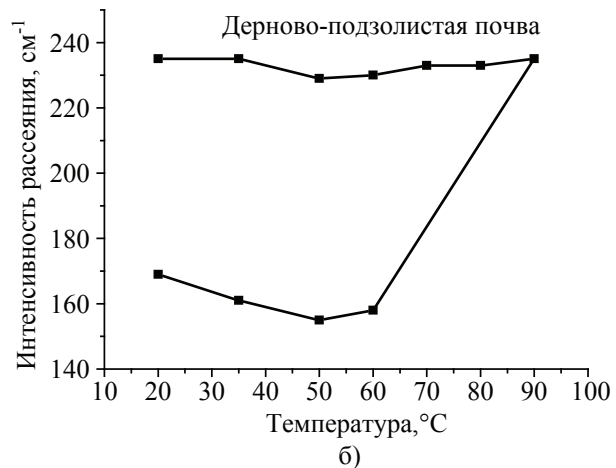
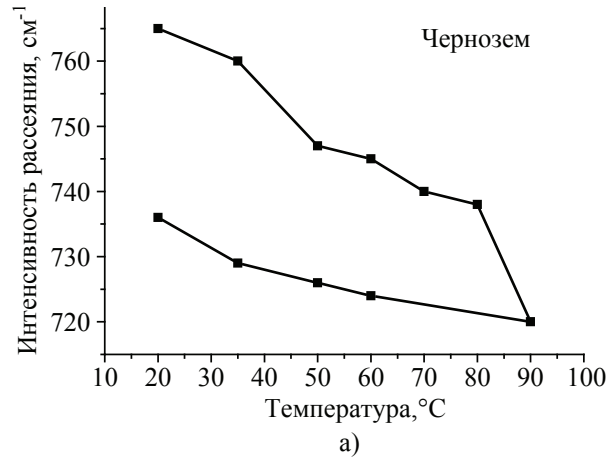


Рис. 2. Зависимость интенсивности рассеяния нейтронов от температуры почв: а – чернозем; б – дерново-подзолистая почва

Для чернозема наблюдалось с ростом температуры уменьшение интенсивности рассеяния (падало количество рассеивающих частиц). Для дерново-подзолистой почвы значимых изменений не наблюдалось. Объяснить это разрывом связей в гумусовом студне, повышением подвижности и коагуляцией частиц, армирующих студень, нельзя, так как для дерново-подзолистой почвы процесс падения интенсивности рассеяния начался после того, как температура начала падать. Разрыв связей и коагуляция при понижении температуры должны были бы прекратиться, а интенсивность не должна была падать.

Рассмотрим полученные результаты с позиций изменения супраполимерной гумусовой матрицы. В связи с тем, что микрофазное расслоение с выделением гидрофобной фазы происходит за счет энтропийного фактора [3, 11, 12], при повышении температуры оно

должно усиливаться. Выделяющаяся фаза, по-видимому, связывает уже существующие гетерогенные области и частицы, увеличивая их размеры выше критической величины 100 нм, когда частицы перестают вносить значимый вклад в рассеяние нейтронного излучения.

Повышение рассеяния (количества рассеивающих частиц) при понижении температуры невозможно объяснить процессами «декоагуляции». Однако реорганизация и распад выделившихся гидрофобных областей при понижении температуры – вещь при рассмотрении поведения системы с позиций термодинамики вполне естественная.

Наличие запаздывания в ответных реакциях характерно для структурных перестроек, происходящих именно в полимерных системах. По-видимому, этим объясняется продолжающееся падение интенсивности рассеяния при понижении температуры (рис. 2, б) и невозможность системам вернуться к исходному состоянию.

Обращает на себя внимание большая температурная стабильность количества частиц в черноземе по сравнению с дерново-подзолистой почвой. В последней количество частиц убывает почти в 1,5 раза. Подобное поведение почвенных гелей соответствует известному для полиэлектролитных гелей правилу: чем сильнее гель набухает (чем больше в нем полярных групп), тем резче происходит микрофазное расслоение при ухудшении условий существования системы в набухшем состоянии [3, 11, 12].

Перейдем к рассмотрению экспериментальных результатов по влиянию влажности почв на их фрактальные характеристики.

При росте влажности для изученных почв наблюдается рост интенсивности рассеяния (рис. 3, б). Следовательно, при росте влажности почв увеличивается количество частиц размером 1–100 нм за счет реорганизации и распада выделившихся гидрофобных областей. Для дерново-подзолистой почвы и особенно чернозема эта реорганизация происходит в узком интервале влажностей, причем влажность перехода примерно пропорциональна содержанию гумуса в почве.

Уменьшение фрактальной размерности при увеличении влажности почв в целом

понятно. За счет реорганизации и распада выделившихся гидрофобных областей происходит уменьшение размеров частиц и, на первом этапе, рост их количества. Однако часть частиц может исчезнуть, перейдя в состояние гомогенного студня. Если уменьшение размеров частиц происходит быстрее роста их количества, то падает плотность заполнения пространства наночастицами и уменьшается фрактальная размерность. Это наблюдается для дерново-подзолистой почвы, гумус которой содержит большее число полярных групп, что способствует его переходу в гомогенное состояние. Гумус чернозема к такому переходу неспособен, поэтому рост количества частиц начинает превалировать над уменьшением их размеров и плотностью заполнения пространства наночастицами и, как следствие, фрактальная размерность с определенной влажностью начинает расти.

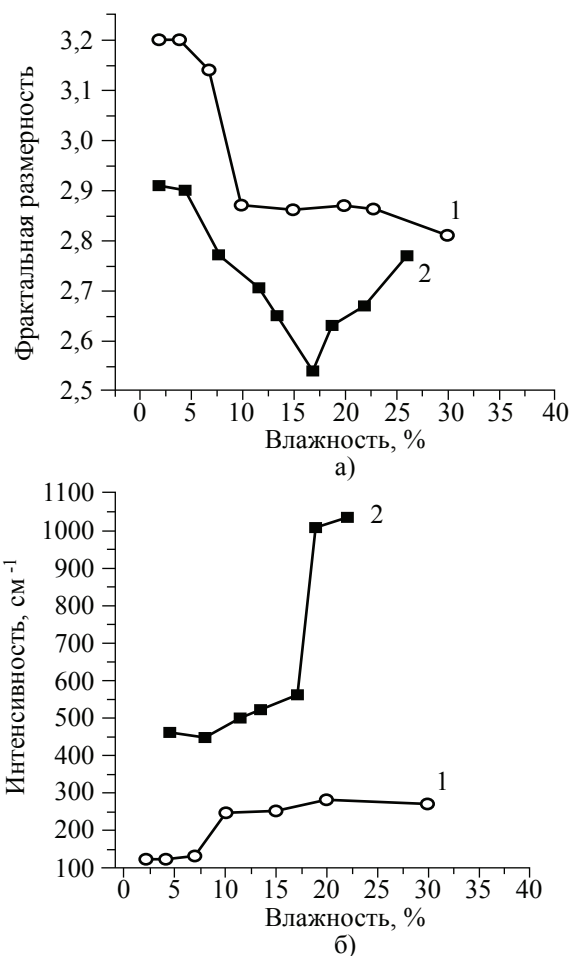


Рис. 3. Зависимость фрактальной размерности (а) и интенсивности рассеяния нейтронов (б) от влажности почв: 1 – дерново-подзолистая почва; 2 – чернозем

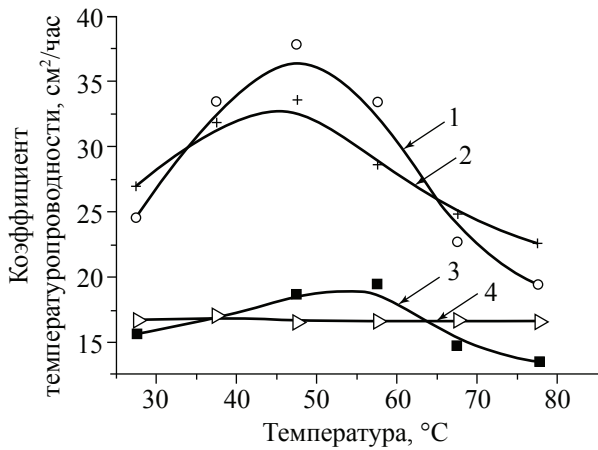


Рис. 4. Зависимость коэффициента температуропроводности почв от температуры: 1 – дерново-подзолистая почва, выдержанная после добавления воды 7 суток; 2 – свежеприготовленная дерново-подзолистая почва; 3 – чернозем, выдержанный после добавления воды 7 суток; 4 – свежеприготовленный чернозем

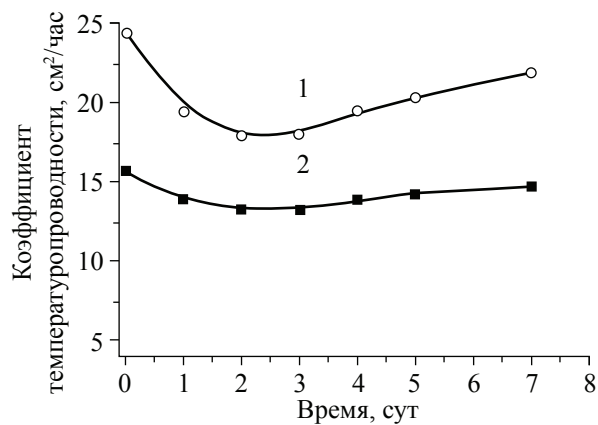


Рис. 5. Зависимость коэффициента температуропроводности почв от времени, прошедшего после добавления воды в воздушно сухие почвы: 1 – дерново-подзолистая почва; 2 – чернозем

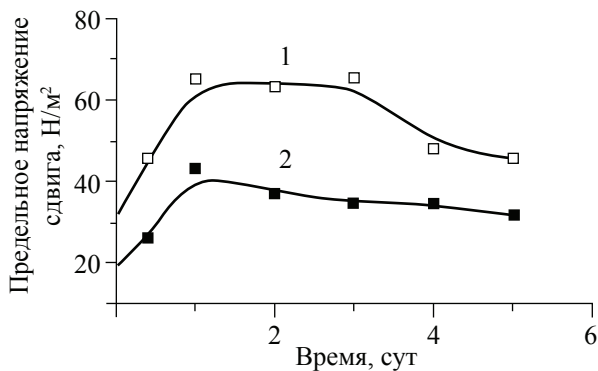


Рис. 6. Зависимость предельного напряжения сдвига почв от времени, прошедшего после добавления воды в воздушно сухие почвы: 1 – чернозем; 2 – дерново-подзолистая почва

Перечислим основные процессы, которые протекают в почвах и находят отражение в изменении их фрактальных характеристик:

- распад на наночастицы при взаимодействии с водой агрегатов размером больше 100 нм, образовавшихся при высушивании почв за счет дополнительного микрофазного расслоения, объединившего наночастицы;

- при взаимодействии с водой исчезновение наночастиц (микрофазнорасслоенных областей гумуса) путем их перехода в состояние гомогенного студня при наличии в гумусе достаточного количества полярных групп;

- появление наночастиц за счет микрофазного расслоения супраполимерной гумусовой матрицы при взаимодействии с многозарядными катионами.

Теперь рассмотрим с предлагаемых позиций результаты, полученные при исследовании температуропроводности почв от температуры (рис. 4). На первом этапе при повышении температуры температуропроводность растет, что, по-видимому, связано с ростом подвижности жидкой фазы. Однако дальнейшее повышение температуры приводит к снижению температуропроводности, что, как следует из данных по интенсивности рассеяния нейтронов, связано с усилением микрофазного расслоения в супраполимерной гумусовой матрице и появлением дополнительного сопротивления передаче тепла из-за возникновения новых межфазных границ.

В почвах с ненабухшей супраполимерной гумусовой матрицей эффект изменения температуропроводности выражен заметно слабее, а температуропроводность набухших почв снижается сильнее. Это можно объяснить возникновением при микрофазном расслоении при повышении температуры иных наноструктур выделившейся фазы, чем при высушивании.

Подтверждается подобное предположение характером изменения температуропроводности и структурно-механических свойств почв от времени, прошедшего после добавления воды в воздушно-сухие почвы (рис. 5–6). Сначала количество микрофазно расслоенных областей увеличивается. Это приводит к росту предельного напряжения сдвига и уменьшению температуропроводности. Так как в черноземе число микрофазно расслоенных об-

ластей выше, то для него выше предельное напряжение сдвига и ниже температуропроводность. Однако по прошествии времени и для чернозема, и для дерново-подзолистой почвы температуропроводность начинает расти, а предельное напряжение сдвига – уменьшаться. Это нельзя объяснить уменьшением числа частиц путем перехода части из них при набухании в гомогенный студень, так как при этом подвижность жидкой фазы и соответственно температуропроводность будут падать. Следовательно, происходит перестройка – изменение наноструктурной организации супраполимерной гумусовой матрицы с объединением микрофазно расслоенных областей.

Таким образом, с позиций микрофазного расслоения супраполимерной гумусовой матрицы и термодинамики поведения полиэлектролитных систем удастся объяснить результаты, полученные при исследовании почв методом малоуглового рассеяния нейтронов. Проводя же совместный анализ с данными по изменению температуропроводности и структурно-механических свойств почв, удастся лучше понять изменения, происходящие с почвами.

### Библиографический список

- Архангельская, Т.А. Температуропроводность серых лесных почв Владимирского ополья / Т.А. Архангельская // Почвоведение. – 2004. – № 3. – С. 332–342.
- Методическое руководство по изучению почвенной структуры / Под ред. И.Б. Ревута; А.А. Роде. – Л.: Колос, 1969. – 528 с.
- Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. – М.: Физматлит, 2008. – 456 с.
- Ребиндер, П.А. О методе погружения конуса для характеристики структурно-механических свойств пластично-вязких тел / П.А. Ребиндер, Н.А. Семенов // Доклады Академии наук, – 1949. – Т. 64. – № 6. – С. 835–838.
- Свергун, Д.И. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние / Д.И. Свергун, Л.А. Фейгин. – М.: Наука, 1986. – 252 с.
- Федотов, Г.Н. Микрофазное расслоение в гумусовых системах / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский, С.А. Шоба и др. // Доклады Академии наук. – 2009. – Т. 429. – № 3. – С. 336–338.
- Федотов, Г.Н. Фрактальные коллоидные структуры в почвах различной зональности / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, В.К. Иванов и др. // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 405. – № 3. – С. 351–354.
- Федотов, Г.Н. Фрактальные структуры коллоидных образований в почвах / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, В.К. Иванов и др. // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 404. – № 5. – С. 638–641.
- Федотов, Г.Н. Влияние температуры на изменение гелевых структур почв / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, Е.И. Пахомов и др. // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 407. – № 6. – С. 782–784.
- Федотов, Г.Н. Влияние влажности на фрактальные свойства почвенных коллоидов / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, Е.И. Пахомов и др. // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 409. – № 2. – С. 199–201.
- Хохлов, А.Р. Восприимчивые гели / А.Р. Хохлов // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 11. – С. 138–142.
- Хохлов, А.Р. Самоорганизация в ион-содержащих полимерных системах / А.Р. Хохлов, Е.Е. Дормидонтова // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167. – № 2. – С. 113–128.
- Шеин, Е.В. Полевые и лабораторные другие методы исследования физических свойств и режимов почв / Е.В. Шеин, Т.А. Архангельская, В.М. Гончаров и др. – М.: МГУ, 2001. – 200 с.
- Шеффер, Д. Структура случайных силикатов: полимеры, коллоиды и пористые твердые тела / Д. Шеффер, К. Кефер // Фракталы в физике. – М.: Мир, 1988. – С. 62–71.
- Diallo M.S., Glinka C.J., Goddard W.A., Johnson J.H., 2005. Characterization of nanoparticles and colloids in aquatic systems 1. Small angle neutron scattering investigations of Suwannee river fulvic acid aggregates in aqueous solutions. *Journal of Nanoparticle Research* 7, pp. 435-448.
- Цстерберг Р., Mortensen К. 1992. Fractal dimension of humic acids. A small angle neutron scattering study. *European Biophysics Journal* 21(3): pp. 163-167.
- Piccolo A. The Supramolecular Structure of Humic Substances. *Soil Science*. 2001. 166(11). pp. 810-832.
- Rizzi F.R., Stoll S., Senesi N., Buffle J. A Transmission Electron Microscopy Study of the Fractal Properties and Aggregation Processes of Humic Acids *Soil Science*: November 2004. Volume 169. Issue 11, pp. 765-775.
- Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2006, 169, pp. 145-156.
- Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal dimension of humic acids in aqueous suspension as a function of pH and time. *Soil Science Society of America journal* 1996, vol. 60, n6, pp. 1613-1678.
- Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal humic acids in aqueous suspensions at various concentrations, ionic strengths, and pH values. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. Volume 127, Issues 1-3, (2 July 1997), Pages 57-68.
- Sutton R, Sposito G. Molecular structure in soil humic substances: The new view. *Environmental Science and Technology*. 2005. 39, pp. 9009-9015.
- Wilson M.A., Tran N.H., Milev A.S., Kannangara G.S.K., Volk H., Lu G.Q.M. Nanomaterials in soils. *Geoderma*, 2008. 146, pp. 291-302.

## НАПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗА РУБЕЖОМ: ОТ БРИСБЕНА ДО СЕУЛА

В.С. ШАЛАЕВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук*

*shalaev@mgul.ac.ru*

**Н**аиболее авторитетная организация в мировом лесном научном сообществе – Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), организованный в 1892 г. и объединяющий в настоящее время более 15 тыс. ученых из 700 организаций и учреждений 115 стран.

На XXII Мировом конгрессе ИЮФРО в Брисбене (Австралия) были презентованы результаты анкетирования-опроса среди организаций-членов и функционеров этой организации. Ответы в процентном отношении распределились по регионам следующим образом: Европа – 49,4; Северная Америка – 18,5; Латинская Америка – 8,3; Африка – 1,2; Азия – 18,4; Западно-Тихоокеанский регион – 4,2. Содержательная часть ответов позволила сформулировать основные направления исследований, которые превалировали в мировом лесном сообществе 10 лет до Конгресса. Это **загрязнение атмосферы; биоразнообразие; усыхание лесов; лесные процессы (техника и технологии); генетика; устойчивое ведение лесного хозяйства и сертификация; качество древесины**. При этом необходимо отметить определенные изменения за прошедший период, и в настоящее время направления лесных исследований выглядят следующим образом. Это **агролесоводство; изменения климата; углеродный баланс (связывание углерода); лесовосстановление; плантационное лесное хозяйство; политика и государственное управление; комплексное использование древесины и недревесных ресурсов и полезностей; потребление древесины**. Совокупность ответов позволила также сформулировать будущие исследовательские приоритеты, перспективные направления лесных исследований. Это **адаптация лесов к изменениям климата; биотехнологии; леса и ландшафт (их восстановление); леса и вода; генетически модифицированные объекты; снижение ущерба от лесозаготовок; рекреация и**

**оценка недревесных ресурсов и полезностей; социальные аспекты (включая пол, условия работы в лесу, коммуникации).**

Вместе с тем оценки ИЮФРО 2009 г. обозначают ряд тем будущих исследований, которые следует рассматривать как развитие и дополнение предшествующих выводов. Это **рост глобального спроса на древесину и недревесные товары и услуги; энергия из биотоплива; воздействия изменения климата; конкуренция за землю и способы остановки обезлесения; роль генетически измененных деревьев и плантационное лесное хозяйство; инвазия чужеродных вредителей и патогенов; сохранение биоразнообразия; социальные и поведенческие процессы; воздействие глобальных экономических изменений на местную экономику и обеспечение средств к существованию.**

Определенную информацию представляет анализ ответов по отраслям наук, взаимодействие с которыми представляет результативный интерес. Среди основных партнеров по отраслям наук выделяются экосистемные исследования; экология; генетика; моделирование; политические науки; почвоведение; древесиноведение. В перспективе предполагаются определенные изменения и среди партнеров-отраслей наук, среди которых выделяются: агролесоводство; биотехнологии; экономические науки; экология; науки о жизни; микробиология; социальные и политические науки.

Несомненна очевидность эволюционной переориентации основных направлений лесных исследований с технических на экологические проблемы. Определенно усиливаются социальные направления. Очевидно, эти тенденции могут быть объяснены глобализацией проблем, возникающих перед человечеством. Лесные исследования, исследования проблем леса, который является одним из основных составляющих глобальной системы жизнеобеспечения, естественно, от-



ражают решения возникающих в мире вызовов. И если на момент самого исследования (анкетирования) это не выглядело достаточно актуально, то динамика последних лет убедительно подтверждает сделанные выводы и прогнозы.

Интересны в этом случае тенденции исследований, заложенные в начавшейся в 2007 г. семилетней Седьмой рамочной программе Европейского Союза FP7 с весьма существенным объемом финансирования. Подобные программы работают в Евросоюзе с 1984 г., такая форма проведения совместных исследований была предложена Европейской комиссией, принята Советом и Европейским Парламентом в результате общего голосования.

Совместные научные исследования FP7 основаны на нижеприведенном диапазоне научно-исследовательских тематических направлений. Это здравоохранение; продукты питания, сельское хозяйство и биотехнология; информационные и коммуникационные технологии; нанонауки, нанотехнологии; материалы и новые производственные технологии; энергия; окружающая среда (включая изменения климата); транспорт (включая космонавтику); социально-экономические и гуманитарные науки; безопасность и космос.

Основной особенностью этой Европейской программы является структурная организация тематических приоритетов в технологические платформы. Термин «технологические платформы» был предложен Еврокомиссией еще в 2004 г. для обозначения тематических направлений, в рамках которых были сформулированы приоритеты развития Евросоюза. А главной особенностью европейских технологических платформ можно считать их формирование как результат потребностей потребителя. Т.е. это фактически заказ на проведение научно-технологических работ для достижения целей и стратегии устойчивого и ресурсно возобновляемого современного общества.

В том же 2004 г. началась работа по созданию Лесной технологической платформы (Forest-based sector Technology Platform – FTP), которая нацелена на объединение представителей всех отраслей лесного комп-

лекса Евросоюза и научно-исследовательского сообщества европейских университетов и исследовательских центров. В рамках работы FTP были сформулированы основные направления исследований – Strategic Research Agenda, представленные в соответствующей схеме и классифицированные:

а) по пяти стратегическим целям (задачам): создание инновационной продукции для изменяющегося рынка и нужд потребителей; создание и развитие наукоемких и эффективных производственных процессов, основанных на снижении затрат сырья и энергии; увеличение возможности и целесообразности использования древесной биомассы для производства продукции и выработки энергии; удовлетворение многофункционального растущего спроса на лесные ресурсы и устойчивое управление лесным хозяйством; социальные аспекты и перспективы в лесном секторе;

б) по шести звеньям (отраслям) лесной технологической платформы: лесное хозяйство; производство древесины; целлюлозно-бумажное производство; биоэнергетика; специализированные высокотехнологические производства.

В России под руководством академика РАН А.С. Исаева также сформирована Национальная лесная технологическая платформа по принципу и подобию европейской. Она имеет аналогичную структуру.

Из 29 технологических платформ, функционирующих в рамках FP7, возможно привести те из них, которые наиболее связаны с Лесной технологической платформой. Это насаждения для будущего; устойчивое развитие химического производства; поддержание здоровья животного мира; продукты питания для будущего; водообеспечение и очистка воды; альтернативная энергетика (без парниковых газов); развитие биоэнергетики.

Таким образом, сформулированные мировым лесным научным сообществом (ИЮФРО) направления в большей степени фундаментальной науки, а Евросоюзом – направления, более ориентированные на потребителя, следует учитывать при планировании отечественных лесных исследований, особенно во все значительнее развивающемся

процессе интеграции российской науки в мировое научное пространство.

В августе 2010 г. в Сеуле (Республика Корея) проходил XXIII Мировой Конгресс ИЮФРО – знаковое событие в сфере мировой лесной науки. Конгресс проводился под лозунгом: «Леса для будущего: Устойчивое общество и окружающая среда». В работе Конгресса приняли участие 2675 зарегистрировавшихся участников из 92 стран мира. Содержательная работа Конгресса, весьма коррелированная с предшествующим прогнозом, проводилась по девяти научным направлениям: леса и изменения климата; сохранение биоразнообразия и устойчивое использование лесных ресурсов; услуги лесных экосистем; азиатские леса для будущего; лесная продукция и производственные процессы для «зеленого» будущего; безопасные технологии в лесном секторе; направления исследования здоровья деревьев и леса; леса, сообщества и культура; леса, здоровье человечества и охрана окружающей среды.

Решения Конгресса (перевод с английского П.А.Петрушкова), в частности итоговая резолюция (приложение 1) и Стратегия ИЮФРО на 2010-2014 гг. (приложение 2), в первую очередь направлены на глобальные проблемы, стоящие перед человечеством. При этом необходимо отметить, что в соответствии с принятыми документами цели будущих исследований ориентированы в шести тематических направлениях: **леса для людей; изменения климата и лесное хозяйство; сохранение лесного биоразнообразия;**

**биоэнергия; взаимодействие лесов и воды; лесные ресурсы для будущего.**

В заключение хотелось бы процитировать слова из доклада ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций) за 2009 год: «...научные исследования продолжают открывать новые пути во всех сферах лесного сектора: от производства, ведения лесозаготовок и обработки до энергетики на основе древесного сырья и предоставления экологических услуг. Прогрессу в этих областях способствует развитие сравнительно новых отраслей наук, таких как биотехнология, нанотехнология и информационно-коммуникационные технологии. Для преодоления дисбаланса и дефицита в сфере научно-технического потенциала необходимы дальнейшие согласованные усилия. В число основных задач входит устранение препятствий к потоку технологий между странами и внутри стран, повышение приоритета социальных и экологических вопросов, а также преодоление традиционных отраслевых границ с целью извлечения максимальной выгоды из научно-технических инноваций вне лесного сектора».

#### Библиографический список

1. Материалы презентации доктора Питера Майера на XXII Всемирном Конгрессе ИЮФРО, 8-13 августа 2005 г., Брисбен, Австралия.
2. <http://www.cordis.lu/focus>.
3. <http://www.forestplatform.org>.
4. Состояние лесов мира. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Рим, 2009, – 196 с.

XXIII Мировой Конгресс ИЮФРО  
23–28 августа 2010, Сеул, Республика Корея

### СЕУЛЬСКАЯ РЕЗОЛЮЦИЯ

XXIII Мировой Конгресс ИЮФРО «Леса для будущего: Устойчивое общество и окружающая среда» стал уникальным форумом для представления и обсуждения результатов текущих всемирных исследований в области лесов и деревьев. На Конгрессе был затронут широкий круг текущих и непредвиденных вопросов, имеющих огромную важность для будущего лесов и их способности содействовать природоохранному, экономическому, социальному, культурному благополучию и здоровью сельских и городских жителей во всем мире.

В течение исторического *Международного года биоразнообразия* и в ожидании *Международного года лесов*, с полным осознанием жизненно важной роли, которую лесная наука играет в решении современных глобальных проблем, ИЮФРО ставит своей задачей сосредоточение на научных исследованиях и международном сотрудничестве в шести тематических областях: леса для людей; изменения климата и лесное хозяйство; биоэнергия; сохранение лесного биоразнообразия; взаимодействие лесов и воды; лесные ресурсы для будущего.

ИЮФРО берет на себя обязательство достичь следующих целей:

- улучшение связей в рамках структуры ИЮФРО между учеными, студентами, специалистами лесного дела и общественностью; а также повышение степени доступности результатов исследований;
- расширение и углубление работы ИЮФРО в области взаимодействия науки и политики путем увеличения вклада науки в международные процессы, соглашения и организации; оперативное реагирование на новые политические проблемы; расширение партнерства и сотрудничества с международными организациями и процессами посредством предоставления научной информации и политических предложений;
- стимулирование входящих в состав ИЮФРО организаций к развитию и обновлению деятельности по лесному мониторингу и поддержанию глобального процесса мониторинга;
- улучшение способности ИЮФРО к расширению членства и финансовой базы для обеспечения полной поддержки всего спектра деятельности ИЮФРО с пользой для ученых, работающих в лесной сфере из организаций-членов ИЮФРО;
- продвижение высококачественных исследований, относящихся к лесному сектору, и расширение возможностей ИЮФРО в междисциплинарном сотрудничестве; приведение всей деятельности ИЮФРО в соответствие с шестью тематическими областями исследований; расширение членской базы ИЮФРО; идентификация возникающих проблем и меняющихся парадигм мышления.

**СТРАТЕГИЯ ИЮФРО НА 2010-2014 годы**  
**«Читая пульс развития лесной науки в интересах лесов и человека»**

**Основные положения**

ИЮФРО – это глобальная сеть сотрудничества в области лесной науки. Это единственная международная организация, занимающаяся лесными исследованиями и связанными с ними науками; членство в союзе уникально тем, что оно объединяет научно-исследовательские организации, университеты и отдельных ученых, а также руководящие органы и другие стороны, заинтересованные в лесах и деревьях, и сосредоточенные на их изучении.

Миссия ИЮФРО – продвижение всемирного сотрудничества в лесных исследованиях и углубление понимания экологических, экономических и социальных аспектов пользования лесом; а также распространение научного знания среди руководящих органов и других заинтересованных сторон и вклад в политику лесопользования.

Согласно Стратегии на 2010–2014 гг., ИЮФРО стремится достичь как исследовательских, так и институциональных целей. Исследовательские цели сосредоточены в первую очередь на следующих шести постоянно расширяющихся тематических областях: 1 – Лес для людей; 2 – Изменение климата; 3 – Сохранение лесного биоразнообразия; 4 – Биоэнергия; 5 – Взаимодействие леса и воды; и 6 – Ресурсы для будущего.

Три институциональных цели, адаптированные из предыдущей Стратегии, отражают стремление ИЮФРО к науке высших достижений и междисциплинарному сотрудничеству для повышения уровня доступности научных результатов и способности реагировать на новые непредвиденные задачи:

Цель 1: Развитие исследований и способности ИЮФРО к междисциплинарному сотрудничеству;

Цель 2: Усиление координации научного сообщества и повышение уровня доступности научных результатов;

Цель 3: Дальнейшее развитие деятельности ИЮФРО в совершенствовании взаимодействия науки и политики.

Достижение как исследовательских, так и институциональных целей должно помочь ИЮФРО и его членам успешно реагировать на изменения парадигм мышления, связанных с лесом и лесной наукой, и позиционировать себя в полной мере как международную сеть научного лесного сотрудничества.

**Введение**

Леса воспринимаются по-разному, соответственно, и отличаются ожидания. Изменения в научном и политическом содержании вокруг деятельности ИЮФРО вызывают необходимость пересматривать текущие стратегические приоритеты организации. Настоящая Стратегия ИЮФРО на 2010–2014 гг. является результатом двухлетнего совместного процесса оценки прошлых достижений и определения будущей направленности ИЮФРО. Основа была задана анализом сильных и слабых сторон ИЮФРО, исследованием в 2008 году преимуществ организации и сводным документом о возникающих проблемах.

В январе 2008 года пять независимых экспертов (Ян Хейно (Председатель Наблюдательной комиссии, Финляндия), Энн М. Бартуска (США), Джон Р.С. Кабоггоза (Уганда), Сирон Лю (Китай) и Герхард Маннсбергер (Австрия)) были приглашены для создания Наблюдательной комиссии, предназначенной для оценки научной структуры ИЮФРО, определения тематических проблем и возможностей, а также обеспечения будущего совершенствования ИЮФРО для лучшего выполнения своей миссии.

сии. Наблюдательная комиссия собиралась в Вене в ноябре 2008 года и феврале 2009 года, проводила дополнительные консультации по электронной почте.

В своем заключительном отчете в октябре 2009 года Наблюдательная комиссия подтвердила актуальность трех основных стратегических целей и необходимость усилий для их достижения. Они определены как институциональные цели: 1 – Развитие исследований в интересах лесов и людей; 2 – Расширение стратегического партнерства и сотрудничества; и 3 – Укрепление связей и обмена информацией внутри научного сообщества, а также со студентами, политическими деятелями и общественностью в целом. Для улучшения взаимодействия научного и политического сообществ в широком смысле Наблюдательная комиссия предложила сделать ИЮФРО более тематически ориентированным и предложила четыре ключевых направления. В то же время была подчеркнута необходимость увеличения возможностей для более гибкого и действенного решения возникающих задач лесных исследований. Наконец, Наблюдательная комиссия предложила четкую рекомендацию значительно расширить междисциплинарное и межсекторальное сотрудничество исследовательских подразделений ИЮФРО и продолжить высококачественное научное обеспечение международных процессов в области лесной политики. Более решительная ориентация на тематические приоритеты отражена в представленных исследовательских целях.

В соответствии с рекомендациями Наблюдательной комиссии Стратегия 2010–2014 гг. состоит из двух частей, а именно, части I: Исследовательские цели, ориентированные на шесть тематических областей, и части II: Институциональные цели, описывающие стратегическую линию ИЮФРО на ближайшие годы и обозначающие соответствующие действия по ее осуществлению.

**ПЕРСПЕКТИВА.** Международная сеть связанных с лесом исследований, созданная для обеспечения нужд всех лесных исследователей и лиц, принимающих решения.

**МИССИЯ.** ИЮФРО способствует международному сотрудничеству связанных с лесом исследований и совершенствует понимание экологических, экономических и социальных аспектов в отношении лесов и деревьев, включая древесные и недревесные продукты, товары и услуги. Он распространяет научные знания среди заинтересованных сторон и руководящих органов и вносит вклад в лесную политику и управление лесами на местах.

## ЧАСТЬ I: ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЦЕЛИ

Лесная наука, как и многие другие науки, в последние годы столкнулась со многими важными проблемами. Исследования стали более сложными и многие проблемы воздействия на леса не могут быть решены исключительно лесным сектором науки. Взаимосвязанные и возникающие ключевые проблемы представляют особый интерес для руководящих органов и групп, как внутри, так и вне лесного сектора. Все это имеет прямое отношение к лесной науке и ИЮФРО в ближайшие годы, в основном при глобальном сотрудничестве.

ИЮФРО является единственной международной организацией мирового масштаба, занимающейся лесной наукой и связанными с ней отраслями. Для достижения успеха ИЮФРО необходимо эффективно и научно обоснованно отвечать на изменения парадигм мышления научного сообщества в отношении лесов, лесной науки и лесной политики. Многие вопросы глобального значения, такие как изменения климата, проблемы биоразнообразия, биоэнергии и доступности воды, представляют особый интерес для руководящих органов и заинтересованных групп, не входящих в лесной сектор.

В ближайшие четыре года ИЮФРО займется вопросом четкой ориентации работы своей научной сети и более строго структурирует рабочие подразделения вокруг следующих тематических областей: леса для людей; изменение климата; сохранение лесного биоразнообразия; биоэнергия; взаимодействие леса и воды и ресурсы для будущего. Эти ключевые тематические области должны служить руководством для дальнейших исследований, в том числе междисциплинарных. Особое внимание будет уделено полноценному определению их экологических, социальных и экономических аспектов. В каждой тематической области были определены некоторые сферы особого интереса, которые предоставляют определенные точки входа для исследовательских подразделений ИЮФРО. Обоснованность сфер особого интереса будет регулярно оцениваться и приспосабливаться к новым возникающим вопросам в непрерывном диалоге между лидерами научных кругов и руководящих органов.

## **Тематическая область 1: Леса для людей**

Лес и люди во многом взаимосвязаны: для огромного количества людей лес играет жизненно важную роль для защиты их жизнедеятельности, обеспечения пищей и топливом. В городских условиях, с появлением всемирного тренда в росте числа метрополий, поддержание этих лесов (частично находящихся под угрозой уничтожения), их размер и структура играют основополагающую роль в качестве жизни, местном климате и других положительных факторах локальной окружающей среды. Значение лесов для человеческого здоровья и благополучия высоко, и его можно измерить. Использование лесов для получения древесной и недревесной продукции, товаров и услуг, туризма (экотуризм, природный туризм, природоохранное образование) предоставляет новые возможности для формирования местных доходов посредством рыночных инструментов и/или снижения уровня бедности по всему миру.

### **Сферы особого интереса:**

- Агролесоводство, обеспеченность пищей и средствами к существованию (включая древесное топливо);
- Здоровье лесов и человека, отдых и природный туризм;
- Экономические выгоды при использовании леса, товаров и услуг;
- Роль лесов в образовании природных ландшафтов и в городских зонах.

## **Тематическая область 2: Изменение климата и лесное хозяйство**

Потенциально леса играют важную роль в смягчении изменений климата. Они содержат большую часть углерода, хранящегося в земных экосистемах. В то же время изменения климата оказали и продолжают оказывать влияние на леса и зависящих от лесов людей, а именно: влияние на здоровье лесов, изменения физиологии деревьев, массовое появление насекомых, биоразнообразие лесов, цикл повышения и нарушения продуктивности, а также социоэкономические факторы и уязвимые места. Адаптация лесов к изменениям климата требует изменения парадигмы мышления – от управления, основанного на прошлых состояниях, к управлению, основанному на неопределенностях и устойчивом предоставлении средств к существованию, включая развитие более адаптивных и гибких систем лесоводства и лесного хозяйства и биологических концепций, таких как устойчивость леса. Основная роль лесных исследований заключается в гарантии того, что стратегии адаптации и смягчения изменений климата должны быть научно обоснованы и не повлекут за собой непредвиденной реакции, социального неравенства или несправедливости. Среди других сфер влияния исследований: развитие международного механизма сокращения эмиссии из-за исчезновения и деградации лесов (REDD-plus), запаса CO<sub>2</sub> в лесах и древесной продукции, понимание (не связанных с углекислым газом) влияний природных бедствий и лесоправления, так же как правительственные и институциональные соглашения.

### **Сферы особого интереса:**

- Влияние изменений климата на лесные экосистемы (включая насекомых и болезни) и зависящих от леса людей;
- Обратная связь между динамикой земного покрова, лесных природных бедствий и изменениями климата (напр. выбросы аэрозоля, изменения структуры альбедо);
- Возможности адаптации и обмена между адаптацией, сохранением и/или социокультурными потребностями;
- Сокращение эмиссии из-за исчезновения и деградации лесов (REDD), и другие возможности уменьшения количества углерода, включая правительственные и институциональные договоренности.

## **Тематическая область 3: Биоэнергия**

Интерес к использованию древесины и других видов биомассы для получения биоэнергии, биологического топлива и биопродуктов, а также к анализу их жизненного цикла, постоянно растет. Это также способствует появлению конкуренции за волокна с традиционным использованием лесных продуктов и развитию более эффективного использования насаждений с вовлечением технологии разделения и распределения, основанной на требованиях потребителя. Более того, необходимо понять тен-

денции в лесном хозяйстве быстрорастущих насаждений по отношению к другим важным функциям лесов, таким как секвестр углерода, охрана качества воды, предотвращение эрозии почв, рекреация и ареалы обитания видов, находящихся под угрозой уничтожения.

Сферы особого интереса:

- Конкуренция между типами ресурсов (биоэнергия, волокна, традиционная лесопродукция) и аспекты использования, включающие в себя влияние на окружающую среду и социальные последствия;
- Экологическая эффективность систем и технологий, производящих лесную биоэнергию;
- Продвижение биоэнергии на рынок и экономические последствия.

### **Тематическая область 4: Сохранение лесного биоразнообразия**

Леса являются биологически разнообразными системами, предоставляющими различные ареалы обитания для растений, животных и микроорганизмов. Лесное биоразнообразие взаимосвязано с социоэкономическими факторами, предоставлением товаров и услуг, от древесной и недревесной продукции до смягчения изменений климата и генетических ресурсов. Однако, лесное биоразнообразие находится под угрозой в результате обезлесения, фрагментации, инвазивных биологических видов и меняющихся схем землепользования. Взаимоотношение между биоразнообразием и реакцией на природные бедствия стало основанием для адаптации популяций, видов, сообществ и экосистем к изменениям окружающей среды на протяжении всей геологической истории, и составило основу для большей части лесопромышленного и природоохранного планирования. В будущем важную роль будут играть различные формы и модели охраняемых территорий и адаптированного лесопромышленного управления.

Сферы особого интереса:

- Влияние и последствия потери биоразнообразия на разных уровнях, включая генетические ресурсы;
- Стратегии сохранения биоразнообразия ландшафтного масштаба (включая фрагментацию, конфликты при использовании земель, роль насаждений в сохранении биоразнообразия и т.д.);
- Услуги по сохранению биологического разнообразия лесных экосистем, устойчивость лесных экосистем и адаптированное к защищаемым территориям лесопромышленное управление.

### **Тематическая область 5: Взаимодействие леса и воды**

Леса и лесной покров играют ключевую роль в поддержании доступности и качества воды, что критично для благополучия человека. Связи между водой, заболоченными участками леса демонстрируют важность управления экосистемами во всей их сложности для защиты связанных с ними жизненно важными аспектами. Однако существует острая необходимость еще более полного понимания взаимодействия между лесами, деревьями и водой – включая такие вопросы, как водопотребление растущими насаждениями по сравнению с другими направлениями землепользования; влияние биоэнергетических схем на водосборах – для увеличения информированности и повышения производительности в области лесной гидрологии. Необходимо развитие основы оценки общей прибыли и затрат схем лесного хозяйства по отношению к запасам древесины, биоразнообразию, влиянию на общество и окружающую среду. Необходимо также принять во внимание правительственные и институциональные соглашения.

Сферы особого интереса:

- Последствия землепользования и изменения земного покрова на гидрологию водоразделов;
- Взаимодействия леса и воды в условиях изменения климата и варианты реагирования;
- Регионально-специфичные взаимодействия лесов и воды (включая водопотребление лесонасаждениями, эрозию).

### **Тематическая область 6: Ресурсы для будущего**

Устойчивое лесопромышленное управление и защита лесов (включая деградацию и восстановление лесных ландшафтов) останется основной темой исследований лесного сообщества в будущем. Понимание роли насекомых и возбудителей болезней важно в этом отношении. Инновации в области лесной продукции,

товаров и услуг вместе с устойчивой и ответственной деятельностью будут играть важную роль в будущем лесопромышленности. Ключевую роль для будущего играет развитие новых технологий обработки и продукции, приемлемой в природоохранном, социальном и политическом аспектах. Необходимо принять, осознать и адекватно оценить преимущества и ценность недревесной продукции для большей части населения Земли. Помимо этого, изменения в управлении и понимание структуры управления в отношении различных социокультурных аспектов будет играть важную роль в будущем для устойчивого управления и использования лесов. Это включает в себя гибкость социальных структур в отношении экологических и экономических изменений (напр. в результате изменений климата).

Сферы особого интереса:

- Тенденции спроса на инновационную лесную продукцию, товары и услуги экосистем и требования в случае возникновения конфликтов;
- Варианты управления (включая сохранение, уменьшение деградации, концепции восстановления);
- Глобализация и изменения в системе управления.

## ЧАСТЬ II: ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕЛИ

ИЮФРО – это уникальная международная сеть ученых и институтов, изучающих леса и деревья. С помощью этой независимой и признанной сети ИЮФРО имеет возможность продвигать международное и всестороннее научное сотрудничество с пользой для лесов и людей. С этой целью ИЮФРО должен в дальнейшем гарантировать, усиливать и укреплять свою способность к предоставлению уникальной отправной точки для обеспечения научного сотрудничества высокого качества. Также ИЮФРО должен оставаться сильным партнером процесса Международного партнерства по лесам и других международных политических инициатив и служить основной контактной точкой в отношении новых возникающих проблем и вопросов в лесной науке.

Три нижеперечисленных институциональных цели были адаптированы из предыдущей Стратегии к современным нуждам дальнейшего стимулирования научного сотрудничества высокого качества и междисциплинарного сотрудничества в шести ключевых тематических областях, с развитием коммуникаций и доступности научных результатов, разработки взаимодействия науки и политики и увеличения способности своевременного реагирования на новые непредвиденные проблемы.

### **Цель 1: Усиление исследований и расширение возможности ИЮФРО к междисциплинарному сотрудничеству**

Наиболее важный аспект работы ИЮФРО – гарантия высокого качества научных исследований. Текущая сеть и структура отделений, исследовательских и рабочих групп и специальных комиссий составляют научный каркас для обработки результатов исследований и информирования заинтересованной общественности. В свете меняющихся приоритетов исследований сотрудничество секторов и дисциплин лесного хозяйства и связанных наук становится все более важным и должно продвигаться исследовательскими подразделениями ИЮФРО.

Задачи:

#### **Продвижение исследований высокого качества в лесной области и увеличение научных возможностей**

Необходимые действия:

– Проведение регулярной оценки уровня активности подразделений ИЮФРО на основе согласованных стандартов и процедур; обеспечение обратной связи подразделений для обсуждения приемлемых действий;

– Тренировка специалистов в развивающихся странах посредством Специальной программы для развивающихся стран (Special Programme for Developing Countries (SPDC)) и способствование их участию во встречах и деятельности ИЮФРО;

– Дальнейшее стремление к достижению баланса в лесных исследованиях путем продвижения комплексного гендерного подхода, молодых талантов и культурно-этнического разнообразия, в частности при решениях по назначению должностных лиц;



- Сотрудничество в рамках ИЮФРО с использованием национальных и международных фондов и конкурсов;
- Обмен знаниями и технологиями между подразделениями ИЮФРО и поощрение обмена опытом и сотрудничества ученых.

**Приведение всей деятельности ИЮФРО в соответствие с шестью тематическими областями исследования**

Необходимые действия:

- Определение и принятие деятельности исследовательских центров и подразделений ИЮФРО в соответствии с одной или несколькими из шести тематических областей с особым вниманием на каждую отдельную тематическую область;
- Проведение между мировыми конгрессами периодических региональных конгрессов ИЮФРО, касающихся шести тематических областей;
- Проведение ежегодных встреч внутри каждого отделения, посвященных тематическим областям и с учетом перспектив мировой науки;
- Регулярное предоставление подразделениями ИЮФРО информации по их работе в шести тематических областях.

**Укрепление междисциплинарного сотрудничества и расширение членской базы ИЮФРО**

Необходимые действия:

- Укрепление научного и междисциплинарного сотрудничества между подразделениями ИЮФРО и содействие научным подразделениям ИЮФРО в развитии междисциплинарного сотрудничества;
- Увеличение вовлеченности ученых, еще не являющихся членами ИЮФРО, в деятельность подразделений ИЮФРО, увеличение вовлеченности подразделений/ученых ИЮФРО в деятельность и встречи других научных организаций, стимулирование совместных действий и встреч;
- Продолжение и дальнейшее развитие сотрудничества с недостаточно представленными в деятельности ИЮФРО регионами. В то же время – поиск новых возможностей по долгосрочному сотрудничеству с этими регионами.

**Определение возникающих проблем и меняющихся парадигм мышления (механизм прогноза)**

Необходимые действия:

- Регулярное определение ключевых вопросов, связанных с учеными и исследовательскими институтами, так же как и с политическими и руководящими органами, исполнителями, заинтересованными сторонами и спонсорами с учетом возникающих проблем и меняющихся парадигм мышления;
- Оценка тематической структуры ИЮФРО для определения подходящих рабочих и/или исследовательских групп или других действий, необходимых для решения ключевых проблем.

**Цель 2: Усиление связи с научным сообществом и повышение уровня доступности научных результатов**

Эффективность и дополнительная ценность сотрудничества с сетью ИЮФРО демонстрирует, что ИЮФРО способствует решению проблем и достижению более широких социальных целей. Во время действия предыдущей стратегии ИЮФРО приняло ряд успешных мер в сотрудничестве со Специальной комиссией по коммуникативности лесной науки, которые необходимо перенести в настоящую Стратегию для усиления коммуникативности и связей в научном сообществе, со студентами, руководящими органами и общественностью в целом.

Репутация ИЮФРО тесно связана с коммуникативностью и маркетинговыми способностями. Необходимо увеличить производительность работы Секретариата для проведения экспертной оценки коммуникативности и улучшения способности сосредотачиваться на внешних и внутренних связях с увеличением ответственности координаторов отделений. Сложность международной, добровольной организации подобной ИЮФРО состоит в проблеме диалога с ИЮФРО как лидера по политическим и научным вопросам.

Задачи:

**Улучшение связи внутри структуры ИЮФРО**

Необходимые действия:

- Периодическая оценка взглядов организаций-членов ИЮФРО и ученых для более четкого понимания их нужд и предпочтений, их восприятия роли ИЮФРО;
- Включения «Коммуникативности» в число стандартных пунктов повестки дня на встречах Совета ИЮФРО;
- Распределение примерно половины рабочего времени координаторов отделений ИЮФРО для задач взаимодействия и политики. Особое внимание должно быть уделено сетевой работе: (1) в рамках вопросов политики отделений, связанных с научной программой, (2) в рамках вопросов политики отделений, касающихся всех отделений и требующих мультидисциплинарного решения и (3) в рамках вопросов политики вне ИЮФРО, связанных с научной программой отделений;
- Более подробное описание организаций-членов ИЮФРО на веб-сайте союза;
- Проведение семинаров, совмещаемых с встречами Совета и Управляющего комитета в сотрудничестве с местной принимающей стороной ИЮФРО.

**Улучшение связи между другими учеными и студентами**

Необходимые действия:

- Улучшение внешней связи, в частности с учеными и студентами, не входящими в ИЮФРО;
- Усиление Секретариата ИЮФРО путем увеличения количества сотрудников, в том числе посредством командировок и стажировок студентов;
- Дальнейшее развитие веб-сайта ИЮФРО и других информационных инструментов с обращением особого внимания на целевую аудиторию, напр. студентов;
- Создание студенческих программ и системы обмена студентами.

**Улучшение связи с общественностью**

Необходимые действия:

- Дальнейшее развитие хорошо сбалансированного набора инструментов и деятельности, связанных с коммуникацией, с целью обращения к различным целевым аудиториям. Предназначенные конкретным аудиториям сообщения должны быть разработаны в соответствии с определенными ключевыми вопросами/возникающими темами;
- Подготовка и распространение политических и научных обобщений для прояснения сложных вопросов и своевременного решения появляющихся проблем лесного хозяйства;
- Поиск возможностей по повышению информированности ИЮФРО и распределение преимуществ организаций-членов ИЮФРО среди глав правительственных агентств и других институтов, связанных с лесной наукой;
- Продвижение или инициирование изучения социальных проблем в широких масштабах.

**Увеличение доступности научных результатов**

Необходимые действия:

- Предоставление услуг и инструментов для эффективного обмена научной информацией, в том числе посредством Глобальной лесной информационной службы (GFIS) и терминологических программ;
- Дальнейшее развитие веб-сайта ИЮФРО и других информационных инструментов, таких как справочники и контактные базы данных для распространения информации;
- Настройка и регулярное обновление персонального контактного справочника всемирной сети ИЮФРО.

**Цель 3: Дальнейшее усиление деятельности ИЮФРО по взаимодействию науки и политики**

Работа по взаимодействию науки и политики необходима для распространения научных знаний ИЮФРО среди руководящих органов. ИЮФРО значительно укрепила свои позиции на международной арене лесной политики за счет деятельности, подобной Специальному проекту по мировым лесам, обществу и окружающей среде (Special Project on World Forests, Society and Environment (IUFRO-WFSE)).

Важнейшим фактором развития ИЮФРО в области лесной политики стало активное вовлечение организации в Международное партнерство по лесам (Collaborative Partnership on Forests (CPF)). ИЮФРО стала сильным партнером и лидером двух инициатив CPF, а именно Международные экспертные комиссии по лесу (Global Forest Expert Panels (GFEP)) и Международная лесная информационная служба (Global Forest Information Service (GFIS)).

Научная структура поддерживает ИЮФРО в ее участии в международных процессах и оказывает необходимое ему доверие для решения вопросов, связанных с лесом. Однако эффективности или своевременности ИЮФРО в решении возникающих вопросов или удовлетворении нужд для научного синтеза с целью проведения политических диалогов будет оказано особое внимание. Помимо этого, деятельность ИЮФРО основана на ограниченной финансовой базе, а добровольная природа сотрудничества устанавливает границы для его деятельности. Для дальнейших переговоров с правительствами и развития партнерских соглашений ИЮФРО с определенными странами, необходимо следовать этой многообещающей модели.

Задачи:

**Дальнейшее увеличение вклада ИЮФРО в международные процессы, конвенции и организации**

Необходимые действия:

- Дальнейшее увеличение вовлечения ИЮФРО в CPF и другие международные политические инициативы, имеющие отношение к деятельности ИЮФРО;
- Подготовка тематических вкладов в работу и обсуждения международных процессов, конвенций и организаций, включая вклады в ключевые издания;
- Дальнейшее руководство и развитие Международных экспертных комиссий по лесу CPF в качестве международного механизма для оценки доступной информации и создания отчетов по важным проблемам, связанным с лесом.

**Своевременное реагирование на новые возникающие политические вопросы**

Необходимые действия:

- Развитие Механизма быстрого реагирования (Rapid Response Mechanism (RRM)) при координации Секретариата и с участием большинства соответствующих подразделений ИЮФРО в качестве динамичного инструмента по решению возникающих проблем в течение шести месяцев;
- Создание электронного архива современных анализов для ответов на вопросы тенденций и проблем лесного сектора.

**Дальнейшее расширение партнерства и сотрудничества ИЮФРО с международными организациями и процессами**

Необходимые действия:

- Увеличение уровня вовлечения заинтересованных сторон в совместную научную деятельность ИЮФРО;
- Расширение участия ИЮФРО в представляющих взаимный интерес инициативах и партнерских программах межправительственных и неправительственных организаций;
- Разработка совместной деятельности с правительственными, межправительственными и неправительственными организациями;
- Проведение дальнейшего развития и осуществления GFIS с использованием обширной сети членов ИЮФРО, предоставляющих информацию и экспертные оценки.

**Усиление возможности ИЮФРО к увеличению финансовой базы**

Необходимые действия:

- Проведение, оценка и дальнейшая развитие Стратегии ИЮФРО по финансированию и мобилизации средств, включая финансирование Секретариата и специальных программ и проектов ИЮФРО, а также реализацию идеи «Друзья ИЮФРО»;
- Поиск возможностей по привлечению определенной группы стран и институтов для необходимой финансовой поддержки Секретариата ИЮФРО.

## ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ЛЕСОСЕКАХ С ПОДРОСТОМ

В.И. ОБЫДЁННИКОВ, *проф. каф. лесоводства и подсоски леса МГУЛ, д-р с.-х. наук*

*caf-lesovod@mgul.ac.ru*

Основное назначение рубок главного пользования (в соответствии с положениями «Лесного кодекса РФ» о рубках спелых и перестойных лесных насаждений) сводится к изучению древесины, поддержанию или улучшению лесовозобновительного процесса, а также решению экологических задач (сохранению и повышению водоохранной, почвозащитной и другой роли леса). Важное лесоводственное значение имеет проблема возобновления леса в связи со сплошными рубками.

С момента возникновения механизированных лесозаготовок последствия, вызываемые ими, были предметом пристального внимания многих исследователей. М.Е. Ткаченко [16] с появлением лесосечных машин в лесу указывал на важность выяснения влияния приемов лесозаготовки на лесорастительные условия и возобновление леса. В начале 20-х годов прошлого столетия он отмечал, что лесная техника должна быть направлена на поддержание естественного возобновления главных пород. В начальный период механизации лесосечных работ воздействия техники на экологические условия и возобновление леса изучали М.Е. Ткаченко [16, 17], В.Д. Ионов (3), И.С. Мелехов (6) и др. Ими установлено, что существенное влияние на почвенный покров и возобновление леса оказывает механизированная трелевка леса. Впервые в мировой науке и практике М.Е. Ткаченко [17] предложил отдельные примеры лесоводственных требований к работе лесозаготовительной техники.

Обстоятельные исследования воздействия тракторной трелевки (трактор КТ-12) в середине XX столетия проведены А.В. Побединским в лесах Карелии, Новгородской, Горьковской (ныне Нижегородской) областей [12]. Им и его учениками (Н.Ф.Петров, В.И.Исаев и др.) предложены лесоводственные требования к организации лесосечных работ [14], которые вошли в официальные документы [4].

Представляет несомненный интерес принцип лесоводственной оценки технологии лесосечных работ, предложенный Н.Ф.Петровым [11] применительно к условиям таежной зоны Сибири. Критериями лесоводственных требований к технологии лесосечных работ при сплошных рубках служат процент сохранности подроста и степени минерализации почвы на лесосеках (табл. 1).

Шкала имеет определенное значение для оценки технологий на лесосеках с подростом, т.к. содержит количественные показатели. Однако приведенные в ней показатели, к сожалению, необоснованны. Шкала получила широкое применение в практике лесного хозяйства при оценке различных технологий лесосечных работ. Ее можно использовать при оценке ряда технологий, которые были применены в 1963 г. в Крестецком леспромпхозе Новгородской области при проведении сплошных рубок. Сохранность подроста ели после сплошных рубок (на базе бензопил и трелевочных тракторов с чокерной оснасткой) составила после разработки лесосек в ельниках по узколеночному методу 75 %, Костромскому 43, Карельскому 63, Тагильскому 58 и Крестецкому 21 % [1, 2]. При сравнении лесоводственной эффективности рубок, проведенных в Крестецком леспромпхозе (по шкале Петрова), узколеночная технология заслуживает хорошей оценки, карельская и тагильская – удовлетворительной, а крестецкая технология – неудовлетворительной оценки. Поэтому узколеночная технология получила широкое распространение в практике рубок в лесном хозяйстве. Видимо, эту шкалу можно использовать и при оценке лесоводственной эффективности и технологий лесосечных работ на базе агрегатной техники. Шкала, предложенная Н.Ф.Петровым, несомненно, имеет определенное значение для оценки технологий на лесосеках с подростом. Однако приведенные в ней показатели, к сожалению, не обоснованы.

**Шкала лесоводственной оценки технологии лесосечных работ (по Н.Ф.Петрову [11])**

Оценка технологии лесосечных работ	Минерализованная поверхность, %	Сохранность подроста, %
Хорошо	Менее 25	Более 65
Удовлетворительно	25–40	65–50
Неудовлетворительно	Более 40	Менее 50

Согласно современным лесохозяйственным регламентациям [4], к работе лесозаготовительных машин на лесосеках предъявляются разные требования. Они зависят от планируемого (целесообразного) способа возобновления леса после рубок (естественного предварительного, естественного последующего и искусственного).

Ныне действующие современные требования к технологическим процессам на лесосеках с подростом оправданно сводятся к показателям его сохранности. Однако величина допустимой сохранности подроста, размеры пазов и ширина волоков, на наш взгляд, до сих пор не нашли научного обоснования. Величина этих показателей часто принята по технологическим, хозяйственным и иным конъюнктурным соображениям. Так, при сплошных рубках для традиционной лесозаготовительной техники (валка леса осуществляется бензопилами, а трелевка – тракторами с тросовой оснасткой) допускается одна площадь пазов с сохраненным подростом (75 %), а для агрегатной техники – другая (65 %) [4]. Это, по всей видимости, связано с разной технической возможностью таких машин обеспечивать сохранность подроста в процессе рубки. Минимально допустимую сохранность подроста хозяйственно ценных пород необходимо устанавливать для одного и того же участка одинаковой, независимо от технологий лесосечных работ, применяемой техники и сезона лесозаготовок. В тех же рекомендациях для горных условий на крутых склонах принята меньшая сохранность подроста, чем на пологих. Здесь явно просматривается технологический аспект требований. Так, чем круче склон, тем меньшая возможность сохранить подрост при использовании на рубках машин. Но при прочих равных условиях водоохранная и почвозащитная роль леса на более крутых склонах важнее. К рассматриваемым требованиям [4] имеются

и другие замечания. Следовательно, до сих пор не разработаны научно обоснованные критерии оценки лесоводственных аспектов работы лесозаготовительной техники на лесосеках с подростом. Обычно они приняты не на природной, а на конъюнктурной основе (хозяйственной, технологической и др.). Поэтому продолжение исследований по этому вопросу сохраняет актуальность.

Результаты наших исследований последствий рубок и работы лесозаготовительной техники в ряде регионов страны [8, 9] позволили предложить методический подход к лесоводственно-экологической оценке технологических процессов [10]. Он основан на системном подходе, теоретических положениях лесной биогеоценологии [15], динамической типологии леса и технологии вырубок [7].

Оценка лесоводственной эффективности работы лесозаготовительных машин и технологии на сплошных рубках должна исходить из сравнения реального характера воздействия их на лес, а также последствий их применения, с допустимыми воздействиями в соответствии с лесоводственными требованиями. Ее целесообразно формализовать по структурно-параметрическим изменениям лесной экосистемы, вызванной работой лесосечных машин и, прежде всего, на входе в момент рубки и на выходе ее в период образования типа вырубки, смыкания молодняка или на последующих этапах формирования леса. Особое значение для установления критериев рассматриваемой оценки имеют входные показатели, существенно влияющие на выходе экосистем. Нашими исследованиями, проведенными в различных условиях [8, 9], установлено, что существенное влияние на образование типов вырубок и возобновление леса, то есть на выход экосистемы, оказывают, прежде всего, такие показатели, как сохранность подроста, степень минерализации поверхности почвы и плотность ее верхних горизонтов.

В соответствии с ныне действующими рекомендациями [4], нормативы лесоводственных требований дифференцируются по способам возобновления после рубки. Поэтому означенные причинно-следственные связи при оценке работы техники с разными способами возобновления – естественным предварительным, естественным последующим и искусственным, используются по-разному. Так, лесоводственно-экологические требования к работе лесозаготовительных машин на лесосеках с подростом в основном касаются его сохранности, а на лесосеках без подростка они связаны с изменениями лесорастительных условий, формированием потенциальных типов вырубок. В последних (на лесосеках без подростка) требования к работе техники могут быть неодинаковыми, так как они зависят от способа лесовозобновления после рубки – естественного последующего или искусственного, обусловленного возникновением благоприятных или неблагоприятных условий для самосева и подростка последующей генерации.

Принципиальная сторона рассматриваемого методического подхода состоит в том, что при оценке лесоводственной эффективности работы техники на сплошных рубках используется показатель встречаемости подростка\*. Этот показатель объективно отражает особенности мозаичности растительного покрова и прежде всего контагиозный или неравномерный характер распределения подростка по площади до и после рубки. Выбор нами величины встречаемости подростка в качестве одного из важнейших критериев лесоводственно-экологических требований к работе насаждения с подростом основан на том, что встречаемость является надежным показателем оценки естественного возобновления леса [5, 16], позволяющим прогнозировать состав и продуктивность будущих древостоев [5].

Остальные признаки подростка – густота, благонадежность, конкурентоспособность и другие – следует отнести в разряд ограничений.

Допустимую сохранность подростка предлагается устанавливать по соотношению встречаемости подростка под пологом леса до рубки и встречаемости сохраненного подростка,

та, в соответствии с которой возобновление леса оценивается как удовлетворительное. Такие показатели встречаемости после рубки нами названы «необходимыми». Они взяты в качестве отправной точки для расчета допустимой сохранности подростка, а также «достаточной», для этого встречаемости его до рубки под пологом леса. Например, по оценочной шкале А.Н. Мартынова [5], возобновление главной породы считается удовлетворительным (т.е. «необходимым») при встречаемости подростка не менее 50 % (для ельников южной тайги европейской части России). Рассмотрим три варианта встречаемости подростка под пологом леса, до рубки (т.е. «достаточной»): I вариант – 85 %; II – 75 % и III вариант – 65 %.

Определим допустимую сохранность подростка при разной встречаемости его до рубки по формуле

$$X = Y / Z \cdot 100 \%,$$

где  $X$  – сохранность подростка, %;

$Y$  – «необходимая» встречаемость подростка после рубки, %;

$Z$  – «допустимая» встречаемость подростка до рубки, %

Встречаемость подростка определяется как отношение в процентах числа учетных площадок с подростом к общему числу заложённых площадок.

Допустимая сохранность подростка ( $X$ ) при встречаемости подростка до рубки ( $Z$ ) 85 % (I вариант) составила 56,6 %, при встречаемости 75 % (II вариант) – 66,7 % и при встречаемости подростка под пологом древостоя 65 % – 76,8 %. Следовательно, чем выше встречаемость подростка под пологом леса до рубки, тем ниже оказывается допустимая сохранность подростка.

Сведения о «необходимой» встречаемости подростка главных пород (после рубки) имеются и для ряда других регионов страны. В частности, А.В. Побединский [13] естественное возобновление сосны для таежной зоны Сибири оценивает как хорошее при встречаемости подростка 60 % и выше. Для ельников зоны смешанных (хвойно-широколиственных) лесов европейской части России «необходимая» встречаемость подростка ели А.С. Тихоновым [16] принята 41 % и более.

**Допустимая сохранность подроста при «достаточной» встречаемости его до рубки леса (на примере отдельных регионов России)**

Природная зона или подзона	Лесная формация	Подрост (древесная порода)	«Достаточная» встречаемость подроста до рубки, %	«Необходимая» встречаемость подроста после рубки, %	«Допустимая» сохранность подроста, %
Зона смешанных (хвойно-широколиственных) лесов европейской части России	Ельники	Ель	82,0	≥41	50,0
			74,5		55,0
			68,4		60,0
			63,1		65,0
			58,6		70,0
			54,7		75,0
			51,3		80,0
Южная тайга европейской части России	Тоже	Тоже	100,0	≥50	50,0
			90,1		55,0
			83,3		60,0
			80,0		65,0
			71,4		70,0
			66,6		75,0
			62,5		80,0
Средняя и южная тайга Сибири	Сосняки	Сосна	100,0	≥60	60,0
			92,3		65,0
			85,8		70,0
			80,0		75,0
			85,0		80,0

**Прогнозируемая допустимая сохранность подроста главной породы в связи с его встречаемостью в разных группах типов еловых лесов (южная тайга европейской части России)**

Группа типов леса, бонитет древостоя	Почвы, почвообразующие породы	Встречаемость подроста ели (%), оценка возобновительного процесса	Прогнозируемая допустимая сохранность подроста, %
Ельники кисличные, I	Дерново-, слабо-среднеподзолистые и легкосуглинистые или супесчаные на средних или тяжелых суглинках	80,0, успешное	65,0
Ельники черничные, II-III	Средне-сильноподзолистые легкосуглинистые и супесчаные на средних или тяжелых суглинках (периодически переувлажненные)	60,0–70,0, успешное	70,0–80,0
Ельники долгомошные, IV	Сильноподзолистые торфянисто-подзолистые, глееватые, легкосуглинистые и песчаные, подстилаются на небольшой глубине тяжелыми суглинками (периодически переувлажненные)	60,0, удовлетворительные	83,0
Ельники травяно-болотные, IV–III	Перегноино-подзолисто-глеевые, торфянисто-перегноинные легко- или среднесуглинистые, подстилаемые тяжелыми суглинками и глинами (мокрые и сырые)	Неудовлетворительные	–

Для означенных природных зон и подзон страны предложена шкала допустимой сохранности подроста, обусловленная «достаточной» встречаемостью его до рубки (табл. 2).

Шкала (табл.2) имеет как практическую значимость, так и научно-методическую ценность. Так, сравнивая величину встречаемости подроста на лесосеках с показателями шкалы и технической возможностью лесозаготовительной техники, можно еще до рубки подобрать участки леса, на которых следует использовать ее. В практике ее следует использовать уже при отводе лесосек для подбора участков с определенным способом возобновления после рубки – естественным предварительным.

Для планирования систем лесозаготовительных машин и технологий при сплошных рубках, обеспечивающих допустимую сохранность подроста, необходимы сведения о встречаемости подроста под пологом леса в том или ином регионе для каждого типа леса или группы типов. К сожалению, в материалах лесоустройства, в таксационных описаниях выделов, они отсутствуют. Такую информацию можно получить из литературных источников. Так, сравнивая встречаемость подроста главной породы в ельниках южной тайги европейской части России в преобладающих группах типов леса [19] с означенной шкалой (табл. 2), можно прогнозировать допустимую минимальную сохранность подроста (табл. 3).

Следовательно, применение предложенной шкалы в практике лесного хозяйства и лесной промышленности позволит в зависимости от лесоводственных и технических возможностей техники использовать ее на лесосеках с подростом дифференцированно по группам типов леса с учетом встречаемости древесных растений. С повышением таких возможностей у лесозаготовительных машин диапазон условий их применения расширяется.

Оценка лесоводственной эффективности лесозаготовительных машин и технологии лесосечных работ должна исходить из сравнения реального характера воздействия их на лесную экосистему, а также сравнения последствий их применения с допустимыми воздействиями в соответствии с лесоводственно-экологическими требованиями.

На лесосеках с подростом лесоводственно-экологическая оценка лесозаготовительных машин осуществляется как на уровне биогеоценоза, так и на региональном уровне. Оценка работы лесозаготовительных машин на лесосеках с подростом на биогеоценозном уровне осуществляется для каждого типа леса или групп типов в целом за год и по сезонам с учетом их длительности. Минимально допустимая сохранность подроста в соответствии с предложенными нами требованиями принимается в зависимости от встречаемости подроста под пологом леса до рубки (табл.2).

Сначала рассмотрим метод лесоводственной оценки работы лесозаготовительных машин на лесосеках с подростом на биогеоценозном уровне (или на уровне типа леса), в том числе и по каждому сезону лесозаготовок. Такая оценка складывается из данных по сохранности подроста после работы машин в разные сезоны лесозаготовок в сравнении с допустимой его сохранностью. Детальная методика обстоятельно рассматривалась ранее [9]. Показатель или критерий лесоводственной оценки работы лесозаготовительных машин на лесосеках с подростом выражается в остальных величинах (от 0,1 до 10). При показателе, равном или больше единицы, работа машин удовлетворяет лесоводственные требования.

Приведем для примера расчет показателя оценки работы лесосечных машин ЛП-19 и ЛТ-157 в сосняке багульниково-брусничном среднетаежной подзоны Западной Сибири (Тюменская область) по сезонам лесозаготовок ( $K_{bi}$ ) и в целом за год ( $K_b$ ). При этом используются исходные данные (табл. 4).

Для каждого сезона показатель лесоводственной оценки работы машин определяется по формуле

$$K_{bi} = S_{bi} / S_{min},$$

где  $K_{bi}$  – показатель лесоводственной оценки машин за определенный сезон лесозаготовок;

$S_{bi}$  – сохранность подроста в определенный сезон (i) лесозаготовок;

$S_{min}$  – допустимая сохранность подроста, % (в соответствии с лесоводственными требованиями, 60 %).

В частности,

$$K_b(\text{летом}) = 54,0 / 60,0 = 0,90.$$



**Сохранность подроста главной породы в сосняках лишайниковом и багульниково-брусничном в разные сезоны лесозаготовок (машин ЛП-19 и ЛТ-157, технология, предусматривающая валку деревьев на волок с устройством двух лесовозных усов)**

Тип леса	Варианты (сезоны рубок)	Сохранность подроста, % при повторности			Число пробных площадей	Средние величины, %
		1	2	3		
Сосняк лишайниковый	I (зимний)	66,3	60,4	64,7	3	63,8
	II (весенний)	60,0	65,9	60,1	3	62,8
	III (летний)	62,6	67,0	68,4	3	66,0
	IV (осенний)	67,8	64,4	59,5	3	63,9
Сосняк багульниково-брусничный	I (зимний)	62,0	63,4	66,9	3	64,1
	II (весенний)	20,4	26,7	25,5	3	24,2
	III (летний)	58,2	56,5	47,3	3	54,0
	IV (осенний)	39,5	43,6	30,9	3	38,0

Оценка работы машин за год в этом типе леса определяется по формуле

$$Kb = \sum Sbi \times Ti / Smin,$$

где  $Ti$  – продолжительность каждого сезона ( $i$ ) лесозаготовок (от года) в долях единицы (для рассматриваемого региона – Тлета – 0,12, Тосени и Твесны = по 0,17, Тзимы = 0,54).

Показатель лесоводственной оценки работы машин на биогеоценозном уровне (или на уровне типа леса – сосняка багульниково-брусничного)( $Kb$ ) равен 0,87.

Метод лесоводственной оценки работы лесозаготовительных машин (на лесосеках с подростом) на региональном уровне базируется на учете характера изменений сохранности подроста как по территории вырубок (в каждом из исходных типов леса), так и в целом по типам леса любого региона. Выявленные изменения сравниваются с допустимыми или лесоводственными требованиями.

Результаты ранее проведенных исследований [8, 9] показали, что после разработки лесосек многооперационными машинами процент сохранности подроста снижается по мере приближения от дальнего конца лесосеки к погрузочной площади из-за увеличения числа рейсов трелевочных машин. Темпы снижения сохранности подроста обусловлены влажностью верхних горизонтов почвы и ее механическим составом, связанных с типом леса. Формализуем эти изменения. В трехмерной системе координат по оси  $X$  отложим расстояние, выраженное в относительных величинах, равное 1, по оси  $Y$  – сохранность под-

роста (в %), по оси  $Z$  – ранговые номера типов леса 1,2,3,...,  $n$  (от худшего до оптимального по проходимости лесозаготовительных машин по почвенным грунтам) определенного региона. Если в начале координат «расположим» погрузочную площадку, то изменение сохранности подроста для каждого типа леса можно выразить  $Yz = fz(X)$ . Площадь ( $S$ ), ограниченная кривой  $Y = f(X)$  в пределах определенного  $Z$ , характеризует процент сохранности подроста по всей территории лесосек и равна

$$S = \int f(x)dx.$$

В практике можно использовать вместо означенного определенного интеграла формулу Симпсона

$$S = 1/6 (Y_0 + 4Y_{0,5} + Y_1),$$

где  $Y_0$  – сохранность подроста вблизи погрузочной площадки, %;

$Y_1$  – сохранность подроста в дальнем конце лесосеки, %;

$Y_{0,5}$  – сохранность подроста в средней части лесосеки, %.

Исходя из того, что лес на межбиогеоценозном (региональном) уровне представляет природное единство [7, 14], рассмотрим множество участков в каком-либо географическом регионе как единое целое. При этом ограничимся условиями, что необходимое их разнообразие ( $m$ ) в лесной формации по проходимости машин находится в пределах от худшего до оптимального. По мере улучшения проходимости машин (прежде всего по мере уменьшения влажности почвы и в зависимости от ее механического состава)

участки леса обозначим ранговыми номерами  $1, 2, 3, \dots, i, \dots, m$ . Соответственно обозначим и сохранность подроста на каждом участке после работы лесозаготовительной техники  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ .

Процесс изменения сохранности подроста в зависимости от проходимости машин на участках можно выразить функцией  $Y = S(z)$ . Тогда объем, характеризующий процент сохранности подроста в пространстве ( $V_i$ ), то есть для всего разнообразия среды любого региона (или лесной формации), где проводятся рубки, вычисляется по формуле

$$V_i = \int_0^1 S(z) dz .$$

На практике мы имеем дело с ограниченным количеством типов леса ( $n$ ). Подынтегральная функция обычно имеет нелинейную (и реже линейную) зависимость. При функции с нелинейной зависимостью вычисление можно осуществлять по формуле Симпсона

$$V_i = 1 / 6 (Sb_1 + 4bk + Sbn),$$

где  $V_i$  – сохранность подроста в регионе (или лесной формации) в определенный сезон лесозаготовок ( $i$ ), %;

$Sb_1$  – сохранность подроста в типе леса с наихудшими почвенными условиями для прохода машин, %;

$Sbk$  – сохранность подроста в типе леса с промежуточными (средними) условиями для прохода машин между типами 1 и  $n$ , %;

$Sbn$  – сохранность подроста в типе леса с оптимальными грунтовыми условиями для прохода машин, %.

При функции с линейной зависимостью вычисление производится по следующей формуле

$$V_i = Sb_1 + Sbn / 2 .$$

Таким образом, это сохранность подроста для всего региона (или лесной формации), когда типы леса имеют равномерное распределение по площади. Однако в природе чаще всего отмечается неравномерное распределение их. Поэтому показатель оценки характеризуется с учетом веса каждого типа по площади.

Критерий лесоводственной оценки работы лесозаготовительных машин ( $K_m$ ) на

лесосеках с подростом устанавливается по формуле

$$K_m = V_i / V_{\min},$$

где  $V_{\min}$  – минимально допустимая сохранность подроста.

Лесоводственная оценка работы агрегатных машин на лесосеках с подростом в сосняках средней тайги Западной Сибири приведена в табл. 5.

При  $K_m \geq 1$  машины или комплекта машин при сплошных рубках вполне удовлетворяет лесоводственным требованиям. Этот показатель при оценке работы определенной машины для различных географических районов может отличаться, так как при его расчете задействованы такие географические элементы или их производные, как продолжительность сезонов лесозаготовок, почвенные условия, обуславливающие проходимость машин по лесосеке. По таким же формулам рассчитывается и критерий лесоводственной оценки применяемых технологий лесосечных работ (КТ). Только для установления « $K_m$ » необходимо на лесосеках с определенными типами леса применять одну из технологий, наиболее полно использующую лесоводственные возможности техники, а для определения КТ следует применять технологии, соблюдающие технологические требования. Как при расчетах « $K_m$ », так и «КТ» используются данные в сравнимых (с одинаковыми типами леса в пределах одного региона).

На основании результатов исследований и предложенной методики рассчитаны показатели оценки лесоводственной эффективности применения агрегатной техники и технологии лесосечных работ в ряде регионов страны (табл. 6).

Лесоводственным требованиям в большей мере отвечает работа на лесосеках с подростом машины ЛП-19, применяемой совместно с трелевочными бесчokerными машинами (ТБ-1, ЛП-18А, ЛТ-154, ЛТ-157, ЛТ-89) по технологиям, предусматривающим укладку деревьев на волок и трелевку на одну или две погрузочные площадки: летом – в типах леса с дренированными почвами или с легким механическим составом, зимой – во всех типах леса с хорошо промерзшими грунтами.

Т а б л и ц а 5

**Показатели оценки лесоводственных аспектов работы агрегатных машин на региональном и биогеоценозном уровнях**

Комплект машин (основные положения технологии лесосечных работ)	Тип леса	Показатели оценки работы машин					
		в типах леса по сезонам				на уровне типа леса (биогеоценоза) (Кб)	на региональном уровне (Км)
		Летом (Кблето)	Осенью (Кбосень)	Зимой (Кбзима)	Весной (Кбвесна)	на уровне типа леса (биогеоценоза) (Кб)	на региональном уровне (Км)
ЛП-19+ЛТ-157 (укладка деревьев на волок, устройство двух лесовозных усов)	Сосняк лишайниковый	1,10	1,06	1,06	1,04	1,06	0,98
	Сосняк багульниково-брусничный	0,90	0,63	1,07	0,40	0,87	

Т а б л и ц а 6

**Региональные показатели лесоводственной оценки агрегатных лесозаготовительных машин (Км) и технологий (КТ) при сплошных рубках на лесосеках с подростом**

Географический район (подзона)	Лесная формация	Машина или комплект машин	Км	Технология лесосечных работ	КТ
Южная тайга и северная часть зоны смешанных лесов Русской равнины	Еловая или елово-лиственная	ВТМ-4 (ВМ-4А)	0,06	При валке деревьев предусматривается подход машины к каждому дереву	0,06
		ЛП-17 (ЛП-49)	0,17	Без частичного сохранения куртин подроста	0,08
				С частичным сохранением куртин подроста	0,17
		ЛП-2*+ТБ-1 (ЛП-19+ТБ-1)	0,81	С укладкой деревьев под углом к волоку	0,10
С укладкой деревьев на волок (одна погрузочная площадка)	0,81				
Средняя тайга Западной Сибири	Сосновая	ЛП-19+ЛТ-157	0,95	С укладкой деревьев под углом к волоку	0,12
				С укладкой деревьев на волок и трелевкой их на два лесовозных уса	0,95
		ЛП-19+ЛТ-154 (ЛТ-89)	0,98	С укладкой деревьев под углом к волоку	0,14
				С укладкой деревьев на волок и трелевкой на два лесовозных уса	0,98

Предложенные критерии лесоводственных требований для оценки работы лесозаготовительных машин на лесосеках с подростом целесообразно использовать при разработке «правил заготовки древесины» и проведении экологической экспертизы.

\*Машина ЛП-2 ныне не выпускается, однако в лесоводственно-историческом плане представляет интерес, так как принцип ее работы использован при создании машины ЛП-19.

### Библиографический список

1. Анисимов, П.М. Сохранность подроста при различных способах заготовок / П.М. Анисимов // Лесное хозяйство. – 1966. – № 3. – С. 24–25.
2. Дерябин, Д.И. Лесоводственное значение хвойного подроста / Д.И. Дерябин, А.Д. Букштынов. – М.: Лесная пром-сть, 1970. – С. 94.
3. Ионов, Б.Д. Лесовозобновление на механизированных лесозаготовках / Б.Д. Ионов // Лесное хозяйство и лесозаготовка. – 1935. – № 2. – С. 36–39; № 3. – С. 43–44.
4. Лесоводственные требования к технологическим процессам лесосечных работ. – М.: ВНИИЛМ, 1993. – С. 16.
5. Маргынов, А.Н. Оценка возобновления ели / А.Н. Маргынов // Лесоведение. – 1992. – № 4. – С. 43–49.
6. Мелехов, И.С. Вопросы лесовыращивания Вологодско-Сухонского промузла / И.С. Мелехов // Новый Север (ОГИЗ – Сев ГИЗ). – 1937. – № 3. – С. 70–81.
7. Мелехов, И.С. Лесоведение: 3-е изд. испр. и доп. / И.С. Мелехов. – М.: МГУЛ, 2005. – 372 с.
8. Обыденников, В.И. Географические особенности последствий сплошных рубок с использованием агрегатной техники при сплошных рубках / В.И. Обыденников // Лесное хозяйство. – 1996. – № 5. – С. 20–22.
9. Обыденников, В.И. Оценка лесоводственно-экологических последствий использования агрегатной техники при сплошных рубках / В.И. Обыденников // Лесохозяйственная обзорная экспресс информация. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2001. – № 2. – С. 46–63.
10. Обыденников, В.И. Методический подход к лесоводственно-экологической оценке работы лесозаготовительных машин при сплошных рубках / В.И. Обыденников // Лесоведение. – 2003. – № 3. – С. 41–45.
11. Петров, А.Ф. Учет сохранившегося подроста и лесоводственная оценка лесосечных работ / Н.Ф. Петров // Возобновление и формирование лесов Сибири. Красноярск: СО АА СССР, 1969. – С. 169–172.
12. Побединский, А.В. Изменение лесорастительной среды под влиянием тракторной трелевки / А.В. Побединский // Лесное хозяйство. – 1952. – № 3. – С. 34–39.
13. Побединский, А.В. Рубки главного пользования: 3-е изд. / А.В. Побединский. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 193 с.
14. Сукачев, В.Н. Избранные труды. Основы лесной типологии и биогеоценологии / В.Н. Сукачев. – Л.: Наука, 1972. – Т. I. – 420 с.
15. Тихонов, А.С. Лесоводство / А.С. Тихонов. – Калуга: Изд-во Педагогический центр «Гриф», 2005. – 400 с.
16. Ткаченко, М.Е. Концентрированные рубки, эксплуатация и возобновление леса / М.Е. Ткаченко. – М.: Росиздатсельхоз и колхозно-кооперативной лит., 1931. – 173 с.
17. Ткаченко, М.Е. Общее лесоводство / М.Е. Ткаченко. Под. Ред. И.С.Мелехова. Изд. 2-е (доп. Тираж). – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1955. – 599 с.
18. Чертовской, В.Г. Еловые леса европейской части СССР / В.Г. Чертовской. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 176 с.

## ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВ

В.В. ЗАВАРЗИН, *проф. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ, канд. с.-х. наук*

*zavarzin@mgul.ac.ru*

Эффективное управление использованием лесов требует достоверной информации и специальных данных о состоянии лесных ресурсов, их территориальном размещении и динамике изменения под воздействием различных природных факторов и влиянием проводимых хозяйственных мероприятий.

В нашей стране основной информационной базой для расчета обоснования и контроля за размером использования лесных

ресурсов все еще являются материалы лесоустройства. Заготовка древесины от рубок спелого и перестойного леса является одним из основных видов использования лесов.

При этом важнейшей задачей при лесоустройстве, равно как и при составлении лесных планов, лесохозяйственных регламентов, проектов освоения лесов, является обоснование возраста рубки (спелости леса) и оптимальных оборотов рубки.

Обоснованный выбор возрастов рубок и оптимальных оборотов рубки должен быть направлен на достижение наиболее возможной эффективности ведения лесного хозяйства и использования лесов в современных условиях с учетом их назначения, освоенности, экономической обеспеченности, при сохранении экологических и природоохранных функций леса. От принятого возраста рубок зависит распределение по группам возраста и соответственно размер заготовки древесины от рубок спелого леса и рубок ухода, а также проводимых лесохозяйственных мероприятий и отдельных видов использования лесов. Возраст рубки во многих случаях определяет успешность лесовозобновления и сохранение лесной среды, а также целый ряд факторов, влияющих на состояние лесных экосистем. В зависимости от целевого назначения лесов для обоснования возрастов рубок (спелостей леса) могут рассматриваться отдельные виды спелостей (как природные, так и потребительские), наиболее соответствующие режиму и формам ведения лесного хозяйства.

Научное обоснование возрастов рубок должно быть ориентировано на обеспечение постоянного пользования лесом и возможности перехода к оборотам рубки, наиболее эффективным в условиях рыночных отношений. Не менее важной задачей остается учет товарной структуры эксплуатационного фонда, влияющей на размер принимаемой расчетной лесосеки.

В последние годы в нашей стране лесоустройство было практически свернуто. Характеристика лесного фонда со временем существенно изменяется и не соответствует устаревающим материалам лесоустройства. И хотя органы лесного хозяйства должны учитывать и вносить происходящие изменения в соответствующую документацию по учету лесного фонда, такая работа часто выполняется формально и не отражает существующей действительности, что не позволяет применять эти данные для обоснования реальных размеров использования лесов.

Подмена лесоустроительного проектирования на основе периодически проводимого лесоустройства на лесохозяйственные регламенты для лесничеств и лесопарков и проекты

освоения лесов для арендуемых лесных участков, составляемые на основе устаревших материалов лесоустройства, не могут обеспечить оптимально эффективного использования лесных ресурсов и не имеют реальной перспективы для научно обоснованного использования лесов уже в ближайший период.

Несмотря на то, что современная система организации и управления лесным хозяйством, лесоустройством и лесопользованием находится на этапе становления и еще далека от совершенства, в перспективе должны быть созданы условия для проведения регулярного лесоустройства в освоенных и доступных для использования лесах. Такая необходимость связана с тем, что хотя за 10-летний период в лесном фонде и происходят определенные изменения, однако их характер и величину с допустимой точностью можно прогнозировать, используя материалы последнего лесоустройства. Эти материалы можно также использовать для создания банка данных, которые могут быть актуализированы с учетом информации об ежегодных изменениях в лесном фонде и динамике запасов насаждений. При создании постоянно актуализируемого банка данных сроки проведения повторного лесоустройства могут быть увеличены.

Во избежание субъективного подхода учет изменений в лесном фонде и актуализация банков данных должны выполняться специализированными подразделениями из числа лесоустроителей совместно со специалистами лесничеств.

Источником достоверной информации о состоянии и динамике лесных ресурсов может служить выборочная инвентаризация лесного фонда, которая основана на закладке пробных площадей в натуре по определенной системе с применением измерительной таксации леса и последующей обработкой результатов математико-статистическими методами.

Выборочная инвентаризация может выполняться как наземными способами, так и с помощью средств дистанционного наблюдения (аэрофотосъемки, космической съемки и др.) и на основе сочетания наземных и дистанционных измерений. Важная роль в процессе инвентаризации лесов отводится научно обоснованным взаимосвязям и зако-

номерностям между различными таксационными показателями насаждений.

Выборочная инвентаризация позволяет значительно повысить полноту, объективность и точность информации о лесных ресурсах, так как она основывается на измерительной таксации. При выборочной инвентаризации устраняется субъективизм и осуществляется объективная оценка лесного фонда с заданной точностью.

Мировой опыт применения выборочной инвентаризации в странах с высоким уровнем ведения лесного хозяйства и лесопользования свидетельствует о том, что подобный подход обеспечивает существенное повышение эффективности контроля за использованием лесных ресурсов, динамикой изменения лесного фонда, качеством выполняемых лесохозяйственных мероприятий и экологическим состоянием окружающей среды.

С помощью выборочной инвентаризации можно получить ряд данных, характеризующих состояние лесного фонда, процессы лесовосстановления, показатели текущего изменения запасов, продуктивность насаждений, товарно-сортиментную структуру древостоев и ряд других показателей, которые необходимо учитывать при проектировании, расчете и обосновании размера использования лесов и проведения лесохозяйственных мероприятий.

Работы по контролю за состоянием лесного фонда и размерами использования лесов, методами выборочной инвентаризации требуют дальнейшего развития в увязке с лесостроительством, а придание новым Лесным кодексом государственной значимости инвентаризации лесов позволяет надеяться на получение объективной информации для принятия обоснованных решений по вопросам использования лесных ресурсов, в том числе по оптимизации размера расчетных лесосек.

Отдельного внимания заслуживает оптимизация размера расчетной лесосеки в целевых хозяйствах. Преимущество целевых хозяйств в том, что большая часть запаса может быть использована для заготовки одного, наиболее необходимого сорта. При этом заготовка нужного количества такого сорта осуществляется на относительно

небольшой территории, что позволяет сократить дальность перевозок заготавливаемого леса и обеспечить в перспективе постоянство и равномерность использования лесов для соответствующих целей на закрепленной территории лесного фонда с высоким экономическим и экологическим эффектом.

Подробно вопросы организации и обоснования размера лесопользования в целевых хозяйствах рассмотрены в работах Н.П. Анучина [2], М.Д. Гиряева [3] и других.

Расчетная лесосека характеризует потенциальные возможности заготовки древесины и относится к важнейшим нормативам ведения лесного хозяйства. Она определяет оптимальную норму вырубki спелых древостоев с целью удовлетворения потребности в древесине, обеспечения воспроизводства и поддержания защитных, средообразующих и социальных полезностей леса на необходимом уровне. Лесостроительной наукой и практикой разработано несколько десятков различных методов определения расчетной лесосеки, оценка которых содержится в работах Н.П. Анучина, Н.Н. Свалова, Н.А. Моисеева, С.Г. Синицина, А.Г. Мошкалева, В.Д. Волкова и других.

Опираясь на научные исследования, разработки и предложения вышеназванных крупнейших ученых-специалистов в области лесопользования, можно отметить следующие основные методические направления по определению расчетных лесосек.

Методы определения расчетной лесосеки различаются по способам рубки леса и делятся на две группы:

- 1) для сплошнолесосечной формы хозяйства и для семенолесосечной формы хозяйства;
- 2) для выборочной формы хозяйства.

При сплошнолесосечной форме в основе методов расчета лесосек лежит регулирование площади, занятой насаждениями различного возраста, а для выборочных хозяйств объем вырубki определяется с помощью методов регулирования запаса и прироста насаждений. Существуют также комбинированные методы, сочетающие площадной, объемный и приростной контроль. Однако комбинированные методы мало применяются на практике

вследствие отсутствия четкой процедуры согласования площадного регулирования с контролем вырубki по запасу и приросту.

Научной основой методов расчета размера лесосек при сплошнолесосечной форме хозяйства является теория нормального леса, сущность которой заключается в стремлении посредством рубок и других хозяйственных мероприятий сформировать лесной фонд наивысшей продуктивности. Теорией нормального леса и практикой ведения лесного хозяйства доказано, что при сплошнолесосечной форме наивысшая продуктивность лесного фонда достигается только в случае равного распределения насаждений по возрасту. Равномерная возрастная структура лесов обеспечивает не только наивысшую продуктивность, но и не уменьшающиеся во времени размеры заготовок древесины. При равномерном распределении по классам возраста наивысшего значения достигают также защитные свойства леса. Общей чертой всех методов определения расчетной лесосеки является стремление обеспечить в процессе проведения рубок выравнивание возрастной структуры лесов.

Центральное место в теории нормального леса принадлежит нормальной лесосеке (лесосеке равномерного пользования), которая определяется как частное от деления всей покрытой лесом площади хозяйства (хозсекции) на оборот рубки. Нормальная лесосека наилучшим образом обеспечивает выравнивание возрастной структуры. Однако при резко неравномерном распределении насаждений в хозяйстве по классам возраста она приводит или к рубке насаждений, не достигших возраста спелости, или к накоплению перестойных древостоев. Данное обстоятельство привело к появлению множества различных методов исчисления лесосек с целью устранить несовершенства нормальной лесосеки. Характерно, что почти все разработанные методы по существу являются производными от нормальной лесосеки и при равномерном распределении насаждений по возрасту дают одинаковый результат. Однако на основе теории нормального леса не удалось разработать какой-либо универсальный метод исчисления расчетной лесосеки, пригодный для применения в самых различных условиях. Все извест-

ные методы могут быть рекомендованы в одних типах возрастной структуры лесов, чаще всего при относительно равномерном распределении по возрасту, и дают неприемлемые результаты в других.

Чтобы компенсировать недостатки отдельных методов, в практике расчетов поступают следующим образом: исчисляют несколько вспомогательных лесосек по различным методам и на основе анализа их значений, а также возрастного распределения насаждений, одна из исчисленных лесосек выбирается в качестве расчетной. При неравномерном распределении насаждений по классам возраста значения вспомогательных лесосек значительно отличаются друг от друга, поэтому выбрать лесосеку, близкую к оптимальной, довольно сложно. Поэтому в расчетах пользования допускается доля субъективизма, особенно в тех случаях, когда расчеты выполняются специалистами различной квалификации.

В нашей стране в качестве вспомогательных расчетных лесосек чаще всего применяются, кроме нормальной, первая и вторая возрастные лесосеки, а также лесосеки по состоянию и интегральная. несовершенство современных методических приемов определения расчетной лесосеки обусловлено следующими обстоятельствами.

Потенциальные возможности заготовок древесины зависят от многих биологических и экономических факторов, таких как породный состав, продуктивность и возрастная структура леса, уровень и сортиментная структура потребления древесины, способы рубок и др. Множество факторов и условий, влияющих на размер заготовок, приводят к многовариантности возможных решений данной задачи. Оптимизация решения заключается в поиске максимального размера заготовки спелого леса, при котором не нарушается ряд требований, вытекающих из принципа постоянства пользования, и удовлетворяются основные лесоводственные и экономические условия.

Многочисленные формулы исчисления лесосек, разработанные лесостроительной наукой, представляют собой алгебраические действия над величинами, характеризующими лишь возрастное распределение

площадей и запасов насаждений. Неполный учет всех факторов и условий приводит к тому, что после исчисления некоторого набора лесосек по элементарным формулам специалист-профессионал вынужден, опираясь на свой опыт и знания, производить дополнительный анализ результатов расчета, сопоставлять их с конкретными природными, экономическими и экологическими условиями объекта и на этой основе выбирать и обосновывать лесосеку, близкую к оптимальной. Естественно, при такого рода обоснованиях неизбежен фактор субъективизма.

Увеличение числа исчисляемых лесосек лишь в некоторой степени ослабляет элемент субъективизма, но приводит при этом к значительному усложнению расчетов, анализа и обоснований. В нашей стране и за рубежом на протяжении ряда лет предпринимались попытки решения этой задачи с помощью математического программирования. В этих разработках есть оригинальные и ценные предложения, однако для них характерен один общий недостаток, заключающийся в недостаточно глубоком обосновании факторов и условий, включаемых в модель. Математическая модель – всегда упрощенное в той или иной степени описание исследуемого объекта, причем для адекватного описания обычно необходимо учитывать ограниченное число факторов, условий и переменных. Сложность состоит в том, чтобы выбрать нужные переменные и правильно определить соотношения между ними. К сожалению, в большинстве рекомендованных моделей расчетной лесосеки этот важнейший принцип недостаточно выдержан. Нерешенным вопросом в современной теории расчета лесосек является учет экономических условий и факторов ведения лесного хозяйства.

Многие ученые и специалисты вообще отрицают необходимость учета экономических факторов при определении расчетной лесосеки, считая, что она должна отражать лишь природные потенциальные возможности леса, а экономические условия следует учитывать при разработке планов заготовки леса. Другие к числу экономических факторов, учитываемых при определении расчетной лесосеки, относят лишь деление лесов по назначению.

Вряд ли можно согласиться с такой точкой зрения. Расчетная лесосека по существу является не только лесоводственно-биологической, но и экономической категорией.

Расчетная лесосека испытывает влияние экономических факторов, и теория лесопользования должна отражать это явление. Лес не представляет собой однородное целое в пределах предприятия лесного хозяйства, поэтому расчетная лесосека должна дифференцироваться по тем или иным хозяйственным подразделениям лесного фонда. Для каждой хозсекции в пределах одной категории лесов необходимо исчислять расчетную лесосеку с соблюдением непрерывности использования. Расчеты пользования целесообразно проводить по хозяйственным секциям, однако их число должно быть минимальным и определяться требованиями рационального ведения лесного хозяйства и использования лесных ресурсов.

Заслуживают внимания отдельные предложения, в т.ч. и предложения автора статьи, по установлению хозяйственных секций с учетом породного состава и товарной структуры древостоев.

Расчетная лесосека должна дифференцироваться по категориям с общим режимом использования лесов, одинаковыми способами и возрастами рубки.

Чтобы обеспечить непрерывные и не снижающиеся во времени объемы заготовки древесины от всех видов рубок, расчеты размера рубки спелого и перестойного леса необходимо производить по крайней мере на один оборот рубки. Расчетная лесосека, устанавливаемая на ближайшее десятилетие, зависит не только от площади спелых насаждений на момент расчета, но и от динамики поспевания леса в следующие периоды времени. На размер лесосеки оказывают влияние площади насаждений всех классов возраста, входящих в хозяйственную секцию.

Результаты расчетов динамики заготовки древесины на отдаленные десятилетия оборота рубки, необходимые для обоснования расчетной лесосеки, нельзя принимать в качестве норматива. Они должны рассматриваться и утверждаться в качестве расчетной лесосеки лишь на ближайшее десятилетие. Данные



о размере использования на второе и последующие десятилетия оборота рубки являются прогнозными величинами и не могут рассматриваться в качестве расчетной лесосеки. Расчетная лесосека на второе и последующие десятилетия рубки должна устанавливаться в начале каждого десятилетия на основе расчетов, использующих уточненную информацию о лесных ресурсах. Данные о лесном фонде уточняются при повторном лесоустройстве. Если процесс интенсивности ведения хозяйства оказывает в перспективе большее влияние на лесные ресурсы, чем предполагалось в более ранних расчетах, то расчетная лесосека при повторном лесоустройстве корректируется в сторону увеличения, и наоборот, если этот процесс протекает более медленно, то расчетный размер пользования уменьшается. Такой подход к установлению расчетной лесосеки, основанный на принципах динамического программирования, представляется наиболее рациональным в условиях существующей неопределенности сведений о вероятностных

процессах, протекающих в разнообразных элементах лесного фонда под влиянием как управленческо-хозяйственной деятельности, так и природных и антропогенных факторов.

#### Библиографический список

1. Лесной кодекс Российской Федерации. Комментарии: изд. 2-е, доп./ Под общ. ред. Н.В. Комаровой, В.П. Рошупкина. – М.: ВНИИЛМ, 2007. – 856 с.
2. Анучин, Н.П. Проблемы лесопользования / Н.П. Анучин. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 264 с.
3. Гиряев, М.Д. Принципы и методы организации устойчивого лесопользования в Российской Федерации: дисс. ... канд. с.-х. наук / М.Д. Гиряев. – М., 2004. – 325 с.
4. Гусев, Н.Н. Лесоустройство: учебник / Н.Н. Гусев, В.В. Заварзин, В.А. Солдатов. – М.: ВНИИЛМ, 2007. – 244 с.
5. Порядок исчисления расчетной лесосеки. Утвержден приказом МПР РФ от 08.06.2007 № 148. М., Министерство природных ресурсов.– 2007.– 5 с.
6. Сеницын, С.Г. Рациональное лесопользование / С.Г. Сеницын. – М.: Агропромиздат, 1987. – 333 с.
7. Сеницын, С.Г. Расчет размера лесопользования / С.Г. Сеницын, Н.А. Моисеев, В.В. Загребев и др. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – 176 с.

## ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ СОРТИМЕНТОВ НА ЛЕСНЫХ УЧАСТКАХ

Г.А. ПРЕШКИН, доц. каф. экономики и управления УГЛТУ, канд. техн. наук

*hpreshkin@usfeu.ru*

Продуктивность эксплуатационных насаждений является основой в системе эколого-экономических нормативов, которые регламентируют количественное и качественное (стоимостное) состояние и допустимый объем извлечения древесных ресурсов из запасов товарной древесины на конкретном лесном участке. Воспроизводственный процесс характеризует существующее соотношение между природно-ресурсным потенциалом лесной территории и суммарным экономическим показателем хозяйственной деятельности на ней. Динамика продуктивности включает, кроме природной изменчивости, данные о возможных уровнях изменения ресурсной оценки территории в результате антропогенной и хозяйственной деятельности, причем не обязательно только от действий в сторону ухудшения экологической ценности элемен-

тов лесной среды, но и усиливающий социально-эколого-экономический потенциал. Использование созданных региональных нормативов экономической оценки продуктивности лесов позволяет разрабатывать многовариантные мероприятия, необходимые для достижения субоптимального состояния лесной среды на лесных участках, осуществлять регламентацию объема и способов добычи древесных и недревесных ресурсов. Перечень мероприятий включает определение:

а) способов и количества приемов выборочной рубки леса, частоты и интенсивности выполнения лесоводственных приемов для обеспечения акселерации прироста объема и качества древесных запасов;

б) оптимальных технологических требований для обеспечения защиты изреженных насаждений от ветровала;

в) степени сгущения транспортной инфраструктуры;

г) мер по осуществлению эффективной охраны и защиты лесов всех категорий и др.

Реализация вышеназванных мероприятий при этом должна обеспечивать лесопользователю приемлемую предпринимательскую доходность.

Известно, что искусственное лесовосстановление в российских условиях характеризуется незначительным объемом создания силвакультур по отношению к площади вырубок и недостаточным масштабом внедрения совершенных технологий несплошных рубок. Проведение несплошных рубок предполагает интенсивное извлечение спелых, перестойных деревьев с одновременной уборкой фауных и низкотоварных особей с целью формирования для дорастивания экологически производительных и ветроустойчивых древостоев улучшенного качества [1]. Такие древостои к периоду следующего оборота рубки интенсивно наращивают на себя древесную массу (до 16 % за 5 лет) за счет свойственных им высоких углерододепонирующих способностей. Характерно, что сохраненные после профессионально (т.е. правильно и качественно) выполненных несплошных рубок полезные экологические функции лесной среды на лесных участках существенно усиливают природно-ресурсный потенциал (ПРП) леса. Ввиду преобладания приспевающих и молодняков в возрастной структуре древостоя, они имеют большую ценность, чем стоимость заготовленных лесных ресурсов [2].

Предпочтение способа воспроизводства лесов путем применения промышленных несплошных рубок в лесовосстановительном процессе вызвано, в первую очередь, ограниченным объемом финансирования трудоемких лесовосстановительных работ, бюджет которых формируется на базе платежей за использованные лесные ресурсы. Национальная экономика не может позволить себе иное в условиях, когда в Уральском регионе освоение годичной лесосеки составляет 28 % , а в целом по России – около 10 % [3].

Однако это не является убедительным поводом, чтобы не заботиться о величине неистощительного прироста запасов древесины

как показателе возможного увеличения размера стоимости государственного недвижимого имущества при оценке лесопользования в условиях неравномерного возрастного распределения деревьев в древостоях или на ранее обезлесенных территориях.

Акцентировать внимание на этом моменте необходимо, поскольку в современных условиях стала настоятельной необходимостью замена пассивного принципа охраны природы активным, сбалансированным сочетанием возможностей природы и экономики. Этот баланс требует оценки затрат на воспроизводство ПРП экосистем привнесенным трудом не потому, что природа не может обойтись без человека и его поддержки, если он не будет вмешиваться в экосистему сверх ее саморегулирующего, ассимиляционного потенциала, а потому, что сама социально-экономическая составляющая не может дальше успешно функционировать без поддержки природы.

Можно констатировать, что в экономических теориях до настоящего времени существует терминологический разнобой в оценке категорий: «природные ресурсы», «природная среда», «географическая среда», «природные богатства», «природные блага» и др. По сути своей, древесные и недревесные компоненты насаждений, полезные функции лесов являются элементами природы (географической среды). Поскольку в их создании отсутствуют затраты человеческого труда, они не дают доход (резервные леса), и поэтому должны относиться к внеэкономическим категориям. В комплексе они представляют собой государственное недвижимое имущество – национальный (общественный) природный капитал, стоимость которого подлежит кадастровой оценке. Другое дело, когда к деревьям (древесные объекты природной среды) трудом человека приложены технологические действия: они свалены, очищены от сучьев, из них получены круглые лесоматериалы или иные лесные продукты. Когда от места заготовки они перемещены различными видами транспорта к местам их использования – это уже движимое имущество лесопользователя, которое следует рассматривать как природный ресурс, имеющий коммерческую стои-

мость как сырье, полуфабрикат или готовая продукция. Степень использования исходного природного блага выражается в количестве, например, лесосечных отходов, величина которых есть не что иное, как стоимость природного блага (или часть его), которая, при существующих технологиях лесопользования или в силу сложившихся рыночных условий, является пока экономически недоступной.

Таким образом, до тех пока лесные блага существуют, к примеру, в виде многолетних насаждений на корню (недвижимость), они представляют собой потенциальные древесные ресурсы и не имеют цены. Оценка технологически доступных ресурсов (реальных) по объему и стоимости отличается от потенциальной величины технически возможного объема изъятия ликвидных запасов без учета образующихся лесосечных отходов и ущерба, нанесенного оставшемуся древостою. Технологически доступные ресурсы при заданном регламенте лесопользования относятся к экономической сфере. Если минимальный объем технологически доступного вида ресурсов (например, круглые лесоматериалы) не превышает экологически обоснованный предел и при этом достигается приемлемая предпринимательская прибыль, то он является коммерческим экономически доступным ресурсом. Аналогичный подход предлагается автором к коммерческой оценке недревесных лесных благ и полезных функций лесов [4].

В настоящее время оценка потенциальных запасов круглых лесоматериалов на лесных территориях возможна путем применения сортиментных и товарных таблиц, составленных с учетом фиксированного соотношения наиболее ходовых деловых сортиментов и устаревших на сегодня технических требований на них. Следовательно, их применение в настоящее время даже для укрупненной оценки объемного и стоимостного потенциала древесных ресурсов на лесных территориях в целях лесоустройства является проблематичным [5].

Лучшим образом соответствуют современным рыночным условиям лесопользования технико-экономические расчеты стоимости и количества реально доступных древесных ресурсов (сортиментов) с исполь-

зованием так называемой методики коммерческой оценки леса на корню. Покажем сравнительный пример ее использования для определения технологически доступных ресурсов круглых лесоматериалов при использовании существующих технологий лесозаготовок.

Например, известны таксационные параметры соснового насаждения: средний диаметр на уровне груди –  $D = 22,4$  см, разряд высот –  $V$ , выход деловой древесины – 88,5 %. Определим по методике [6] реальный технологически доступный выход ( $K$ ) шпального кряжа  $i=2$  и его стоимость ( $C$ )

$$K_2 = (125,82 - 0,0076D^3 + 0,709D^2 - 17,26D) \times \\ \times (100 - \varepsilon) + (121,41 - 0,0076D^3 + \\ + 0,68D^2 - 16,52D) \varepsilon; \%$$

где  $\varepsilon$  – доля низкокачественных хлыстов в расчетном объеме сырья, %.

$$C_2 = \{18,90 (100 - \varepsilon) + \\ + (0,0008D + 17,82) \varepsilon\} K_t, \text{ USD}$$

где  $K_t$  – коэффициент приведения к текущей стоимости.

Расчеты по приведенным формулам коэффициентов выхода шпального кряжа показывают, что  $K_2 = 8,55$  % от объема деловой древесины, а стоимость 1 м<sup>3</sup> составит 52,0\$ при условном  $K_t = 2,76$ . При аналогичных таксационных параметрах сырья выход шпального кряжа, по товарным таблицам акад. Н.П. Анучина, составляет лишь  $K_2 \approx 2$  %, а стоимость этого круглого лесоматериала вообще невозможно оценить.

Таким образом, научной основой рационального использования потенциальных лесных ресурсов – древостоев, является решение двух вопросов: определение экологически обоснованной доли (объема) изъятия деревьев с учетом технологических возможностей лесопользователя при несплошных рубках и разработка технико-экономических нормативов оценки извлекаемых сортиментов в процессе эксплуатации древостоев согласно лесохозяйственному регламенту. Для решения экологических проблем в условиях новой экономики требуется более эффективная государственная лесная политика собственника в сфере инвестирования в рациональное использование лесов как национального богатства.

Не умаляя существующего научно-технического первенства деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности по отношению к лесозаготовительному и лесохозяйственному производствам в создании лесобумажных продуктов с высокой добавленной стоимостью, следует заметить, что исходным фактором при составлении программы целенаправленного размещения производительных сил в экономическом районе следует считать реальные экологически доступные ресурсы эксплуатационных лесов, вычисленные с использованием обновленной нормативной базы экономической оценки лесных ресурсов. И уже на втором этапе должны решаться задачи размещения сырьевых отраслей лесного комплекса (в составе холдинга), транспортной и социальной инфраструктуры, вопросы долговременного обеспечения российских граждан занятостью и средствами к существованию [7, 8].

Лесные природные ресурсы являются специфическим видом основных производственных фондов крупного лесоперерабатывающего предприятия, и затраты на их поддержание должны рассматриваться как неравномерная амортизация (по сути – износ) ПРП, поскольку без его использования вообще не может состояться воспроизводственный процесс. Равномерная амортизация в данном случае не является оправданной из-за ошибочности предположения, что лесовосстановление после любых видов рубок леса должно происходить только за счет его саморегулирующей способности к воспроизводству. Это в какой-то мере было оправдано в период, когда вмешательство человека в природную среду не нарушало экологическое равновесие, и совершенно непригодно при современном прессе антропогенных и хозяйственных воздействий, когда имеют место проявления необратимых процессов в экологических балансах, даже экологические катастрофы. Поэтому крупным лесоперерабатывающим предприятиям, согласно ст. 9 действующего Лесного кодекса Российской Федерации, целесообразно использовать не право аренды, а право постоянного (бессрочного) пользования лесными участками, которое дает им право стать владельцем

постоянной лесосырьевой базы и проводить мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов, создавать лесные дороги и др. В соответствии с п. 1 ст. 268 Гражданского кодекса РФ, право постоянного (бессрочного) пользования земельным участком, находящимся в государственной или муниципальной собственности, предоставляется юридическим лицам на основании решения государственного или муниципального органа, уполномоченного предоставлять земельные участки в пользование. С получением такого права лесопользователю становится понятным достижение стратегических целей устойчивого, максимально эффективного получения высококачественной древесины и других лесных ресурсов, продуктов их переработки с обеспечением воспроизводства и необходимость сохранности полезных функций юридически закрепленных за ним лесов. Одновременно, п.2 ст. 20 Земельного кодекса РФ в императивной форме введен запрет на предоставление земельных участков в постоянное (бессрочное) пользование гражданам.

Результаты исследований автора в части разработки методологии и методик определения региональных нормативов технико-экономической оценки древесных ресурсов приведены в работах [5, 6]. Исследованиями был охвачен основной спектр типичных природных и производственных факторов, характерных для Тюменской области и Республики Башкортостан. Нормативы технико-экономической оценки были проверены на адекватность и использовались в оптимизационных расчетах рационального использования лесосечного фонда для производства круглых лесоматериалов в промышленных масштабах [6, 9, 10].

Внедрение наших экономических нормативов в состав методики расчетов рационального использования лесосечного фонда с применением экономико-математических моделей принесло реальный экономический эффект, многократно превысивший расходы на проведенные научно-исследовательские работы, значившиеся в списке важнейших для лесной отрасли страны. Однако в целом проблема определения региональных нормативов экономической оценки лесов продол-

жает оставаться актуальной для собственников и лесопользователей.

**Библиографический список**

1. Ширнин, Ю.А. Технология и эффективность рубок с естественным возобновлением леса: учеб. пособие / Ю.А. Ширнин, Е.И. Успенский, А.С. Белоусов. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1991. – 100 с.
2. Агатъев, В.В. Проблемы рационального управления использованием природных ресурсов (на примере лесопользования): моногр. / В.В. Агатъев. – М.: ООО «Паритет Граф», 2001. – 264 с.
3. Лесной план Свердловской области на 2009 – 2018 годы.: Утв. указом губернатора Свердловской области 29.12.2008 г. № 1370-УГ, Екатеринбург, 2009. – 670 с.
4. Прешкин, Г.А. Теоретико-методологические основы оценки лесов / Г.А. Прешкин // Известия Урал. гос. экон. ун-та: Екатеринбург: изд-во УрГЭУ, 2006. – № 5(17). – С. 163–169.
5. Прешкин, Г.А. Подходы к определению оценок лесных ресурсов / Г.А. Прешкин, В.П. Петрова // Экономическое развитие Сибири. Природопользование, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью: Сб. матер. III междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2007». – Новосибирск: Изд-во СГГА, 2007. Т. 2, ч. 2, С. 195–197.
6. Разработка методики расчета сортиментных планов прирельсовым леспромхозам / Г.А. Прешкин и др. – Тюмень: Минлеспром СССР, Ин-т НИИПлесдрев, Деп. ВИНТИ, 1976. – № Б532248. – 608 с.
7. Ковалев, Р.Н. О стратегии устойчивого лесопользования на Урале / Р.Н. Ковалев, Г.А. Прешкин // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник. – 2008. – № 3(60). – С. 44–46.
8. Прешкин, Г.А. Оценка экономического потенциала лесосырьевых ресурсов территорий на основе эмпирических моделей / Г.А. Прешкин, Р.Н. Ковалев // Урал промышленный – Урал полярный: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: Сб. матер. VI междунар. научн.-техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2007. – С. 17–20.
9. Прешкин, Г.А. Планирование производства на базе ЭВМ / Г.А. Прешкин, М.А. Велищанский // Лесная промышленность. – 1987. – № 4. – С. 11–12.
10. Внедрение методики расчетов на ЭВМ сортиментных планов рационального использования лесосечного фонда леспромхозов при их специализации / Г.А. Прешкин и др.; М-во образования Рос. Федерации, Уральский лесотехнический институт. – Свердловск Деп. в ВИНТИ, 1985. – № 0285.0058714. – С. 103–105.

**РАЗМЕЩЕНИЕ ПЕТЛЕВЫХ РАЗВОРОТОВ НА ЛЕСОВОЗНЫХ УСАХ**

Д.Н. АФОНИЧЕВ, *проф. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, д-р техн. наук*  
[dmafonichev@yandex.ru](mailto:dmafonichev@yandex.ru)

Для безопасной и эффективной эксплуатации лесовозного автомобильного транспорта следует в конечных пунктах лесовозных дорог (пункты погрузки древесины на лесосеках и разгрузочные фронты лесных складов) устраивать разворотные площадки и петлевые развороты [1]. На лесовозных усах в пределах лесосек устраивают петлевые раз-

вороты для безопасного выполнения маневра разворота автомобилей-тягачей или автопоездов [2, 3], но нет конкретных рекомендаций по размещению петлевых разворотов [1, 3, 4], что снижает эффективность работы лесовозного автотранспорта на усах и не обеспечивает создания оптимальных транспортных сетей в лесных массивах.

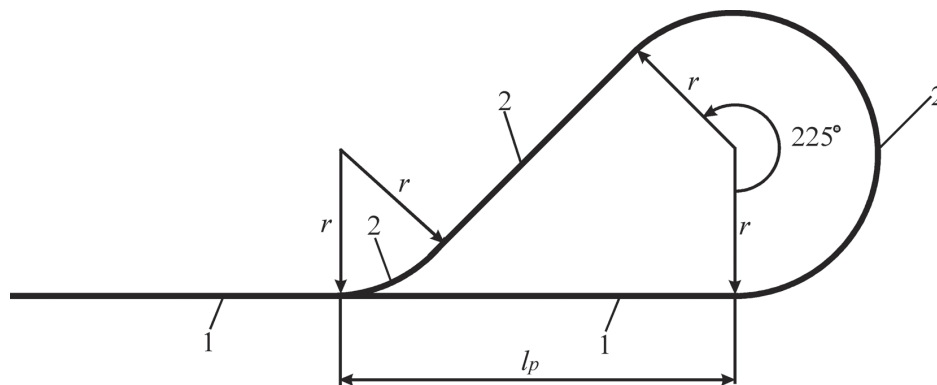


Рис. 1. Схема петлевого разворота: 1 – ус; 2 – петлевой разворот

Стоимость строительства и содержания петлевого разворота  $C_p$  (руб) зависит от его размеров (рис. 1) и применяемой дорожной конструкции

$$C_p = L_p(C_v + B_v), \quad (1)$$

где  $L_p$  – длина петлевого разворота, км;

$C_v, B_v$  – стоимость строительства и содержания 1 км петлевого разворота, руб/км.

Схема, показанная на рисунке 1, позволяет установить следующие параметры

$$L_p = 0,0068r; l_p = 0,0028r, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус кривых петлевого разворота (км), который принимается в зависимости от типа подвижного состава и способа доставки прицепа-ропуса на лесосеку, м;

$l_p$  – протяженность уса в пределах петлевого разворота после погрузочного пункта, км.

Расстояние между петлевыми разворотами определяет дополнительные затраты на устройство и эксплуатацию уса  $C_{уд}$  так как петлевые развороты являются его элементами, и затраты на дополнительный пробег подвижного состава для совершения маневра разворота  $C_{III}$ . Значение  $C_{уд}$  (руб/км) равно

$$C_{уд} = \frac{C_p}{k_{PV}L_{III}}, \quad (3)$$

где  $k_{PV}$  – коэффициент развития уса;

$L_{III}$  – расстояние между петлевыми разворотами, км.

$$C_{III} = Sb_{VX}, \quad (4)$$

где  $S$  – дополнительный пробег подвижного состава для совершения маневра разворота, км;

$b_{VX}$  – стоимость пробега подвижного состава по усу без груза, руб/км.

Оптимальное расстояние между петлевыми разворотами соответствует минимуму суммарных удельных дополнительных затрат на устройство петлевых разворотов и дополнительный пробег автопоездов  $C_{суд}$  (руб/м<sup>3</sup>), которые равны

$$C_{суд} = \frac{C_p + C_{III}}{\sum_{j=1}^n Q_j} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $n$  – количество погрузочных пунктов между петлевыми разворотами при одно-

стороннем размещении погрузочных пунктов или количество пар погрузочных пунктов при их двухстороннем размещении вдоль уса;

$Q_j$  – объем вывозки древесины с  $j$ -й пары погрузочных пунктов или  $j$ -го погрузочного пункта, расположенных между петлевыми разворотами, м<sup>3</sup>.

$$Q_j = 100d_v\gamma(l_{II} + c_j), \quad (6)$$

где  $d_v$  – ширина зоны тяготения к усу (ширина лесосеки), км;

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

$l_{II}$  – расстояние между погрузочными пунктами, км.

В формуле (6)  $c_j = 0$  для всех погрузочных пунктов или пар погрузочных пунктов, которые не являются конечными ( $n$ -ми). Для конечной  $n$ -й пары погрузочных пунктов или  $n$ -го погрузочного пункта  $c_n = 0$  или  $c_n = l_K - l_{II}$  в зависимости от места положения петлевого разворота (рис. 2), где  $l_K$  – расстояние от последнего погрузочного пункта (последней пары погрузочных пунктов) до границы зоны тяготения ветки, км.

В работе [2] рекомендуется расстояние между петлевыми разворотами принимать кратным расстоянию между погрузочными пунктами  $l_{II}$  (км), оптимальное значение которого согласно [2] составляет

$$l_{II} = 0,14 \sqrt{\frac{kK}{\gamma b_T k_{PT} d_v}}, \quad (7)$$

где  $k$  – параметр, зависящий от положения уса на лесосеке, при размещении уса по середине лесосеки  $k = 2$ , при расположении уса по краю лесосеки  $k = 1$  [2];

$K$  – стоимость устройства погрузочного пункта, руб.;

$b_T$  – стоимость трелевки древесины по магистральным волокам, руб/(м<sup>3</sup>·км);

$k_{PT}$  – коэффициент развития магистральных волоков.

Дополнительный пробег подвижного состава  $S$  зависит от объема древесины, вывозимой с погрузочных пунктов, расположенных между двумя соседними петлевыми разворотами. Согласно рисунку 2 расстояние между петлевыми разворотами равно

$$L_{III} = n l_{II} \quad (8)$$

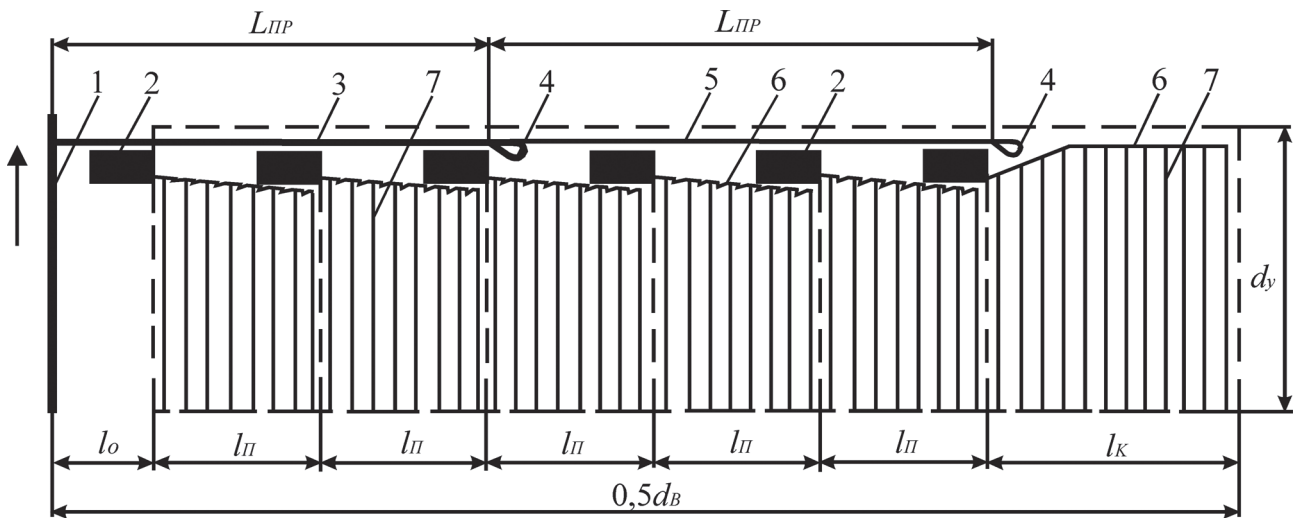


Рис. 2. Схема размещения погрузочных пунктов и петлевых разворотов на лесосеке: 1 – ветка; 2 – погрузочный пункт; 3 – ус с покрытием; 4 – петлевой разворот; 5 – грунтовый ус; 6 – магистральный волок; 7 – пасечный волок

Расстояние от лесовозной ветки до первого петлевого разворота составляет

$$L_{\Pi\Pi} = l_0 + (n - 1)l_{\Pi\Pi} \quad (9)$$

где  $l_0$  – расстояние от оси ветки до границы лесосеки, км.

Формула (8) является частным случаем зависимости (9) при  $l_0 = l_{\Pi\Pi}$  а поэтому далее будем использовать зависимость (9). Учитывая выражения (7) и (9), можно поиск оптимального расстояния между петлевыми разворотами  $L_{\Pi\Pi}$  свести к нахождению оптимального количества погрузочных пунктов или пар погрузочных пунктов, расположенных между петлевыми разворотами, то есть к обоснованию оптимального значения  $n$ .

При количестве погрузочных пунктов (пар погрузочных пунктов) между петлевыми разворотами  $n$  дополнительный пробег  $S$  составит

$$S = \sum_{j=1}^n S_j, \quad (10)$$

где  $S_j$  – дополнительный пробег для  $j$ -го погрузочного пункта или  $j$ -й пары погрузочных пунктов, км.

Схема размещения погрузочных пунктов и петлевых разворотов (рис. 2) позволяет установить дополнительный пробег подвижного состава для совершения маневра разворота по каждому погрузочному пункту или каждой паре погрузочных пунктов  $S_j$ . Для погрузочных пунктов, которые находятся не-

посредственно рядом с петлевым разворотом ( $n$ -я пара или  $n$ -й погрузочный пункт), данный пробег  $S_n$  составит

$$S_n = \frac{2l_{\text{дон}}k_{\text{PY}}Q_n}{k_{\text{исп}}Q_{\Pi}}, \quad (11)$$

где  $l_{\text{дон}}$  – расстояние от центра остановочной площадки до петлевого разворота, км;

$Q_n$  – объем древесины, вывозимый с погрузочных пунктов, которые находятся непосредственно рядом с петлевым разворотом, м<sup>3</sup>;

$k_{\text{исп}}$  – коэффициент использования полезной нагрузки подвижным составом;

$Q_{\Pi}$  – полезная нагрузка на автопоезд, м<sup>3</sup>.

Для погрузочных пунктов первой пары или первого погрузочного пункта при объеме вывозки  $Q_1$

$$S_1 = \frac{2k_{\text{PY}}[l_{\Pi}(n-1) + l_{\text{дон}}]Q_1}{k_{\text{исп}}Q_{\Pi}}. \quad (12)$$

Для погрузочных пунктов  $j$ -й пары или  $j$ -го погрузочного пункта при объеме вывозки  $Q_j$

$$S_j = \frac{2k_{\text{PY}}[l_{\Pi}(n-j) + l_{\text{дон}}]Q_j}{k_{\text{исп}}Q_{\Pi}}. \quad (13)$$

Затраты на дополнительный пробег подвижного состава для совершения маневра разворота  $C_{\Pi\Pi}$  с учетом формул (10)–(13) будут равны

$$C_{III} = \frac{200d_y \gamma k_{PY} b_{YX}}{k_{ucn} Q_{II}} \times \sum_{j=1}^n \{l_{II}(n-j) + l_{oon}\} (l_{II} + c_j) =$$

$$= \frac{200d_y \gamma k_{PY} b_{YX}}{k_{ucn} Q_{II}} \left\{ \sum_{j=1}^n [l_{II}(l_{II} + c_j)(n-j)] + \sum_{j=1}^n [l_{oon}(l_{II} + c_j)] \right\}. \quad (14)$$

Если учесть, что для погрузочных пунктов с номерами 1, 2, ..., (n-1)  $c_j = 0$ , то в зависимости (14) можно сделать следующие замены

$$\sum_{j=1}^n [l_{II}(l_{II} + c_j)(n-j)] = 0,5l_{II}^2(n^2 - n);$$

$$\sum_{j=1}^n [l_{oon}(l_{II} + c_j)] = l_{oon}(nl_{II} + c_n). \quad (15)$$

$$C_{III} = \frac{200d_y \gamma k_{PY} b_{YX}}{k_{ucn} Q_{II}} \times \{0,5l_{II}^2(n^2 - n) + l_{oon}(nl_{II} + c_n)\}. \quad (16)$$

Так как  $\sum_{j=1}^n (l_{II} + c_j) = nl_{II} + c_n$ , то

$$\sum_{j=1}^n Q_j = 100d_y \gamma (nl_{II} + c_n). \quad (17)$$

С учетом формул (16) и (17) целевая функция (5) примет вид

$$C_{суд} = \frac{C_P}{100d_y \gamma (nl_{II} + c_n)} + \frac{k_{PY} b_{YX}}{k_{ucn} Q_{II}} \left( \frac{l_{II}^2(n^2 - n)}{nl_{II} + c_n} + 2l_{oon} \right). \quad (18)$$

Возьмем от функции (18) производную по  $n$ , и, выполнив алгебраические преобразования, получим

$$\frac{dC_{суд}}{dn} = \frac{l_{II}}{(nl_{II} + c_n)^2} \times \left\{ \frac{l_{II} k_{PY} b_{YX} (n^2 l_{II} + 2nc_n + c_n)}{k_{ucn} Q_{II}} - \frac{C_P}{100d_y \gamma} \right\}. \quad (19)$$

Так как  $nl_{II} + c_n \neq 0$  и

$$\frac{l_{II}}{(nl_{II} + c_n)^2} \neq 0,$$

то условие экстремума функции (19)

$$\frac{l_{II} k_{PY} b_{YX} (n^2 l_{II} + 2nc_n + c_n)}{k_{ucn} Q_{II}} - \frac{C_P}{100d_y \gamma} = 0. \quad (20)$$

Оптимальное значение  $n$  – решение следующего уравнения

$$n^2 l_{II} + 2nc_n + c_n = \frac{C_P k_{ucn} Q_{II}}{100d_y \gamma l_{II} k_{PY} b_{YX}}. \quad (21)$$

$$n = -\frac{c_n}{l_{II}} + \sqrt{\frac{c_n^2}{l_{II}^2} - \frac{c_n}{l_{II}} + \frac{C_P k_{ucn} Q_{II}}{100d_y \gamma l_{II}^2 k_{PY} b_{YX}}}. \quad (22)$$

При  $c_n = 0$  формула (22) упрощается и примет вид

$$n = 0,1 \sqrt{\frac{C_P k_{ucn} Q_{II}}{d_y \gamma l_{II}^2 k_{PY} b_{YX}}}. \quad (23)$$

Формулы (22) и (23) позволяют рассчитать количество погрузочных пунктов между петлевыми разворотами, которое обеспечивает минимум суммарных удельных дополнительных затрат на устройство петлевых разворотов и дополнительный пробег автопоездов  $C_{суд}$  и позволяет оптимально размещать петлевые развороты на лесовозных усах, для чего используются зависимости (8) и (9).

### Выводы

1. Оптимальное размещение петлевых разворотов на лесовозных усах позволяет снизить затраты на вывозку древесины и обеспечить эффективную работу лесовозного автотранспорта.

2. Полученные зависимости для расчета количества погрузочных пунктов, размещаемых между петлевыми разворотами, позволяют на стадии проектирования разработать оптимальные схемы размещения погрузочных пунктов и петлевых разворотов на лесовозных усах.

### Библиографический список

1. СНиП 2.05.07-91\*. Промышленный транспорт / Госстрой России. – АПП ЦИТП, 1996. – 120 с.
2. Афоничев, Д.Н. Оптимизация размещения внутриплощадочных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий / Д.Н. Афоничев // Природопользование: ресурсы, техническое обеспечение: межвуз. сб. научн. тр. / ВГЛТА. – Воронеж, 2007. – Вып. 3. – С. 36–42.
3. Ильин, Б.А. Основы размещения лесовозных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий / Б.А. Ильин. – Л.: ЛТА, 1987. – 63 с.
4. Пядухов, А.В. Формирование транспортных сетей в лесосырьевых базах / А.В. Пядухов, Д.Н. Афоничев, С.М. Гоптарев. – Воронеж: ГОУ ВПО ВГЛТА, 2009. – 34 с.



## ПРОГНОЗ ВСПЛЫВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ, ОСТАВЛЕННОЙ ПОД ЗАТОПЛЕНИЕ В ЛОЖЕ ВОДОХРАНИЛИЩА БОГУЧАНСКОЙ ГЭС

В.П. КОРПАЧЕВ, *проф. каф. использования водных ресурсов СибГТУ, канд. техн. наук,*  
А.И. ПЕРЕЖИЛИН, *ст. преподаватель каф. использования водных ресурсов СибГТУ,*  
А.А. АНДРИЯС, *доц. каф. использования водных ресурсов СибГТУ, канд. техн. наук*

*ivr@sibstu.kts.ru*

**А**нтропогенные преобразования водных ресурсов достигли глобальных масштабов, и поэтому сейчас мы вынуждены считаться с фактом уже произошедших изменений. Все преобразования преследуют решение определенных практических задач и чаще всего удовлетворительно выполняют возложенную на них функцию. Ярким примером могут служить созданные водохранилища ГЭС в Ангаро-Енисейском регионе. На Енисее и Ангаре появились 6 водохранилищ (4 крупные): Саяно-Шушенское, Майнское, Красноярское, Иркутское, Братское, Усть-Илимское и создается Богучанское.

В структуре энергетического обеспечения России доля ГЭС составляет 22 %, ТЭС – 67 %, АЭС – 11 %. Потенциал экономически эффективных гидроресурсов Сибири составляет 369 млрд кВт·ч – более 46 % от общероссийского. Основные гидроэнергетические ресурсы сосредоточены в бассейнах рек Енисея и Ангары (72 %).

К числу перспективных ГЭС в Ангаро-Енисейском бассейне, кроме строящейся Богучанской ГЭС, относятся Нижнебогучанская, Выдумская и Стрелковская на реке Ангаре, Эвенкийская с контррегулятором на реке Нижняя Тунгуска и Нижне-Курейская на реке Курейке [1].

Авария на Саяно-Шушенской ГЭС показала, что при проектировании, строительстве и эксплуатации ГЭС необходимо предусматривать все ситуации и причины возможных дополнительных нагрузок, возможных разрушений, отказов аппаратуры и т.д.

Международная комиссия по крупным плотинам (МККП) провела глобальный обзор информации о разрушении плотин и представила причины разрушения крупных плотин за последние четыре десятилетия [2]. К сожалению, в отчете МККП и в научных публикациях водохранилище рассмат-

ривается в основном как емкость для сбора и хранения воды, хотя по финансовым затратам доля затрат на подготовку ложа водохранилища под затопление, природоохранные и компенсационные мероприятия составляет от 20 до 50 % от общих затрат на строительство гидроузла.

Особенность строительства крупных ГЭС в Сибири заключается в том, что водохранилища создаются на лесопокрытых территориях с запасом древесно-кустарниковой растительности (ДКР) до 200 м<sup>3</sup> на один гектар, а уборка ее перед затоплением сопряжена с определенными трудностями.

Многолетний опыт наблюдений за подготовкой, созданием и эксплуатацией водохранилищ ГЭС в лесных регионах выявил проблемы экологического, экономического и социального направлений. Одной из экологических проблем эксплуатации водохранилищ является засорение их плавающей и затопленной древесной массой, загрязнение органическими веществами.

Очистка водохранилищ ГЭС от плавающей и затопленной древесной массы повышает безопасность гидротехнических сооружений, улучшает не только экологическую обстановку на водоемах, но и позволяет вовлечь в производство миллионы кубических метров так называемой бесхозной древесины, что позволяет сохранить от вырубki сотни тысяч гектаров лесопокрытых территорий.

Наиболее изученным с точки зрения освоения плавающей древесины является водохранилище Братской ГЭС. В период с 1967 по 1990-е годы в водохранилище поступило около 9 млн м<sup>3</sup> древесной массы. За эти же годы было убрано с акватории водохранилища и передано Братскому ЛДК более 6 млн м<sup>3</sup> древесины, однако запасы плавающей древесины начиная с 1964 г. практически не уменьшаются.

**Основные таксационные показатели зоны затопления водохранилища БогЭС**

Показатели	Красноярский край	Иркутская область	Всего
Общая площадь земель, га	138051	16861	154912
Площадь лесных земель, га	115854	14314	130168
Площадь, покрытая древесной и кустарниковой растительностью, га	108461	14052	122513
Площадь с товарными запасами по данным инвентаризации, га	31614	5969	37583
Площадь лесоочистки, га	13320,8	–	13320,8
Общий запас древесной и кустарниковой растительности, тыс. м <sup>3</sup>	8191,4	1367,8	9559,2
Запас товарных насаждений, тыс. м <sup>3</sup>	4351,0	932,8	5283,8
Запас ДКР на спецучастках, тыс. м <sup>3</sup> , в том числе:	912,2		912,2
– I этап	243,1	–	
– II этап	669,1		
Запас товарной древесины на спецучастках, тыс. м <sup>3</sup> , в том числе:			547,3
– I этап	547,3	–	
– II этап	169,1		
	378,2		
Запас ДКР после проведения лесоочистки, тыс. м <sup>3</sup>	7279,2	1367,8	8647,0
Объем ДКР после проведения лесосводки, тыс. м <sup>3</sup>	4386,1	435,0	4821,1
Объем ДКР после проведения лесосводки и лесоочистки, тыс. м <sup>3</sup>	3473,9	435,0	3908,9
Запас сухостоя, тыс. м <sup>3</sup>	306,95	87,50	394,45
Захламленность, тыс. м <sup>3</sup>	881,0	133,4	1015,4
Средний запас, м <sup>3</sup> /га:			
– площади товарных насаждений	137,6	156,2	140,6
– общей площади	59,4	81,1	61,7

Многолетние наблюдения показали, что на водохранилище Братской ГЭС идет непрерывный процесс возобновления запасов плавающей древесной массы. Аналогичная ситуация наблюдается и на Усть-Илимском водохранилище.

В водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС было затоплено 3,5 млн м<sup>3</sup>. Лесосводка практически не производилась. По оценке ГОУ ВПО «СибГТУ», выполненной в 2008 г., запасы плавающей древесной массы составляют около 0,7 млн м<sup>3</sup>.

С целью разработки мероприятий по очистке водохранилищ ГЭС от затопленной и плавающей древесной массы уже на стадии проектирования необходимо составление прогноза ее всплывания на акваторию для различных сценариев подготовки ложа.

Прогноз всплывания древесной массы составлен на основе инвентаризации ДКР в зоне затопления Богучанской ГЭС (БогЭС)

с отметкой нормального подпорного уровня (НПУ) 208,0 м, проведенной филиалом ФГУП «Рослесинфорг» «Востсиблеспроект» в 2007 г.

Основные исходные данные, составленные по материалам таксационных описаний зоны затопления водохранилища БогЭС, необходимые для определения объемов затопления и разработки прогноза поступления древесной массы на акваторию водохранилища, представлены в табл. 1.

В работе рассматриваются четыре возможных сценария проведения работ по лесосводке и лесоочистке ложа водохранилища Богучанской ГЭС.

Вариант I. В ложе водохранилища проводятся только работы по лесоочистке спецучастков на территории Кежемского района Красноярского края на площади 13320,8 га. На территории Усть-Илимского района Иркутской области работы по лесосводке и лесоочистке не проводятся.

**Объемы затопления ДКР по вариантам  
подготовки ложа водохранилища**

Вариант подготовки ложа	Планируемые работы			Объем затопляемой ДКР, тыс. м <sup>3</sup>
	Красноярский край		Иркутская область	
	л/о	л/с	л/с	
I	+	–	–	8647,0
II	+	+	+	3910,5
III	+	–	+	7714,2
IV	+	+	–	4843,3

Примечания: л/о – проводятся работы по лесочистке на территории участков специального назначения (спецучастки); л/с – проводятся работы по уборке товарной древесины в зоне затопления

**Объемы плавающей древесной массы, которая поступит после заполнения  
на акваторию водохранилища БoГЭС при различных вариантах проведения  
работ по лесосводке и лесочистке**

Показатели	Объемы плавающей древесной массы по вариантам, тыс. м <sup>3</sup>							
	непосредственно после заполнения				после первого года эксплуатации			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Всплывшие порубочные остатки:								
– от первой лесосводки	209,00	209,00	209,00	209,00	209,00	209,00	209,00	209,00
– от второй лесосводки на территории Красноярского края	–	173,88	–	173,38	–	173,88	–	173,88
– от лесосводки на территории Иркутской области	–	35,22	35,22	–	–	35,22	35,22	–
Отпад древесины в береговой зоне	–	–	–	–	426,86	193,04	380,81	239,10
Всплывший сухостой и валежник	470,51	282,3	436,21	316,08	470,51	282,3	436,21	316,08
Вынос древесины из рек, не задействованных в целях лесосплава	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Разнесенная древесина вдоль уреза воды	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20
Потери от стихийных бедствий, неучтенные	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Потери от деятельности лесосплавных и лесозаготовительных предприятий	–	–	–	–	20,20	20,20	20,20	20,20
Размыв берегов	–	–	–	–	173,05	173,05	173,05	173,05
Итого	701,94	722,83	702,86	720,89	1322,05	1109,12	1276,92	1153,74

Предполагается затопление сырорастущей ДКР, без учета объема убранной в процессе лесочистки спецучастков на территории Кежемского района Красноярского края, в объеме  $9559,2 - 912,2 = 8647,0$  тыс. м<sup>3</sup>. Это самый неблагоприятный вариант.

Вариант II. Предусматривается проведение лесосводки и лесочистки на территории Красноярского края и проведение лесосводки в границах водохранилища на территории Иркутской области (т.е. всего необходимого комплекса работ согласно требованиям СанПиН 3907-85)  $9559,2 - 4736,5 - 912,2 = 3910,5$  тыс. м<sup>3</sup>.

Вариант III. Предусматривается лесочистка спецучастков ложа водохранилища на территории Красноярского края и проведение лесосводки в границах Иркутской области  $9559,2 - 912,2 - 932,8 = 7714,2$  тыс. м<sup>3</sup>.

Вариант IV. Предусматривается проведение работ в плановом объеме по лесосводке и лесочистке только на территории ложа водохранилища в границах Красноярского края  $9559,2 - 912,2 - 3803,7 = 4843,3$  тыс. м<sup>3</sup>.

Для удобства представим полученные материалы в виде таблицы (табл. 2).

**Прогноз затопления и поступления плавающей древесины на акваторию водохранилища БоГЭС для рассматриваемых вариантов через год после заполнения водохранилища до отметки НПУ 208,0 м (тыс. м<sup>3</sup>)**

Варианты подготовки ложа	Будет затоплено сырораствушей ДКР	Всплытие порубочных остатков после первой лесосводки	Поступление древесины из рек	Поступление древесины от размыва берегов	Поступление древесины от технологических операций	Поступление древесины от стихийных бедствий	Поступление древесины от отпада в прибрежной полосе вдоль водохранилища (отм. 190,0 – 208,0 м)	Поступление древесины от засорения разнесенной древесины	Всплытие порубочных остатков от повторной лесосводки			Всплытие сухостоя и валежника по материалам инвентаризации (2006–2007 гг.)	Всего плавающей древесины	
									Красноярский край	Иркутская область	всего		непосредственно после заполнения	после 1-го года эксплуатации
I	8647,0	209,0	0,23	173,05	20,2	3,0	426,86	19,2	–	–	–	470,51	701,94	1322,05
II	3910,5	209,0	0,23	173,05	20,2	3,0	193,04	19,2	173,88	35,22	209,10	282,30	722,83	1109,12
III	7714,2	209,0	0,23	173,05	20,2	3,0	380,81	19,2	–	35,22	35,22	436,21	702,86	1276,92
IV	4843,3	209,0	0,23	173,05	20,2	3,0	239,10	19,2	173,88	–	173,88	316,08	720,89	1153,74

Объем поступления древесной массы на акватории водохранилища БоГЭС определяется по методике прогнозирования поступления древесной массы на акваторию водохранилищ, разработанной на кафедре ИВР СибГТУ и представленной в отчете НИР [3] и опубликованной в работах [4–6].

Объемы поступления древесной массы на акваторию водохранилища БоГЭС непосредственно после заполнения до отметки НПУ 208,0 м и после первого года эксплуатации определены для всех вариантов подготовки ложа водохранилища и представлены в табл. 3.

В табл. 4 представлен прогноз затопления и поступления плавающей древесины на акваторию водохранилища БоГЭС для рассматриваемых вариантов через год после заполнения до отметки НПУ 208,0 м.

Анализ результатов прогноза при проведении работ по четырем вариантам (табл. 3–4) позволяет сделать следующие выводы:

1) вариант I – при подготовке ложа водохранилища под затопление выполняются работы только по лесочистке спецучастков в ложе водохранилища на территории Красноярского края при его заполнении до отметки НПУ 208,0 м. Объем затопленной ДКР составит 8647,0 тыс. м<sup>3</sup>. Объем плавающей древесины на акватории водохранилища составит: непосредственно при заполнении

водохранилища до отметки НПУ 208,0 м – 701,94 тыс. м<sup>3</sup>, после первого года эксплуатации водохранилища – 1322,05 тыс. м<sup>3</sup>.

2) вариант II – при подготовке ложа водохранилища под затопление выполняются в полном объеме работы по лесочистке и лесосводке на территории Красноярского края и лесосводки на территории Иркутской области. Объем затопленной ДКР составит 3910,5 тыс. м<sup>3</sup>. Объем плавающей древесины на акватории водохранилища составит: непосредственно при заполнении водохранилища до отметки НПУ 208,0 м – 722,83 тыс. м<sup>3</sup>, после первого года эксплуатации водохранилища – 1109,12 тыс. м<sup>3</sup>.

3) вариант III – при подготовке ложа водохранилища под затопление выполняются в полном объеме работы по лесочистке на территории Красноярского края и лесосводке на территории Иркутской области. Объем затопленной ДКР составит 7714,2 тыс. м<sup>3</sup>. Объем плавающей древесины на акватории водохранилища составит: непосредственно при заполнении водохранилища до отметки НПУ 208,0 м – 702,9 тыс. м<sup>3</sup>, после первого года эксплуатации водохранилища – 1276,9 тыс. м<sup>3</sup>.

4) вариант IV – при подготовке ложа водохранилища под затопление выполняются только работы по лесосводке и лесочистке на территории Красноярского края. Объем затоп-

ленной ДКР составит 4843,3 тыс. м<sup>3</sup>. Объем плавающей древесины на акватории водохранилища составит: непосредственно при заполнении водохранилища до отметки НПУ 208,0 м – 720,89 тыс. м<sup>3</sup>, после первого года эксплуатации водохранилища – 1153,74 тыс. м<sup>3</sup>.

5) Расчеты показывают, что разность в объемах поступления древесной массы на акваторию водохранилища непосредственно после заполнения ложа водохранилища для первого варианта (только лесочистка на территории Красноярского края) и второго варианта (проведения в полном объеме работ по лесосводке и лесочистке на территории Красноярского края и Иркутской области) составляет около 1,5 %. При сравнении объемов поступления древесной массы на акваторию водохранилища через год после эксплуатации эта разность увеличивается до 16 %, т.е. практически на объем плавающей древесной массы, которая всплывет и будет находиться на акватории водохранилища сразу после наполнения, не влияют варианты проведения работ по лесосводке и лесочистке. Однако это будет ощутимо заметно в последующие годы эксплуатации.

Авторы еще раз хотят обратить внимание, что в работе рассмотрен вопрос только количественной составляющей затронутой проблемы, без вскрытия проблем и механизмов влияния объемов затапливаемой древесины на качество воды и состояние экосистемы водного объекта.

### Библиографический список

1. Лапин, Г.Г. О состоянии и перспективах развития гидроэнергетики России / Г.Г. Лапин, В.В. Смирнов, Е.И. Вакова // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 6. – С. 9–15.
2. Плотины и развитие. Новая методическая основа для принятия решений: Отчет Всемирной комиссии по плотинам. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. – 200 с.
3. Разработка прогноза засорения и загрязнения водохранилища Богучанской ГЭС древесной массой и органическими веществами, комплекса предложений по очистке водохранилища от древесной массы: отчет о НИР / ГОУ ВПО «Сибирский госуд. техн. ун-т»; рук. В.П. Корпачев. – Красноярск, 2006. – 85 с.
4. Корпачев, В.П. Методика прогнозирования поступления древесной массы при затоплении и эксплуатации водохранилищ ГЭС Ангаро-Енисейского региона / В.П. Корпачев, Л.И. Малинин, М.М. Чебых // Сб. научн. тр. всесоюзн. научно-практ. конф. «Использование и восстановление ресурсов Ангаро-Енисейского региона». – Том II. – Красноярск, Лесосибирск, 1991. – С. 107–113.
5. Корпачев, В.П. Методика прогнозирования засорения древесной массой водохранилищ ГЭС Сибири / В.П. Корпачев // Лесное хозяйство. – 2004. – С. 21–23.
6. Корпачев, В.П. Засорение и загрязнение водохранилищ ГЭС Ангаро-Енисейского региона древесной массой и органическими веществами / В.П. Корпачев; Сибирский госуд. техн. ун-т. – Красноярск, 2004. – 118 с. – Деп. в ВИНТИ 15.12.04, № 1994-В2004.
7. СанПиН 3907-85. Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ. Утв. заместителем главного государственного врача СССР 01.07.1985 г.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА ВАРИАНТОВ ПРОКЛАДКИ ТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЛЕКСА ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ С СОВМЕЩЕННЫМ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕМ

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

*njkg@rambler.ru*

В настоящее время на кафедре технологии и оборудования лесопромышленных производств (ТОЛП) МарГТУ совместно с МГУЛ проведены исследования пересадки подроста из-под полога леса. В ходе исследования выявлены различные возможные технологические схемы пересадки подроста. Проведенный

анализ показал, что наиболее эффективно проведение лесовосстановительных работ без организации мест временного хранения, погрузка и выгрузка подроста на которых требует дополнительных трудовых и денежных затрат. Данный вариант возможен в том случае, когда места выкопки и посадки находятся вблизи

друг от друга. Разработанный в настоящее время способ поквартального освоения, предусматривающий последовательное проведение всех видов работ в квартале, предоставляет возможность максимально концентрировать объемы лесосечных работ и работ по пересадке подроста в его пределах, а рациональная технология разработки квартала, развития его инфраструктуры позволит сократить затраты на комплексное выполнение лесосечно-лесовосстановительных работ.

Связав между собой две технологии – технологию лесосечных работ и новую технологию лесовосстановления, можно значительно повысить эффективность лесопользования, но для реализации данной технологии необходимы дополнительные исследования.

Цель исследований: создание условий превращения кварталов (блоков кварталов) в структурную единицу организационно-хозяйственного обустройства территории с сетью лесовозных дорог, волоков, технологических коридоров, лесопромышленных складов и мест временного хранения подроста с учетом всего срока аренды участка лесного фонда и обоснованием основных технологических параметров квартала, позволяющих сократить перемещения техники, повысить доступность разрабатываемых выделов и производительность машин, задействованных при выполнении комплекса лесосечно-лесовосстановительных работ с пересадкой подроста из-под полога леса, снизить негативные последствия лесозаготовок. Блок-схема выбора рациональной технологии освоения квартала представлена на рис. 1.

Характерными особенностями прокладки транспортных путей в пределах квартала и размещения на его территории погрузочных пунктов и мест временного хранения подроста при проведении на его территории комплекса лесосечно-лесовосстановительных работ с пересадкой подроста из-под полога леса являются:

- необходимость транспортировки грузов (лесоматериалы, подрост) не только в направлении к поквартальным просекам, но и в глубь квартала;
- возможность размещения мест временного хранения подроста на всей террито-

рии квартала, вблизи магистральных волоков, без привязки к постоянным путям лесовозного автотранспорта, в то время как с целью обеспечения возможности вывозки заготовленных лесоматериалов погрузочные пункты должны располагаться вблизи поквартальных просек и имеющихся на территории квартала лесовозных дорог.

С учетом вышесказанного выявлена целесообразность прокладки транспортных путей (магистральных волоков и технологических коридоров) в пределах квартала таким образом, чтобы проложенные магистральные и пасечные волоки:

- обеспечивали возможность как транспортировки лесоматериалов к поквартальным просекам и лесовозным дорогам с различных участков квартала, так и транспортировку подроста при стремлении к минимуму суммарных трудовых и материальных затрат на обустройство погрузочных пунктов, мест временного хранения подроста, выполнение переместительных операций в ходе осуществления всего комплекса лесосечно-лесовосстановительных работ;

- обеспечивали доступность всех выделов на территории квартала во все периоды его освоения с возможностью трелевки лесоматериалов и транспортировки подроста в нескольких направлениях с целью обеспечения возможности разработки выделов на всем протяжении аренды участка лесного фонда при недоступности для использования по лесохозяйственным соображениям основных направлений транспортных путей, обеспечивающих транспортировку перевозимых грузов по экономически целесообразному расстоянию;

- не имели хаотичную направленность, а были взаимно согласованы, взаимозаменяемы и систематизированы, с возможностью использования магистральных и отдельных пасечных волоков в течение всего периода аренды квартала на различных этапах его освоения;

- обеспечивали возможность транспортировки подроста в глубь квартала, а также на любой из его участков без необходимости выезда агрегата для выкопки и пересадки подроста на поквартальные просеки;

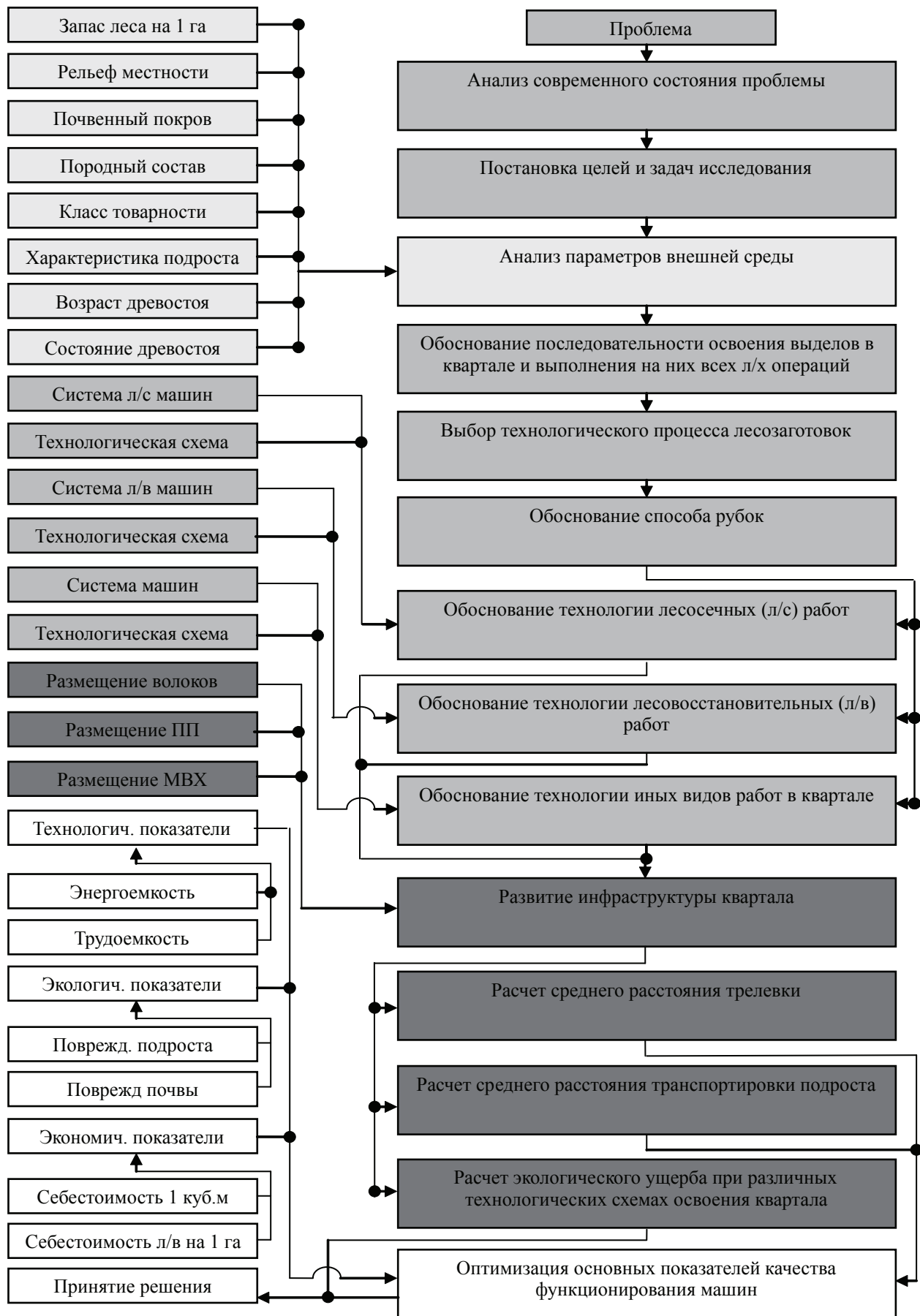


Рис. 1. Блок-схема выбора рациональной технологии освоения квартала

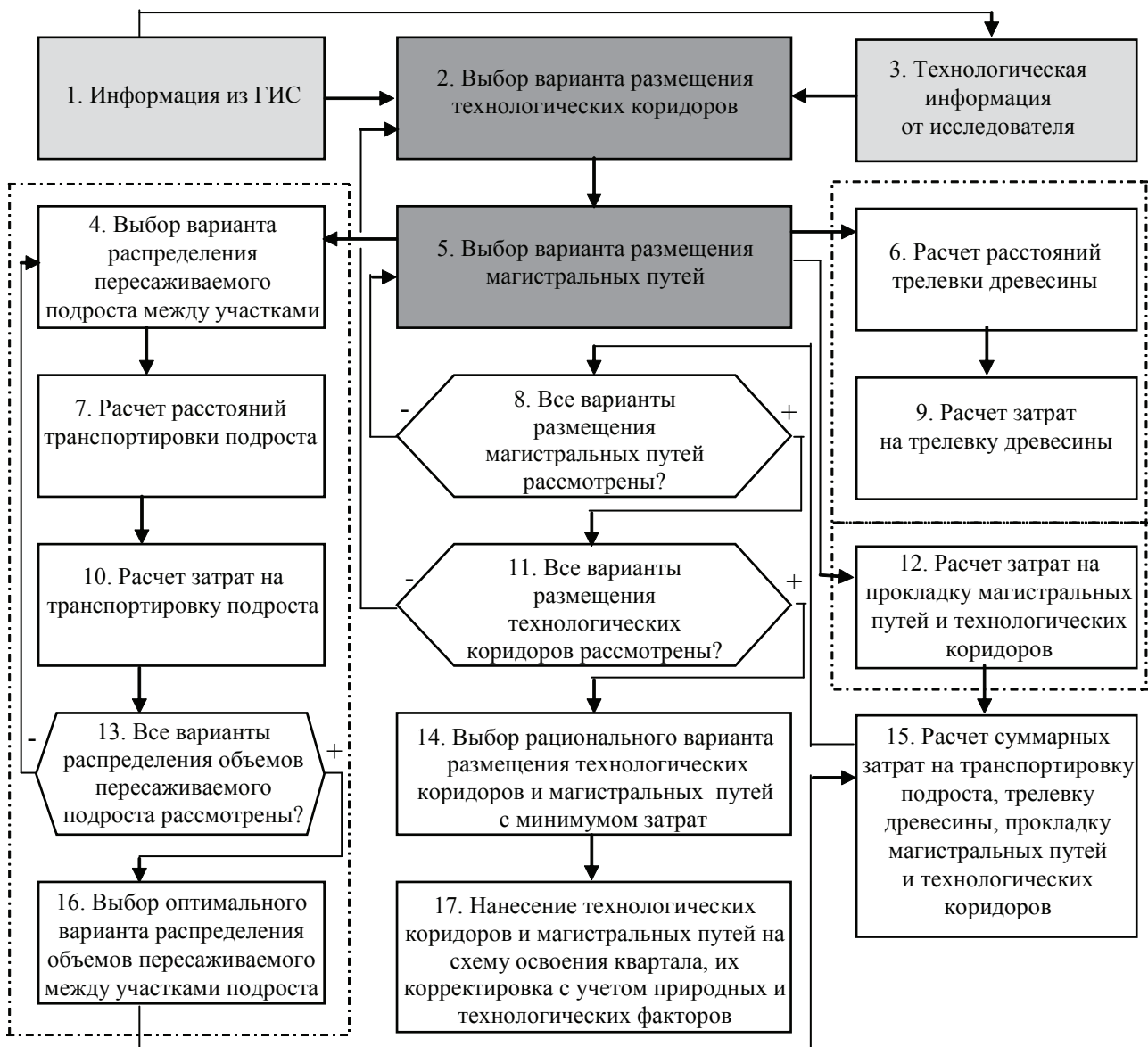


Рис. 2. Алгоритм решения задачи анализа вариантов прокладки транспортных путей в квартале с использованием ГИС

– обеспечивали удобство перемещения агрегата для выкопки и посадки подростка между магистральными волоками при транспортировке подростка и участками квартала, расположенными в различных его частях;

– обеспечивали рациональное с теоретической, практической и лесохозяйственной точек зрения расстояние транспортировки подростка между местами выкопки и посадки;

– максимально соответствовали существующей сети дорог, прогалин, молодняков лиственных пород, свободных от деревьев мест и учитывали особенности рельефа местности и природные условия в границах каждого из выделов, входящих в состав квартала.

Применение алгоритма (рис. 2) основывается на использовании данных геоинформационной системы (ГИС): пространственных характеристик разрабатываемых выделов; информации о наличии или отсутствии подростка, запаса леса на территории разрабатываемых участков и т.д. (Блок 1).

Выбор участка для проведения рубок осуществляется пользователем путем выделения его на геоинформационной карте. Пользователь на основе полученной из ГИС информации и с учетом технологических особенностей ведения работ при осуществлении необходимых видов рубок на планируемых участках квартала определяет вырубемый запас древостоя, количество подростка, нуждающегося в пересадке,



вводит данные о технологии и организации работ, используемых машинах для выполнения переместительных операций (Блок 3). Он предлагает предварительный вариант размещения технологических коридоров (Блок 2) в пределах квартала и вариант размещения магистральных путей, необходимых для транспортировки подроста между участками и трелевки древесины с рассматриваемых участков к технологическим коридорам и (или) поквартальным просекам. Дальнейшее изменение заданных направлений транспортных путей осуществляется при пересчете и сравнении различных вариантов. Информация из блока 1 переходит в блок 2 посредством считывания значений всех признаков осваиваемых участков, необходимых для выполнения последующих шагов алгоритма.

На основе полученной из ГИС информации, данных пользователя, информации о предварительном размещении технологических коридоров и магистральных путей выполняются три основных этапа расчета: определение затрат на транспортировку подроста между участками и местами временного хранения подроста (если они предусмотрены технологией работ) (Блоки 4, 7, 10, 13, 16); определение затрат на прокладку технологических коридоров и магистральных путей (Блок 12). Выполнение данных блоков сопровождается расчетом производительности лесосечных и лесовосстановительных машин, задействованных на переместительных операциях.

Одновременно с расчетом затрат на выполнение работ по транспортировке подроста алгоритм предусматривает решение транспортной задачи об эффективном выборе варианта распределения объемов пересаживаемого подроста между участками. Цель данного этапа – нахождение таких объемов подроста, транспортируемых с каждого разрабатываемого участка, на которых возможно его повреждение на каждый участок, пройденный лесосечными работами, где количество подроста недостаточно для эффективного лесовосстановления, при котором суммарная себестоимость транспортировки была бы минимальна.

В ходе работы программы, использующей в основе подобный алгоритм выполнения расчетов, осуществляется перебор всех

вариантов прокладки технологических коридоров и всех возможных при каждом из них вариантов размещения магистральных путей с постепенной минимизацией целевой функции. В качестве последней принимаются суммарные затраты на перемещение по рассматриваемым транспортным путям подроста и древесины, а также затраты на их размещение (Блок 15). Полученные в результате анализа данные расчетов соответствуют рациональному варианту размещения транспортных путей с минимумом затрат на выполнение данного вида работ (Блок 14). Результатом работы программы (Блок 17) является нанесение искомых параметров разработки квартала: технологических коридоров и магистральных путей на схему освоения квартала. При этом к каждому конкретному участку нужно подходить индивидуально, а места для прокладки волоков необходимо назначать после тщательного осмотра насаждений и корректировать их с учетом природных и технологических условий. Особое внимание должно быть уделено постоянству коммуникационной сети, которая должна быть однажды спроектирована с учетом включения в нее технологических элементов. В дальнейшем ее совершенствование должно проходить в основном в направлении улучшения целевого функционирования лесоучастка. В связи с наличием на каждом участке уже сложившейся или сформированной ранее коммуникационной сети в квартале какую-то общую схему технологического освоения участков давать не следует. Недостающую часть рабочей транспортно-погрузочной сети необходимо наметить таким образом, чтобы ее элементы (технологические линии и площадки) после окончания работ не ухудшили в целом сложившийся ландшафт, а стали дополнением к имеющейся сети дорог и полей. В связи с этим технологические линии прокладывают не всегда прямолинейно и в направлении, обеспечивающем наиболее рациональное использование машин и рабочей силы.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской деятельности ГОУ ВПО «Марийский государственный технический университет» по заданию Федерального агентства по образованию в 2010 г. №1.1.10.

## СИСТЕМА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ ЛЕСА В УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

И.Н. КРУЧИНИН, доц. каф. транспорта и дорожного строительства УГЛТУ, канд. техн. наук,  
Ю.В. ЛЕБЕДЕВ, проф. каф. земельного кадастра УГЛТУ, д-р. техн. наук,  
С.И. БУЛДАКОВ, проф. каф. транспорта и дорожного строительства УГЛТУ, канд. техн. наук

*kin@usfeu.ru*

**В**основных задачах «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года» повышенное внимание уделяется развитию инфраструктуры в регионах реализации приоритетных инвестиционных проектов и освоению новых лесных массивов.

Одним из ключевых элементов лесного комплекса являются лесотранспортные операции, состоящие из перемещения древесины по лесосеке, а затем по сети лесовозных автомобильных дорог.

Эффективность работы лесозаготовительной отрасли определяется степенью развитости сети лесовозных дорог. Согласно распоряжению Правительства РФ от 1 ноября 2002 г. № 1540-р предусматривался ежегодный рост строительства лесовозных дорог круглогодичного действия. Лесовозные автомобильные дороги, имеющие выход на магистралу общего пользования, должны в перспективе включиться в общегосударственную сеть автомобильных дорог РФ. При таком подходе лесовозные автомобильные дороги должны соответствовать требованиям государственных стандартов, установленным для дорог общего пользования.

Анализ дорожной сети Свердловской области показал, что сеть лесовозных автомобильных дорог в настоящее время находится в неудовлетворительном состоянии. Постановлением Правительства Свердловской области от 10.07.2008 г. за № 698 – ПП утвержден перечень, состоящий из 1075 автомобильных дорог общего пользования регионального значения общей протяженностью 10 839,480 км. При этом лесовозные дороги в нем отсутствуют.

Принимая во внимание, что лесные грузы в конечном итоге попадают к потребителю по дорогам общего пользования (при этом к ним относятся и подъездные пути к

погрузочным пунктам УЖД и РЖД), дорожный сетевой ресурс должен переработать весь объем заготовленной древесины.

Согласно классификации ГОСТ Р 52398-2005 «Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования» и Постановлению Правительства Российской Федерации от 11 апреля 2006 г. «О некоторых вопросах, связанных с классификацией автомобильных дорог в Российской Федерации» установлены новые принципы классификации российских автомобильных дорог. В частности, лесовозная транспортная сеть попала в раздел ведомственных и частных автомобильных дорог. Появился новый термин – лесные дороги.

Лесные дороги – это дороги, расположенные на землях лесного фонда. Они предназначены для обслуживания потребности лесного хозяйства с целью обеспечения доступа органов управления лесным хозяйством и лесопользователей к конкретным лесным массивам. Лесные дороги примыкают к дорогам общего пользования, железнодорожным станциям и к нижним складам лесозаготовительных предприятий. В зависимости от назначения лесные дороги подразделяют на лесовозные – для вывозки древесины; лесохозяйственные – для обеспечения выполнения лесохозяйственных мероприятий; противопожарные – обеспечивающие маневрирование пожарно-технических средств; хозяйственные – предназначенные для транспортировки грузов хозяйственного назначения от путей общего пользования до предприятий; туристские дороги – для доступа в отдельные районы, на туристские базы, в зоны отдыха, в охотничьи хозяйства и т.д.

При этом именно лесовозные дороги имеют наибольшую грузонапряженность, интенсивность движения и, как следствие, наиболее высокие технические характеристики.

В зависимости от срока действия и количества перевозимого груза лесовозные дороги подразделяются по конструкции дорожной одежды, а по назначению – на магистрали, ветки и усы.

С экологической точки зрения любая автомобильная дорога наносит вред окружающей среде. При этом не важен тип автомобильной дороги и конструкция дорожных одежд, т.е. в равной мере экологически опасны и временные грунтовые дороги и дороги с капитальным типом покрытия, чего нельзя сказать об эффективности их использования.

Особое место в лесотранспортном процессе отводится перемещению древесины по лесосеке. Так как технологические процессы лесосечных работ рассматриваются как иерархическая система: лесосека, деланка, пасека, то основной технологической задачей становится размещение лесовозных усов, магистральных и пасечных волоков [1]. При этом как разработчики лесотранспортных машин (ЛТМ), так и эксплуатационники рассматривают негативное экологическое воздействие на лесную экосистему лишь в виде определенных ограничений (нормальное давление на опорную поверхность, тип ходового устройства, колеобразование и т.д.).

Наличие в Уральском регионе лесов, относящихся по почвенно-грунтовым условиям к 3 и 4 категориям с несущей способностью около 50-70 кПа, а это составляет около 57 % всей площади, привело к тому, что их освоение возможно лишь в зимний период. При этом эколого-экономический анализ изменения ландшафтнообразующей функции снежного покрова на лесную экосистему в настоящее время не проводился.

Целью работы является создание системы рационального управления лесотранспортными процессами в Уральском регионе с учетом эколого-экономической оценки воздействия лесотранспортной сети на лесную экосистему. В общем виде структурная схема системы представлена на рис. 1.

Решение поставленной задачи основывается на системном анализе, предполагающем формирование параметров состояния (X) и параметров управления (Y). При этом формирование системы рационального управления транспортом леса производится

с использованием многофакторного пространства, т.к. любая группа параметров в зависимости от поставленной цели может характеризовать как состояние системы, так и управление ею.

На рис. 1 представлены следующие параметры системы.

**[a]–Природно-климатические условия:** природные зоны; климат; почво-грунтовые условия; гидрологический режим территории; ландшафтнообразующая среда.

**[b]– Природно-ресурсный потенциал лесов:** лесные ресурсы; средоформирующие функции; социальные функции; биологическое разнообразие.

**[c]–Стратегия развития лесного комплекса:** повышение ресурсно-экологического потенциала; ежегодное освоение до 30 млн м куб.; перевод лесных дорог в дороги общего пользования; разработка импортозамещающих ЛТМ, работающих в сложных природных условиях.

**[d]–Эксплуатационно-ресурсный потенциал:** запас древесины; характеристика древостоев; территориальное размещение ресурсного потенциала; экологическая устойчивость лесов.

**[e]–Экологическое воздействие:** загрязнение воздуха атмосферы; изменение гидрологического режима территории; загрязнение почв; акустическое воздействие на лесную фауну; воздействие на традиционное природопользование.

**[h]–Правовые акты:** лесной кодекс; закон об автомобильных дорогах; целевая программа дорожных работ по Свердловской обл.; перечень действующих нормативно-технических документов Росавтодора и Минтранса.

**[k]–Схема транспортного освоения:** постоянно действующая транспортная сеть; временные зимние дороги; смешанная схема; сеть автомобильных дорог общего пользования; первичная лесотранспортная сеть.

**[l]–Режим транспортировки леса:** весь год; только в зимний период; комплексный режим; сезонность условий эксплуатации.

**[m]–Системы машин:** трелевочные машины; сортиментовозы повышенной проходимости; самопогружающиеся автопоезда; сортиментовозы; лесовозные автопоезда.

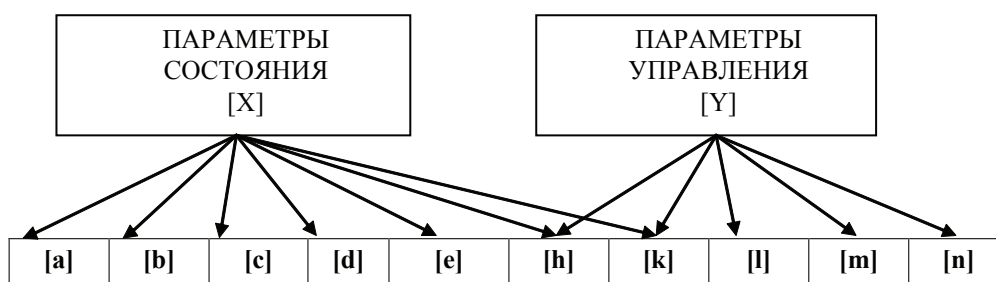


Рис. 1. Система рационального управления лесотранспортными процессами

**[n]–Экономические:** цена, стоимость машин; затраты на транспортировку; стоимость лесных ресурсов; цена на продукцию.

Параметры состояния могут быть независимыми (лесные земли, климат, почво-грунтовые условия, гидрологические условия) так и зависимыми (производственные, характеристика дорожной сети, подвижной состав и т.д.).

Качество рационального управления транспортом леса оценивается показателями эффективности, которыми могут быть любые из параметров состояния или управления.

В общем виде задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом: поиск для существующих параметров состояния [X] рационального управления транспортом леса оптимальных значений параметров управления [Y] с тем, чтобы ущерб лесам был минимален, или подбор параметров состояния [X] при заданном управляющем воздействии [Y].

В формализованном виде для задачи первого вида величина снижения природно-ресурсного потенциала лесных экосистем [2] от лесотранспортного процесса в виде целевой функции имеет вид

$$U = \{h, k, l, m, n\} \rightarrow \text{ext} \quad \text{при } \{a, b, c, d, e, h\} = \text{const.} \quad (1)$$

В общем виде критерий эффективности рациональным управлением транспорта леса в векторной форме имеет вид

$$U = f(\max D; \max S; \min Z) \rightarrow \text{ext}, \quad (2)$$

где  $\max D$  – максимум эффективности использования ресурсного потенциала леса при соблюдении заданных условий;

$\max S$  – максимальное сохранение природного потенциала леса;

$\min Z$  – минимум суммарных затрат живого и овеществленного труда в сфере транспорта леса.

Критерий  $\max D$  отражает увеличение расчетной лесосеки, повышение эффективности использования лесовозной транспортной сети (повышение осевой нагрузки на транспортные средства, увеличение скорости движения и т.д.), оптимизация сортиментного плана лесозаготовок, применение ЛТМ, щадящих природную среду, сокращения энергозатрат на переместительные операции.

Критерий  $\max S$  отражает предотвращенный вред лесной экосистеме (лесные почво-грунты или почвопреобразующий, средоформирующий, биотопреобразующий, т.е. косвенный ущерб).

Критерий  $\min Z$  отражает учет занятости трудовых ресурсов и технические условия транспортировки лесных грузов (дорожные сети, подвижной состав, лесотранспортные машины).

Оптимизация по критерию  $U$  должна выполняться на основе прогнозных расчетов развития лесного комплекса с учетом требований к сохранению лесных экосистем. В этом случае возникает компромиссное решение экономических и экологических проблем.

Рассмотрим критерии.

Критерий максимального эффективного использования ресурсного потенциала леса включает

$$\max D = g(\max L; \max T; \min E) \rightarrow \text{ext}, \quad (3)$$

где  $\max L$  – максимальное развитие лесотранспортной сети, протяженность, качество покрытия дорог, густота сети;

$\max T$  – максимальное повышение эффективности использования лесовозного подвижного состава;

$\min E$  – минимальные энергозатраты на перемещение единицы лесной продукции.

**Матрица вариантов системы управления лесотранспортом**

Параметры управления $Y=(h, k, l, m, n)$	Параметры состояния $X=(a, b, c, d, e)$					Средний критерий затрат	Критерий минимаксных затрат
	$X_1$	...	$X_i$	...	$X_n$		
$Y_1$ (схема транспортного освоения $A_1$ , системы ЛТМ <sub>1</sub> , режимы транспортировки $T_1$ )	$P_{11}$	...	$P_{1i}$	...	$P_{1n}$	$P_1^{mp} = (P_{11} + \dots + P_{1n}) / n$	$\max_j P_j^{\min} = \min_j \max_i P_{ij}$
...	...	...	...	...	...	...	
$Y_i$ (схема транспортного освоения $A_i$ , системы ЛТМ <sub>i</sub> , режимы транспортировки $T_i$ )	$P_{i1}$	...	$P_{ij}$	...	$P_{in}$	$P_j^{mp} = (P_{j1} + \dots + P_{jn}) / n$	
...	...	...	...	...	...	...	
$Y_n$ (схема транспортного освоения $A_n$ , системы ЛТМ <sub>n</sub> , режимы транспортировки $T_n$ )	$P_{n1}$	...	$P_{ni}$	...	$P_{nn}$	$P_n^{mp} = (P_{n1} + \dots + P_{nn}) / n$	

Критерий максимального обеспечения благоприятных условий для лесной экосистемы выразится в виде

$$\max S = f(\max P; \max S; \max C), \quad (4)$$

где  $\max P$  – максимальное использование лесотранспортных ресурсов;

$\max S$  – критерий максимального сохранения средозащитных функций леса (повреждения лесных почвогрунтов; нарушения гидрологических свойств лесной экосистемы; нарушения ландшафтообразующей функции);

$\max C$  – критерий максимального поддержания социальных функций леса.

Оптимизация по критерию  $Z$  выполняется на основе прогнозных расчетов развития лесного комплекса и автомобильной дорожной сети при ограничениях природно-ресурсного потенциала

$$\min Z = f(\min T; \min E; \max N), \quad (5)$$

где  $\min T$  – минимум затрат живого труда на единицу продукции, относимых на систему транспорта леса;

$\min E$  – минимум затрат на создание транспортной сети;

$\max N$  – максимум занятости населения региона в производственной сфере.

Однокритериальная оптимизация управлением лесотранспортными процессами разделяется на два этапа: когда наилучший ва-

риант определяется в результате применения строгих математических методов и выражается в однозначной совокупности найденных параметров; когда однозначный результат определить не удастся. Как показано в работах [3], в сложных лесных экосистемах изменение критерия оптимальности при приближении к экстремуму характеризуется пологостью.

При этом возникает ситуация, когда при поиске оптимального варианта лесотранспортной операции получена зона относительно равнозначных вариантов  $B_1, B_2, \dots, B_6$  с мало отличающимися значениями критерия  $S$ , значительно отличающимися параметрами управления  $h, k, l, m, n$  (рис. 2). Неопределенность оптимальных решений обусловлена неполным знанием последствий от управленческих воздействий на лесную экосистему, неточностью и недостаточностью информации о связях между параметрами и критериями.

Для решения задач оптимизации рационального управления лесотранспортными процессами приемлемы критерии средних затрат, минимаксных затрат, минимаксного риска [4].

Составим матрицу вариантов рационального управления лесотранспортными процессами (табл. 1). В этом случае значения критериев  $P$  будут располагаться по диагонали матрицы и иметь вид  $P_{11}, P_{22}, \dots, P_{ij}, \dots, P_{66}$ , при  $i = j$ .

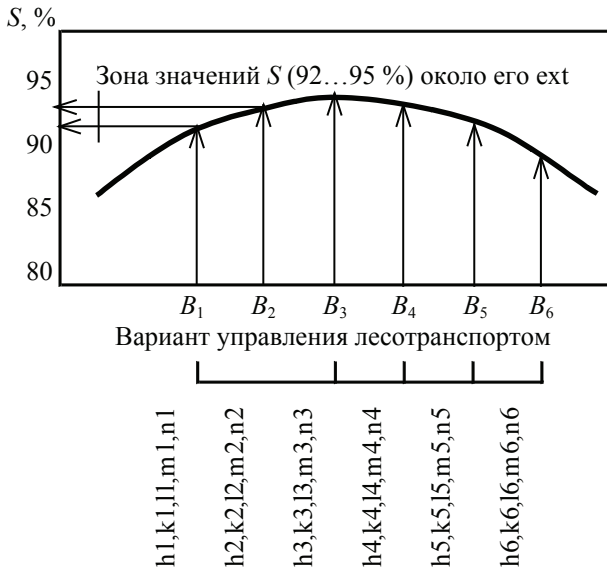


Рис. 2. Неопределенность оптимальных решений в условиях равнозначности вариантов

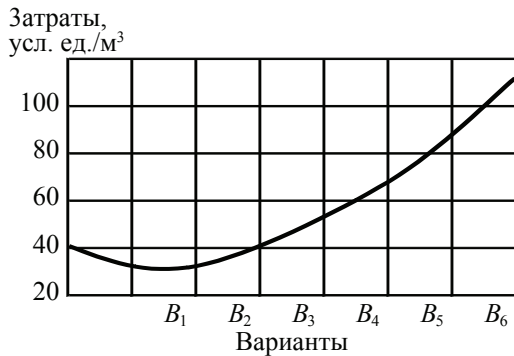


Рис. 3. Оценка критерия затрат на лесотранспортные операции в зависимости от вариантов

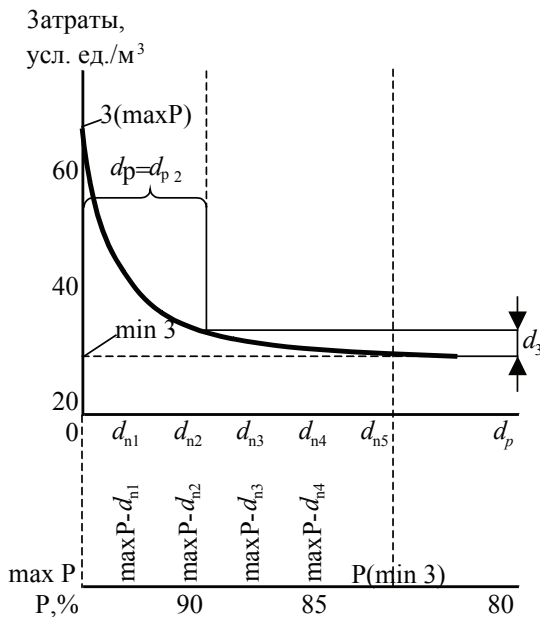


Рис. 4. Зависимость между критериями затрат на лесотранспортные операции и уровнем использования лесных ресурсов

Для критерия средних затрат определяются показатели по максимальному из средних критериев  $P$  для каждой совокупности параметров

$$\max_j \left( \frac{P_{1j} + P_{2j} + \dots + P_{6j}}{6} \right) = \max_j \bar{P}_j \quad (6)$$

В случае использования критерия минимальных затрат выбирают вариант управления лесотранспортом, для которого худший вариант лучше, чем худший для любого другого варианта

$$\max_j P_j^{\min} = \min_j \max_i P_{ij} \quad (7)$$

Примененный критерий страхует от отрицательных последствий при самом неблагоприятном управленческом воздействии на систему транспорта леса.

В результате однокритериальной оптимизации по частным критериям  $\max P$ ;  $\max S$ ;  $\max C$  определены оптимальные значения параметров управления лесотранспортом. Рациональным решениям по векторным критериям будут соответствовать промежуточные варианты между вариантами с  $\max D$ ;  $\max S$ ;  $\min Z$  или  $\max P$ ;  $\max S$ ;  $\max C$ .

На рис. 3 представлены оценки критериев затрат по вариантам:

$B_1$  = (схема освоения трехступенчатая, трелевочная система – ТТ-4, автопоезд Урал-43202 с манипулятором СФ-65+ТМЗ-80, круглогодичная вывозка);

$B_2$  = (схема освоения двухступенчатая, транспортно-трелевочная система Урал 4320 с манипулятором СФ-65 + ГКБ 9383-012 на резинометаллических гусеницах, зимняя вывозка);

$B_3$  = (схема освоения двухступенчатая, трелевочная система – тягач +прицеп на резинометаллических гусеницах, автопоезд Урал-43202 с манипулятором СФ-65+ТМЗ-80, круглогодичная вывозка);

$B_4$  = (схема освоения трехступенчатая, трелевочная система – форвардер, автопоезд КамАЗ-53212+ГКБ-9362, круглогодичная вывозка);

$B_5$  = (схема освоения трехступенчатая, трелевочная система – ТТ-4, автопоезд Урал-43202+ТМЗ-80, круглогодичная вывозка);

$B_6$  = (схема освоения трехступенчатая, трелевочная система – ТТ-4, автопоезд Урал-43202+ТМЗ-80, зимняя вывозка).

Многокритериальные задачи оптимизации по определенному частному критерию решают путем ранжирования критериев по важности или синтеза глобального критерия. Как показано в работах [3, 4], при этом можно критерии располагать в жестком порядке или располагать произвольно, но тогда необходимо назначение определенной уступки.

При рациональном управлении лесотранспортными процессами каждому частному критерию  $\max P$ ;  $\max S$ ;  $\max C$  соответствует определенное отклонение  $\delta_p$ ,  $\delta_s$ ,  $\delta_c$ .

Поиск рационального варианта ведется в следующей последовательности:

1. найти  $\max P(k_1, l_1, m_1)$ ;
2. найти  $\max S(k_2, l_2, m_2)$ ;  
 $P(k_2, l_2, m_2) \geq \max P(k_1, l_1, m_1) - \delta_p$
3. найти  $\max C(k_3, l_3, m_3)$ ;  
 $P(k_3, l_3, m_3) \geq \max P(k_1, l_1, m_1) - \delta_p$   
 $S(k_3, l_3, m_3) \geq \max S(k_2, l_2, m_2) - \delta_s$ .

На рис. 4 представлены графическая интерпретация назначения уступок. Результаты расчетов показывают, что в начальный момент даже небольшие уступки  $\delta_s$  позволя-

ют получать значительный выигрыш по критерию  $\max P$ . В дальнейшем с увеличением уступки  $\delta_s$  происходит значительное замедления выигрыша.

Представленный подход к управлению лесотранспортным процессом позволяет получать решения по повышению эффективности использования дорожного сетевого ресурса при минимальном воздействии на лесную экосистему.

#### Библиографический список

1. Курьянов, В.К. Повышение эксплуатационно-экологического уровня лесовозного автомобильного транспорта: автореф. дис. ...д-ра техн. наук / В.К. Курьянов. – М., 1993. – 39 с.
2. Лебедев, Ю.В. Эколого-экономическая оценка лесов Урала / Ю.В. Лебедев. – Екатеринбург, УрО РАН, 1998. – 214 с.
3. Лебедев, Ю.В. Методология многоцелевого использования в общей системе природопользования региона / Ю.В. Лебедев // Изв. ВУЗов. Лесной журнал. – 1997. – № 5. – С. 65–74.
4. Мелентьев, Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики / Л.А. Мелентьев. – М.: Высшая школа, 1976. – 320 с.

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ДРЕВОСТОЕМ ФРЕЗЫ МАШИНЫ ДЛЯ СРЕЗКИ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТИПА ЭСЛ

В.Ф. СЕНИЦЫН, *проф. каф. торфяных машин и оборудования Тверского ГТУ, д-р техн. наук*  
[tmo@mail.ru](mailto:tmo@mail.ru)

В торфяной промышленности с 1956 г. при подготовке торфяных месторождений к разработке используются специальные машины для срезки древесной растительности – машины типа ЭСЛ [1]. Машины этого типа оснащаются двигателями мощностью 70–110 кВт, имеют высокую производительность – за смену древесная растительность срезается на площади 0,5–0,7 га. Машина представляет собой навесное на экскаватор оборудование. Исполнительным органом, осуществляющим срезку деревьев, является дисковая фреза. Фреза расположена на конце стрелы. Каждый рабочий проход фрезы – результат поворота верхнего поворотного строения экскаватора (по направлению часовой стрелки) на угол 180°. Скорость подачи фрезы на рабочем проходе

2–3 м/с. В течение рабочего прохода срезанные деревья стоят на диске, закрывающем фрезу сверху, и удерживаются от падения специальным устройством, входящим в состав стрелы – откладчиком. В конце рабочего прохода срезанные деревья, двигаясь по инерции, падают в навал. Поворотом верхнего строения против часовой стрелки на угол 180° фреза возвращается в исходное положение. Эти маятниковые движения фрезы производятся впереди машины. Перед каждым рабочим проходом фрезы машина перемещается вперед на 0,9–1,2 м. В результате прохода машины древесная растительность срезается на полосе шириной 12–16 м, а на правой (по ходу движения машины) границе этой полосы образуется непрерывный навал срезанных деревьев.

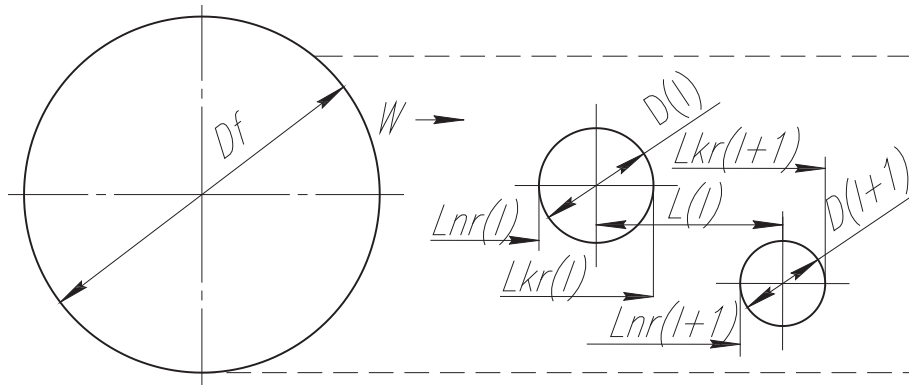


Рис. 1. Результаты моделирования древостоя на полосе рабочего прохода фрезы

В процессе создания и совершенствования машины был выполнен большой объем экспериментальных исследований. Исследования показали, что на привод фрезы расходуется около 90 % энергии, необходимой для работы машины. Во время рабочего прохода фреза попеременно совершает срезку очередного дерева и холостой ход до встречи со следующим деревом. Во время срезки дерева пиковые значения мощности на зубьях фрезы достигают величины, в 3–4 раза превышающей мощность двигателя. Расход энергии, необходимый для срезки дерева, на 2/3–3/4 покрывается за счет кинетической энергии фрезы, угловая скорость которой во время срезки дерева уменьшается. Во время холостого хода энергия, поступающая от двигателя, расходуется на восстановление кинетической энергии фрезы – ее угловая скорость увеличивается. Фреза является своеобразным аккумулятором энергии.

Из сказанного следует, что при проектировании машины задача определения необходимой мощности привода одновременно является и задачей определения необходимого момента инерции.

Есть аналитические решения этой задачи [2, 3]. Однако этим решениям присущи определенные недостатки. Трудность получения аналитического решения, в достаточной мере адекватно отражающего процесс взаимодействия фрезы с древостоем, обусловлена тем, что диаметр срезанного дерева и его координаты являются случайными величинами. Это обстоятельство и заставило нас разработать математическое описание процесса взаимодействия фрезы с древостоем в виде имитационной модели.

Предлагаемая имитационная модель реализуется комплексом программ написанных на языке BASIC. Комплекс состоит из двух программ. Первая программа осуществляет моделирование древостоя, срезанного при рабочем проходе фрезы. Вторая программа непосредственно реализует имитационную модель процесса взаимодействия фрезы с древостоем.

Моделирование древостоя, срезанного при рабочем проходе фрезы, основано на следующих положениях. Есть основание считать, что случаи прохождения окружностью фрезы центров срезанных деревьев являются простейшим потоком событий [4]. В этой связи расстояние  $L(l)$  (в направлении подачи фрезы) между центрами последовательно срезанных деревьев (рис. 1) моделируется как реализация случайной величины с плотностью распределения

$$f(L) = \lambda \cdot e^{-\lambda L}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – среднее количество деревьев, попадающее на единицу длины рабочего прохода фрезы, 1/м.

Величина  $\lambda$  вычисляется по формуле

$$\lambda = 10^{-4} k_f \cdot D_f \cdot m, \quad (2)$$

где  $k_f$  – коэффициент использования диаметра фрезы;

$D_f$  – диаметр фрезы, м;

$m$  – густота древостоя, 1/га.

Диаметр деревьев древостоя чаще всего характеризуют двумя параметрами – величинами математического ожидания  $md$  и среднего квадратичного отклонения  $\sigma d$ . В связи с этим диаметр срезанного дерева моделируется как реализация случайной величины, распределенной по нормальному закону с числовыми характеристиками  $md$  и  $\sigma d$ .



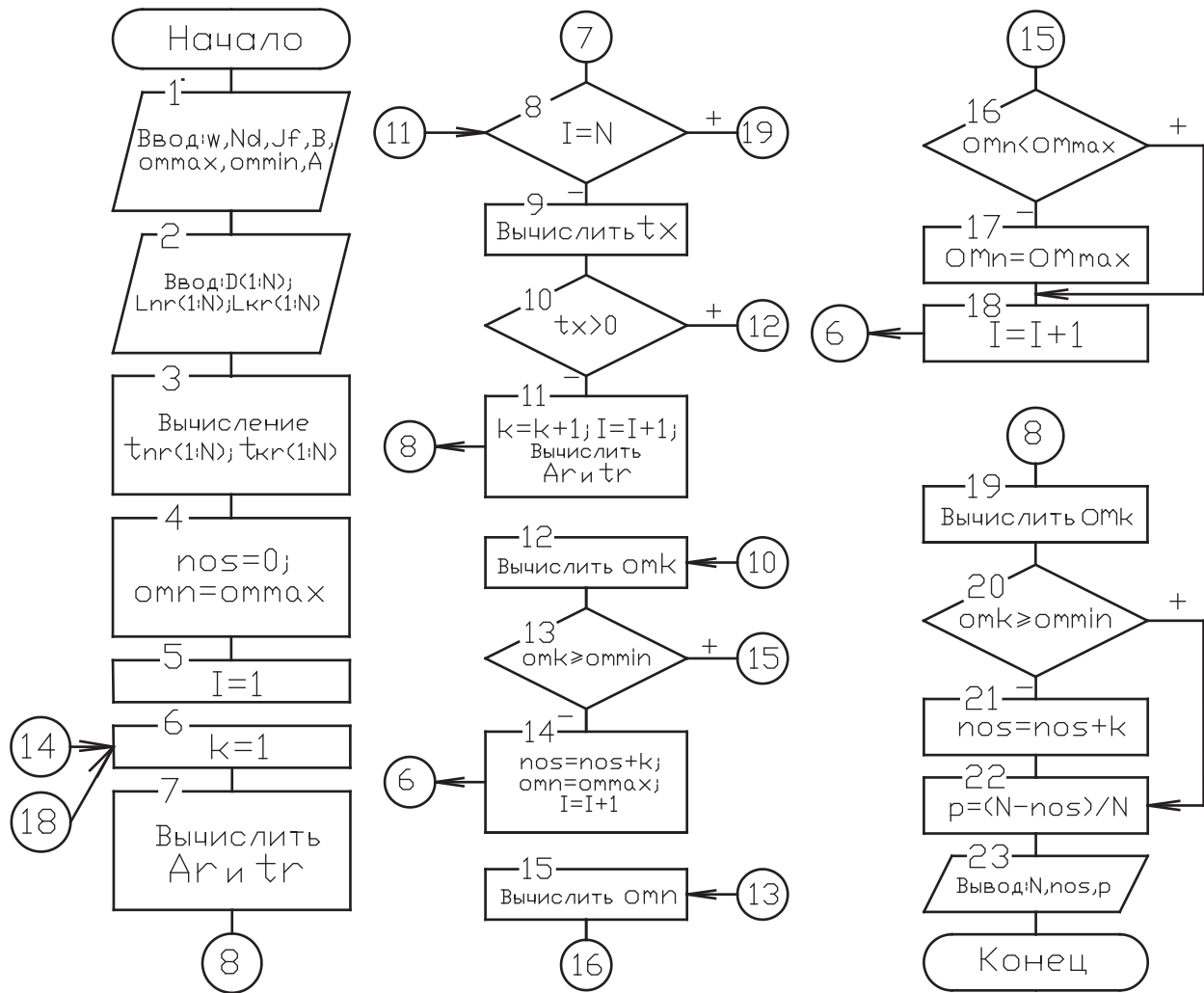


Рис. 2. Блок-схема алгоритма, имитирующего процесс срезки деревьев фрезой машины типа ЭСЛ

Непосредственными результатами моделирования являются два массива – массив диаметров  $D(1:N)$  и массив расстояний  $L(1:N)$ . Количество моделируемых диаметров  $N$  берется таким, чтобы значения  $md$  и  $sd$ , вычисленные по смоделированной совокупности диаметров, практически не отличались от исходных. Смоделированные массивы диаметров и расстояний служат исходными данными для вычисления каждого элемента двух массивов:  $Lnr(I)$  – путь фрезы до начала резания  $I$ -го дерева;  $Lkr(I)$  – путь фрезы до окончания резания  $I$ -го дерева (рис. 1). Конечными результатами работы программы моделирования древостоя являются массивы  $D(1:N)$ ,  $Lnr(1:N)$ ,  $Lkr(1:N)$ . Эти массивы выводятся в файл.

Программа, реализующая имитационную модель процесса взаимодействия фрезы с древостоем, в качестве исходных использует следующие данные:  $w$  – скорость подачи

фрезы, м/с;  $Nd$  – мощность привода фрезы, кВт;  $Jf$  – момент инерции фрезы, кг·м<sup>2</sup>;  $B$  – ширина пропила (ширина зубьев фрезы), м;  $ommax$  – максимальная угловая скорость фрезы, рад/с;  $ommin$  – минимальная угловая скорость фрезы, рад/с;  $A$  – удельный расход энергии на резание древесины, кДж/м<sup>3</sup>. Кроме этого программа считывает массивы  $D(1:N)$ ,  $Lnr(1:N)$ ,  $Lkr(1:N)$  из файла, созданного первой программой. Результатом работы программы является значение вероятности безостановочной срезки деревьев  $P$ .

Вероятность безостановочной срезки деревьев вычисляется по формуле

$$P = (N - nos) / N, \quad (3)$$

где  $N$  – количество деревьев, срезаемых фрезой (количество смоделированных диаметров);

$nos$  – количество остановов, количество случаев, когда угловая скорость фре-

зы в процессе срезания очередного дерева падает до величины меньшей  $ommin$  и двигатель глохнет.

Алгоритм имитационной модели представляет собой совершенно определенную последовательность действий.

Каждый элемент  $Lnr(I)$  и  $Lkr(I)$  массивов расстояний, путем деления каждого элемента на скорость подачи  $w$ , превращается в элементы массивов времен:  $tnr(I)$  – время до начала резания  $I$ -го дерева;  $tkr(I)$  – время до окончания резания  $I$ -го дерева (рис 2, блок 3).

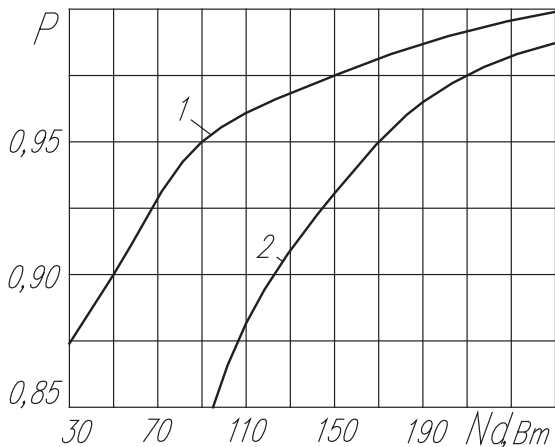


Рис. 3. Зависимость вероятности безостановочной срезы деревьев  $P$  от мощности привода фрезы  $Nd$ : 1– $Jf=70 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ; 2– $Jf=50 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

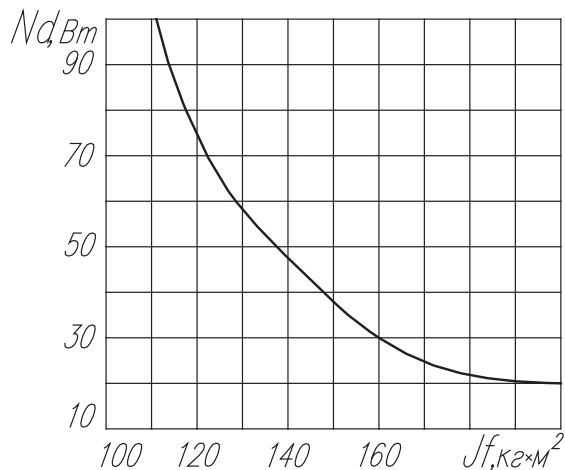


Рис. 4. Зависимость мощности привода фрезы  $Nd$  от величины момента инерции фрезы  $Jf$

Перед началом анализа результата резания первого дерева принимается количество остановов  $nos=0$  и угловая скорость фрезы  $omn=ommax$  (рис. 2, блоки 4, 5). Расход энергии на резание очередного дерева вычисляется по формуле

$$Ar = 3,14(D(I))^2BA / 4, \text{ кДж}, \quad (4)$$

где  $D(I)$  – диаметр дерева.

Время резания дерева вычисляется как разность  $tkr(I)$  и  $tnr(I)$

$$tr = tkr(I) - tnr(I), \text{ с}. \quad (5)$$

Через  $tr$  вычисляется энергия, поступающая на фрезу за время резания (рис. 2, блок 7).

$$Ad = tr \cdot Nd. \quad (6)$$

Если дерево последнее, осуществляется расчет и вывод окончательных результатов (рис. 2, блоки 19–23). Если дерево не последнее, вычисляется время холостого хода  $tx$  (рис. 2, блок 9) как разность времени, соответствующего моменту начала резания следующего дерева, и времени окончания резания предыдущего дерева.

Если  $tx \leq 0$ , то холостого хода нет и расход энергии на резание и время резания вычисляются как расход энергии и время резания следующего и предыдущего дерева как одного целого (рис. 2, блок 11). При этом факт резания следующего дерева вместе с предыдущим фиксируется путем увеличения на единицу величины  $k$  – счетчика деревьев, срезаемых как одно целое.

Если  $tx > 0$ , то вычисляется дефицит энергии  $dA$  и угловая скорость фрезы в конце резания  $omk$  (рис. 2, блоки 10, 12)

$$dA = Ar - Ad, \quad (7)$$

$$omk = (omm^2 - 2 \cdot 1000 \cdot (dA/Jf))^{0.5}. \quad (8)$$

Вычисленное значение  $omk$  сравнивается с  $ommin$  (рис. 2, блок 13). Если  $omk$  меньше  $ommin$ , фиксируется останов: к счетчику остановов  $nos$  прибавляется  $k$  количество деревьев, срезаемых как одно целое,  $omn$  принимается равным  $ommax$  и осуществляется переход к анализу резания следующего дерева (блок 14). Если  $omk$  больше  $ommin$  (блок 13), останова нет, вычисляется угловая скорость  $omn$ , до которой разгонится фреза к моменту начала резания следующего дерева, и осуществляется переход к анализу резания следующего дерева (блоки 13, 15–18).

Как отмечено выше, если дерево последнее (блок 8), осуществляется расчет и вывод окончательных результатов (блоки 19–23).

Можно заметить, что в имитационной модели сложный процесс взаимодействия фрез с древостоем сводится к анализу резуль-

татов взаимодействия фрезы с каждым конкретным деревом. Анализ осуществляется с использованием простых зависимостей, а его последовательность в точности соответствует последовательности срезки деревьев.

Как отмечено выше, результат работы программы, реализующей имитационную модель процесса взаимодействия фрезы с древостоем, только значение вероятности безостановочной срезки деревьев на рабочем проходе  $P$  при заданных значениях параметров фрезы и древостоя. Интересующие нас зависимости можно получить в результате компьютерных экспериментов – многократных расчетов при различных значениях параметров фрезы и древостоя.

Ниже излагаются результаты компьютерных экспериментов, выполненных для сосново-сфагнового древостоя верховых торфяных месторождений. В соответствии с характеристиками этого древостоя [5] при моделировании древостоя на рабочем проходе фрезы были приняты: густота древостоя  $m = 1600$  1/га.; математическое ожидание диаметра дерева  $md = 0,13$  м; среднее квадратичное отклонение  $\sigma d = 0,0325$  м. Скорость подачи фрезы была принята равной 2 м/с.,  $Df = 1,5$  м,  $kf = 0,8$ .

Эксперименты показали (рис.3), что при тех значениях параметров фрезы, которые имеют машины типа ЭСЛ ( $Jf = 70$  кг·м<sup>2</sup>,  $Nd \approx 70$  кВт,  $\omega_{min} = 60,7$  рад/с,  $\omega_{max} = 67,4$  рад/с), вероятность безостановочной срезки деревьев  $P \approx 0,92$ . Чтобы обеспечить практически безостановочную срезку деревьев (и тем самым

обеспечить комфортные условия работы машиниста) мощность привода нужно увеличить в 3–4 раза. При этом чем меньше момент инерции, тем большая требуется мощность для достижения желаемой вероятности (рис. 3, зависимость 2). Приведенная на рис. 4 зависимость (для  $P = 0,998$ ) показывает, что можно в 3–4 раза уменьшить мощность привода фрезы, увеличивая момент инерции. Мощность привода при этом практически станет равной средней мощности, необходимой для срезки данного древостоя. Для этого необходимо примерно трехкратное увеличение момента инерции фрезы по сравнению с моментом инерции на существующих машинах типа ЭСЛ. На настоящий момент единственным способом такого значительного увеличения момента инерции представляется введение в систему привода фрезы специального инерционного устройства.

#### Библиографический список

1. Кудимов, Л.П. Технология и комплексная механизация подготовки торфяных месторождений к разработке / Л.П. Кудимов, Ю.Д. Кусков, К.Е. Сафонов. – М.: Недра, 1974. – 216 с.
2. Шейде, В.П. Определение параметров машины для сводки леса при подготовке торфяных полей / В.П. Шейде // Торфяная пром-сть, 1973. – № 8. – С. 16–18.
3. Сеницын, В.Ф. Расчет мощности привода дисковой пилы машины для сводки леса / В.Ф. Сеницын // Торфяная пром-сть, 1975. – № 1. – С. 11–12.
4. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Вентцель Е.С.: учеб. для втузов. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
5. Ларгин, И.Ф. Исследование древесного яруса на верховых болотах / И.Ф. Ларгин // Тр. института леса АН СССР, 1953. – Т. 13 – С. 45–51.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВИБРОУДАРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ПНЕЙ

М.В. ДРАПАЛЮК, проф. каф. механизации лесного хозяйства и проектирования машин  
ВГЛТА, д-р техн. наук,

С.Н. БАТИЩЕВ, асп. ВГЛТА,

В.В. ПОСМЕТЬЕВ, доц. каф. высшей математики и физико-математического моделирования ВГЛТА, канд. физ.-мат. наук

*batsergey@mail.ru; michael1@yandex.ru; victorvpo@mail.ru*

В лесном хозяйстве важной задачей является удаление пней на больших площадях, оставшихся после рубки леса. В серийных машинах удаления пней, в частности МУП-4, ис-

пользуется два принципа удаления древесины: срубания древесины (зубья барабана входят в древесину поочередно) и резания древесины (вошедший зуб движется в пне, срезая слой

древесины). Наши предварительные оценки показывают, что производительность машины удаления пней можно увеличить, сделав упор в основном на рубящий принцип. Для этого необходимо изменить конструкцию машины, добавив элементы, запасающие энергию при вращении от вала отбора мощности и отдающие энергию в кратковременные моменты встречи рубящего органа с пнем. Ранее нами предложена следующая конструкция виброударной машины удаления пней (рис. 1).

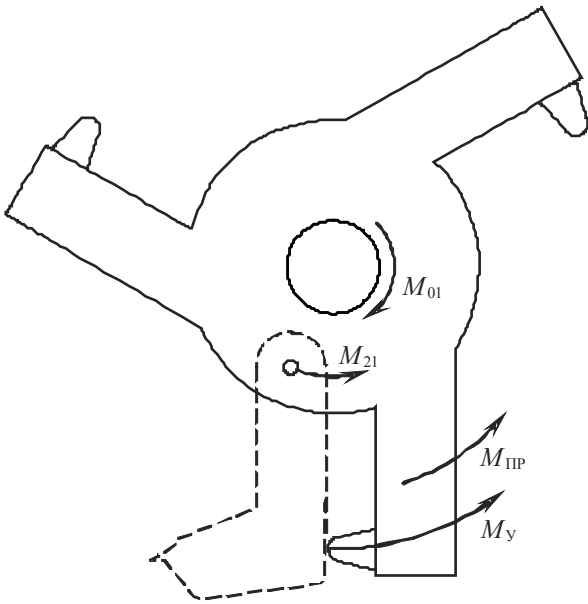


Рис. 1. Виброударный механизм для удаления пней

Для предварительного исследования виброударного механизма, а также оптимизации его конструктивных и эксплуатационных параметров была разработана компьютерная модель механизма. Моделирование виброударной машины в целом основано на методах классической динамики [1, 2]. Виброударный механизм представляется в модели состоящим из отдельных абсолютно твердых тел, взаимодействующих между собой в отдельных заданных точках. С учетом принципа работы виброударного механизма будем считать его состоящим из общего вала и трех виброударных блоков. Каждый блок, в свою очередь, состоит из ротора и трех рубящих органов. В каждом рубящем органе находится направляющая полость, в которой может двигаться шаровый ударник. Таким образом, в модели необходимо учитывать механические параметры следующих различных тел:

- вал – центральный момент инерции  $J_0$ , кинематические параметры  $\varphi_0, \omega_0$ ;
- ротор (3 шт.) – центральный момент инерции  $J_1$ , кинематические параметры  $\varphi_1, \omega_1, \varepsilon_1$ ;
- рубящий орган (9 шт.) – масса  $m_2$ , момент инерции и параметры вращательного движения относительно шарнира крепления  $J_2, \varphi_2, \omega_2, \varepsilon_2$ , координаты центра тяжести  $x_2, y_2$ , скорости  $v_{x2}, v_{y2}$ ;
- шар-ударник (9 шт.): – момент инерции относительно центра  $J_{шц}$ , момент инерции относительно точки поверхности  $J_{шп}$ , координаты центра  $x_{ш}, y_{ш}$ , скорости  $v_{шц}, v_{шп}$ .

В рамках модели считается, что вал вращается с постоянной угловой скоростью

$$\omega_0 = \text{const.} \quad (1)$$

При этом угловое положение вала  $\varphi_0$  в любой момент времени  $t$  можно рассчитать по формуле

$$\varphi_0 = \omega_0 t. \quad (2)$$

В модели считается, что ротор совершает вращательное движение относительно оси, при этом в соответствии со схемой (рис. 2 а) можно записать основное уравнение вращательного движения

$$J_1 \ddot{\varphi}_1 = M_{01} - M_{21} - M_{PP} - M_V. \quad (3)$$

Вращающий момент со стороны вала  $M_{01}$  вычисляется в приближении вязкоупругого взаимодействия

$$M_{01} = c_{01} (\varphi_0 - \varphi_1) - k_{01} (\omega_0 - \dot{\varphi}_1), \quad (4)$$

где  $c_{01}$  и  $k_{01}$  – коэффициенты жесткости и демпфирования соответственно.

Со стороны рубящего органа на ротор действуют три момента: момент сил в шарнире  $M_{21}$ , момент упругого взаимодействия пружиной  $M_{PP}$  и момент ударной силы на бойке  $M_V$ . Момент взаимодействия пружиной рассчитывается как

$$M_{PP} = c_{PP} \cdot \Delta\varphi_{PP} - k_{PP} (\Delta\varphi_{PP} / dt), \quad (5)$$

где  $c_{PP}$  и  $k_{PP}$  – коэффициенты жесткости и демпфирования соответственно;

$\Delta\varphi_{PP}$  – величина текущего сжатия пружины, пересчитанная в величину угла относительно шарнира.

Момент ударной силы на бойке вычисляется по одной из следующих формул:

$$M_{PP} = \begin{cases} 0, & \text{если } \varphi_{12} > \varphi_V; \\ c_V (\varphi_V - \varphi_{12}) - k_V \dot{\varphi}_{12}, & \text{если } \varphi_{12} \leq \varphi_V, \end{cases} \quad (6)$$

где  $c_y$  и  $k_y$  – жесткость и вязкость ударного взаимодействия соответственно;

$\varphi_{12}$  – угловое положение рубящего органа по отношению к ротору;

$\varphi_y$  – угловое положение рубящего органа, при котором он касается бойка ротора.

Благодаря шарнирному закреплению рубящего органа он имеет возможность совершать как поступательное, так и вращательное движение в плоскости, перпендикулярной валу (рис. 2 б), поэтому его движение описывается тремя уравнениями

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x}_2 = F_{12x} + F_{12y} + F_y - F_{Tx} - F_{Px} - F_{Шx} ; \\ m_2 \ddot{y}_2 = F_{12y} + F_{12x} - F_{Ty} - F_{Шy} ; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 = -F_{12x} h_{12x} - F_{12y} h_{12y} - F_{12x} h_{12y} - F_{12y} h_{12x} - F_{Px} h_{Px} - F_{Py} h_{Py} + F_{y_x} h_{y_x} + F_{y_y} h_{y_y} - F_{Tx} h_{Tx} + F_{Ty} h_{Ty} - F_{Шx} h_{Шx} - F_{Шy} h_{Шy} , \end{cases} \quad (7)$$

где  $F_{12x}$  и  $F_{12y}$  – декартовы составляющие силы взаимодействия в шарнире;

$F_{12x}$  и  $F_{12y}$  – составляющие силы со стороны пружины;

$F_{y_x}$  и  $F_{y_y}$  – составляющие силы ударного взаимодействия со стороны бойка;

$F_{Шx}$  и  $F_{Шy}$  – составляющие силы со стороны шара-ударника;

$F_{Px}$  и  $F_{Py}$  – составляющие силы со стороны обрабатываемой древесины;

$F_{Tx}$  и  $F_{Ty}$  – составляющие силы тяжести рубящего органа;

$h_{12x}, h_{12y}, h_{12x}, h_{12y}, h_{y_x}, h_{y_y}, h_{Шx}, h_{Шy}, h_{Px}, h_{Py}$  – соответствующие плечи составляющих сил относительно центра тяжести  $C$ .

В рамках модели направляющая полость, в которой движется шаровый ударник, представлена в виде цилиндрической трубы радиусом  $R_{II}$ , изогнутой с радиусом  $R_{II}$ . Полость ограничена двумя «наковальнями» (точки соударения  $O$  и  $C$ ) (рисунок 2 в). Для того чтобы шар мог свободно перемещаться вдоль полости, его диаметр принимаем незначительно меньшим диаметра полости:  $d_{Ш} = 0,95 \cdot 2R_{II}$ . Так как при работе виброударного механизма ротор вращается в вертикальной плоскости, в модели рассматриваются случаи касания шаром полости только в диаметрально противоположных точках  $A$ , либо

в точке  $B$ , лежащими в плоскости, перпендикулярной оси ротора.

В зависимости от того, как движется полость в данный момент времени (равномерное вращательное движение относительно оси ротора, резкое торможение полости при ударе о пень, разгон ротора после удара), шар-ударник может двигаться вдоль полости двумя способами: скольжением и качением, либо одновременной комбинацией указанных видов движения в кратковременные интервалы смены характера движения.

Необходимо отметить, что при работе шарового ударника желательно, чтобы шар не приобретал вращение, так как на раскрутку шара тратится энергия, и в момент удара шара о наковальню  $B$  она расходуется не на передачу импульса ротору, а только на трение и локальный разогрев наковальни. Для устранения раскручивания шара необходимо, чтобы трение шара о стенки полости было минимальным, в частности, целесообразно использовать подходящие виды смазки, либо покрыть стенки полости материалом, который в паре со сталью шара будет обладать низкими фрикционными свойствами.

Будем считать, что на движение шара, не контактирующего с «наковальнями», влияют три силы: сила тяжести  $F_{Tr}$ , сила реакции со стороны полости  $N$ , сила трения  $F_{Tr}$  в точке соприкосновения с полостью. В зависимости от комбинации сил, положения шара в полости, скоростей поступательного и вращательного движения возможны различные варианты взаимодействия шара с рубящим органом.

Уравнения движения шара выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} m_{Ш} \ddot{x}_{Ш} = N_x + F_{ТШx} + F_{mpx} ; \\ m_{Ш} \ddot{y}_{Ш} = N_y + F_{ТШy} + F_{mpy} ; \\ J_{Ш} \ddot{\varphi}_{Ш} = M(N) + M(F_{ТШ}) + M(F_{mp}) , \end{cases} \quad (8)$$

где  $m_{Ш}$ ,  $x_{Ш}$ ,  $y_{Ш}$ ,  $\varphi_{Ш}$  – масса шара, его декартовы координаты и угол вращения соответственно;

$N_x$  и  $N_y$  – составляющие силы реакции опоры о полость;

$F_{ТШx}$  и  $F_{ТШy}$  – составляющие силы тяжести шара;

$F_{Трx}$  и  $F_{Тру}$  – составляющие силы трения шара о полость.

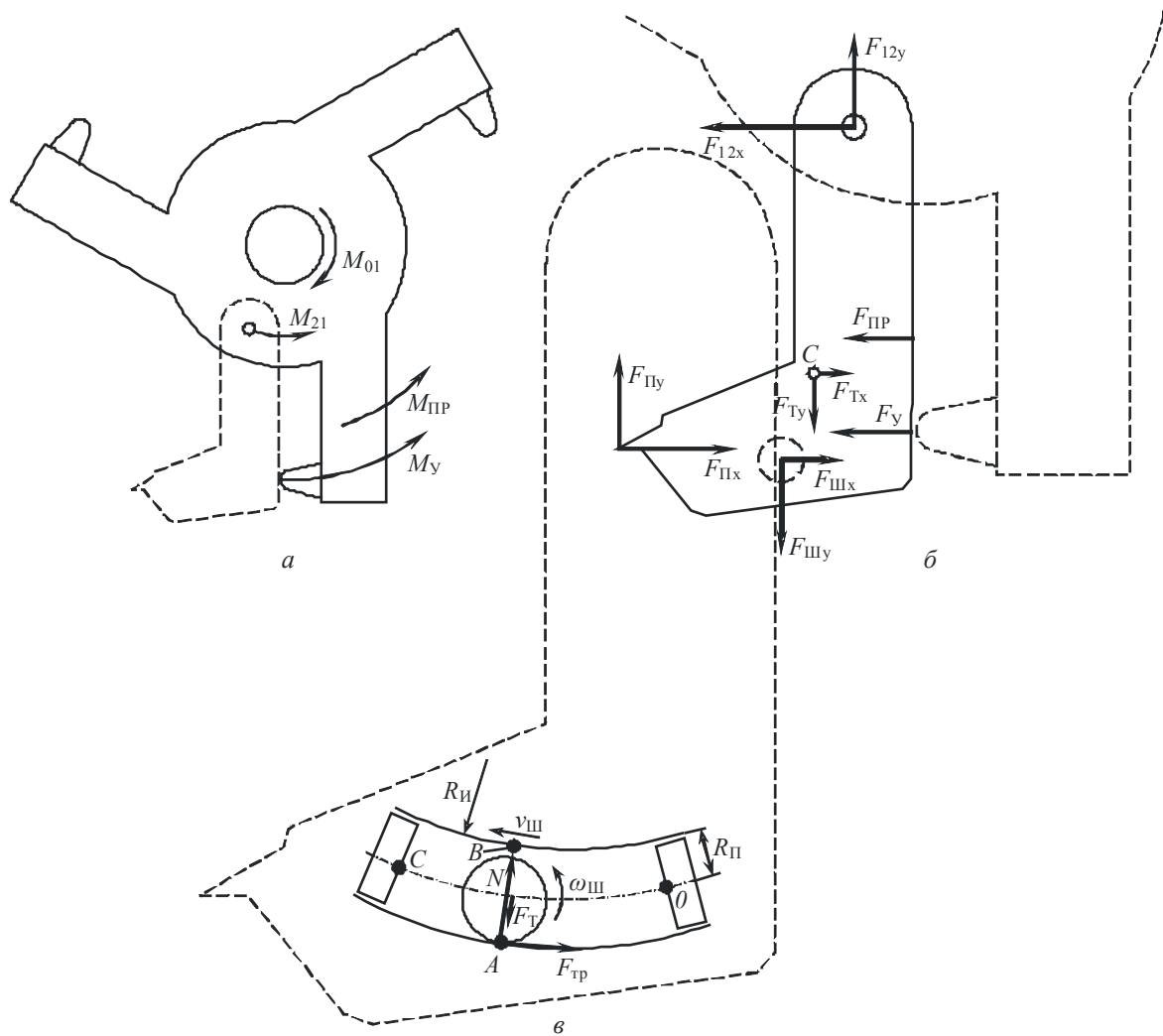


Рис. 2. Расчетные динамические схемы виброударного блока (а), рубящего органа (б) и ударного механизма (в)

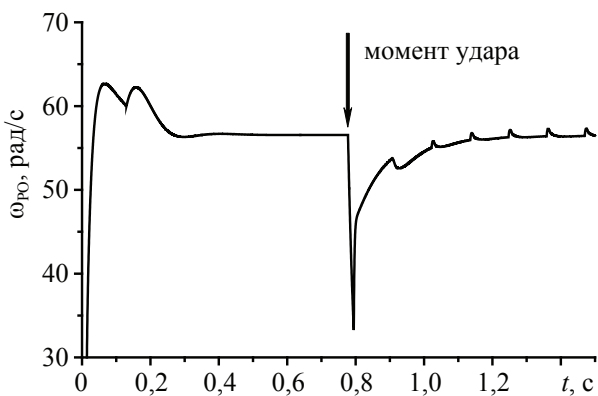


Рис. 3. Зависимость угловой скорости рабочего органа  $\omega_{po}$  от времени  $t$

При этом необходимо учитывать, что сила реакции опоры зависит от глубины проникновения шара в материал полости, а сила трения – от силы реакции опоры, скорости поступательного и вращательного движения шара. Декартовы составляющие сил  $N$ ,

$F_T$  и  $F_{Tp}$  рассчитываются исходя из ориентации направляющей полости по отношению к ротору и ориентации ротора по отношению к пню. При движении шара по направляющей он может ударяться о крайние точки: о главную наковальню (точка С) или об ответную наковальню (точка О).

От формы и расположения направляющей полости зависит эффективность передачи импульса от шара к рубящему органу. В свою очередь, эффективность определяется возможностью разгона шара, правильной комбинацией вращательного и скользящего движения, быстротой возвращения шара после удара в исходное положение, учетом влияния силы тяжести. Ряд параметров шарово-ударного механизма целесообразно выбирать непосредственно из физических соображений и учитывая конструктивные ограничения. В частности, радиус шара должен быть

как можно больше, а сам шар – как можно тяжелее, сила трения шара о полость должна быть минимальной, сама полость должна быть расположена как можно дальше от оси вращения рубящего органа.

Взаимодействие рубящего органа с древесиной пня [3] считается вязкоупругим, при этом в процессе компьютерного эксперимента производится постепенное удаление «срубленных» элементов пня, то есть постоянная коррекция формы пня.

Интегрирование дифференциальных уравнений, заложенных в основу модели, осуществляется численно модифицированным методом Эйлера-Коши [4]. Для этой цели специально составлена компьютерная программа на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7.

Одним из основных выходных параметров модели является касательная скорость рубящего органа, или приведенная угловая скорость  $\omega_{p0}$  (рисунок 3). При проведении компьютерного эксперимента первоначально происходит переходной процесс ( $t = 0 \dots 0,3$  с), в течение которого механизм раскручивается и выходит на установившийся режим. В момент времени  $t = 0,8$  с происходит первый

удар о древесину пня. Резкое уменьшение  $\omega_{p0}$  в момент удара свидетельствует о том, что древесине пня передан существенный импульс, вызывающий срубание щепы. При больших значениях  $t$  виброударный механизм постепенно выходит на устоявшийся режим удаления пня. Подбором параметров механизма необходимо добиться того, чтобы при каждом ударе о древесину ей передавался как можно больший импульс.

Таким образом, разработанная компьютерная модель адекватно описывает функционирование виброударного механизма и предоставляет широкие возможности оптимизации его параметров.

### Библиографический список

1. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебное пособие / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
2. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / Под ред. Е.Ю. Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.
3. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления: учеб. для вузов / под ред. А.Б. Лурье. – Л.: Колос. Ленингр. отделение, 1979. – 312 с.
4. Инженерные расчеты на ЭВМ: Справочное пособие / Под ред. В.А. Троицкого. – Л.: Машиностроение, 1979. – 288 с.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

В.Е. КЛУБНИЧКИН, *асп. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ*

*vklubnichkin@mgul.ac.ru*

Опыт лесозаготовительного производства показывает, что в ближайшей перспективе будет увеличиваться объем работ в древостоях на переувлажненных с низкой несущей способностью грунтах в сложных рельефных условиях; острее станут проблемы повышения проходимости, топливной экономичности и производительности лесосечных машин, созданных на базе энергонасыщенных лесопромышленных тракторов; возрастут экологические и социальные требования к лесозаготовительному производству. Решение перечисленных проблем во многом определит дальнейшее развитие отрасли.

Повышение эффективности комплекса лесосечных машин в настоящее время ограничивается низкой производительностью лесопромышленных тракторов. Существуют два основных пути решения проблемы повышения производительности машин: увеличение рейсовой нагрузки на машину и повышение рабочих и транспортных скоростей ее движения.

Увеличение рейсовой нагрузки на машину приведет к увеличению массы конструкции и соответственно к переуплотнению грунта, что губительно влияет на процесс естественного лесовозобновления, а также ока-

зывает негативное воздействие на процесс колееобразования и приводит к повышению энергопотерь на самопередвижение техники. Можно, конечно, пойти по пути дальнейшего решения данного вопроса, например увеличить размеры опорной поверхности машины. Однако, этот путь имеет определенные ограничения в связи с тем, что «уширение» опорной поверхности приводит к значительному росту габаритов машины и массы ходовой системы.

Поэтому наиболее перспективным считается путь увеличения скорости движения.

Особенностью поверхностей движения лесосечных машин является наличие на полотне пути различных неровностей. При движении по неровным дорогам и волокам в системе «лесопромышленный трактор – пачка деревьев» происходят колебательные процессы, вызывающие значительные динамические нагрузки на детали корпуса, трансмиссии, двигателя и ходовой части, снижение КПД, скорости, увеличение энергопотерь и другие отрицательные последствия.

Поскольку динамические процессы интенсивно растут при увеличении скорости движения и массы машины, они порождают существенное ограничение повышения производительности лесопромышленных тракторов.

Необходимо отметить, что наиболее существенное влияние на конструкцию оказывают колебательные процессы трех видов: вибрации – высокочастотные колебания, вызываемые неуравновешенными силами инерции двигателя, низкочастотные колебания остова, вызываемые движением трактора по неровностям пути, и взаимодействиями его ходовой системы с препятствиями (по данным ученых МГУЛ при трелевке трактор в течении смены преодолевает не менее 100 препятствий высотой 200–400 см) и крутильные колебания в трансмиссии.

Способность трактора поглощать при движении толчки и удары определяет плавность хода. Плавность хода – важное эксплуатационное качество, оказывающее влияние на самочувствие водителя, безопасность дви-

жения, производительность и экономичность работы, тяговые и эксплуатационные показатели, а также долговечность машины.

Повышенная вибрация деталей трактора приводит к резкому снижению их срока службы, разбалтыванию соединений, ослаблению крепежа, увеличению шума в кабине и т.д.

Крутильные колебания в трансмиссии могут быть вызваны неравномерностью движущего момента двигателя в установленном режиме работы машины, либо резким изменением момента в переходных режимах, например при трогании трактора с места. Динамические нагрузки, возникающие в трансмиссии трактора, в ряде случаев приводят к снижению срока службы шестерен, валов, подшипников, а иногда к их поломкам, и поэтому требуют специального рассмотрения и учета при расчете и конструировании тракторов.

В свете вышесказанного важным направлением исследований последних лет является изучение динамических процессов, возникающих в системах и агрегатах гусеничного трактора при движении по неровному пути. Многочисленные работы, например [1, 2, 3, 4, 5], подтверждают неблагоприятное влияние динамических процессов на плавность хода, тяговые свойства машины, надежность и долговечность трактора. Кроме того, отмечено увеличение расхода энергии двигателя при движении по неровному пути [6, 7]. В работе [8] отмечается, что одной из основных причин потерь мощности является рассеивание энергии при вынужденных колебаниях трактора.

Анализ указанных выше работ показал, что повышение технического уровня тракторов в значительной степени зависит от снижения динамических процессов в их системах и агрегатах.

В общем случае возможны два подхода к изучению движения колесных и гусеничных машин: детерминистический и вероятностный.

Детерминистический подход к изучению движения машины базируется на анализе модели движения, для которой известны начальное состояние и внешнее воздействие,



заданное в виде определенной неслучайной функции переменных, определяющих это воздействие. Детерминистические принципы не могут охватить всего многообразия возможных внешних условий движения. Важнейшее их преимущество – относительная простота моделей движения колесных и гусеничных машин и возможность быстрой и точной проверки результатов анализа модели в процессе испытаний. К недостаткам детерминистического подхода можно отнести следующее: он не позволяет непосредственно получить сведения об общих свойствах машины, которые проявляются при реальной эксплуатации, охватывающей все многообразие внешних условий ее функционирования.

При вероятностном методе рассматривается модель колесной или гусеничной машины как динамической системы, поведение которой в каждом конкретном случае реализации условий ее функционирования не может быть предсказано, но при многократных реализациях этих условий, обладающих некоторыми общими вероятностными признаками, это поведение подчинено определенным статистическим закономерностям.

Вероятностные методы применяются для того, чтобы, минуя изучение отдельного явления, обратиться непосредственно к законам, управляющим массовым явлением. Статистические закономерности, наблюдаемые при массовом эксперименте, отражают вероятностные закономерности, присущие явлению.

Найденные таким образом априорные закономерности изучаемых явлений могут быть подтверждены или опровергнуты только статистической обработкой натурального эксперимента (обработкой апостериорных данных).

Кроме того известно, что математически вероятностная модель движения машины описывается таким же по форме дифференциальным уравнением, как и детерминистическая модель. Отличие состоит лишь в том, что в правую часть дифференциального уравнения должна входить зависящая от времени случайная функция

возмущения, т.е. случайный процесс, характеризуемый соответствующими вероятностными характеристиками. В связи с этим решение поставленной задачи динамики ищется в виде определенной совокупности вероятностных характеристик реакций машины на внешнее воздействие, заданное во временной области.

Основной особенностью движения машины, которую необходимо учитывать при оценке с вероятностных позиций, является то, что внешние условия, определяющие воздействие на машину как динамическую систему, изменяются по мере ее движения по заданному пути. Вероятностные характеристики внешнего возмущения в практике можно получить лишь в результате статистической обработки результатов экспериментальных исследований отдельных реализаций внешних возмущений по пути предполагаемого движения машины. В связи с этим вероятностные характеристики отражают изменение вероятностной меры по пути движения машины.

Также необходимо отметить, что уже несколько десятилетий ученые, производственники, конструкторы и технологи лесной промышленности дискутируют о том, каким двигателем целесообразно оснащать лесопромышленный трактор. При этом участники дискуссии ссылаются на производственную необходимость, зарубежный опыт, выделяют некоторые достоинства двигателя, какие-либо конструктивные решения.

Важно отметить, что с 60-х годов основные научные, конструкторские и производственные ресурсы были направлены на совершенствование колесного двигателя. В связи с этим прогресс в данной области закономерен. Если сравнивать металлическое колесо с грунтозацепами (шпорами) тракторов СТЗ – ХТЗ и «Универсал», применявшихся до конца 50-х годов в сельском хозяйстве, да и в лесной промышленности, с шиной колеса К-701 (К-703), то можно отметить, что технический прогресс за три десятилетия оказал революционное влияние на развитие конструкции и технический уровень колесного тракторного двигателя.

Гусеница трактора 30-х годов и гусеница трелевочного, а также сельскохозяйственного трактора 80-х годов практически не отличаются по конструкции и техническому уровню; это один и тот же узел, собранный из тяжелых, шарнирно сочлененных между собой стальных звеньев. Такая гусеница имеет большую массу, рассеивает много энергии, интенсивно изнашивается. В течение 50 лет технический прогресс не коснулся гусеницы трелевочных тракторов, находящихся в серийном производстве.

Снижению эффективности работы гусеничного движителя трелевочных тракторов класса тяги до 50 кН способствуют несовершенные ступенчатые механизмы поворота с фрикционными элементами управления, работающими всухую и обладающие плохой управляемостью.

Между тем гусеничный движитель обладает рядом существенных преимуществ перед колесным. По данным Г.М. Анисимова [9] у колесного движителя в контакте с грунтом находится около 10 % (шины сверхнизкого давления до 16 %) периметра колеса. Следовательно, сцепные свойства гусеничного движителя в несколько раз выше, а потери мощности от буксования в 3–4 раза меньше, чем у колесного. Создана гусеница с разнесенными звеньями, масса которой меньше, а сцепные свойства в 3–4 раза лучше, чем у обычной. Исследованиями сельскохозяйственных тракторов установлено, что у колесного трактора на вспашке погектарный расход топлива на 30–40 % больше, чем у гусеничного. В шарнирах и на перематывание гусеницы образца 30-х годов теряется до 10 % энергии, а при качении шины по бетонной дороге на ее деформации затрачивается только 1–2 % энергии. При движении машины по сильно деформированному грунту потери в обоих типах движителей практически одинаковы.

Решение проблемы проходимости колесных машин увеличением числа ведущих осей привело к значительному усложнению трансмиссии, снижению ее коэффициента полезного действия и циркуляции паразитной мощности, с которой до сих пор не найдены меры борьбы. Несмотря на это, проходимость

колесных машин не достигла проходимости гусеничных, а собственная масса некоторых колесных машин в 2–3 раза превосходит полезную нагрузку. Гусеничный трелевочный трактор обладает лучшей динамической устойчивостью.

При системном подходе к оценке перспективности движителя также необходимо учитывать экологическую совместимость его с почвой. Этой проблемой занимаются ученые Европы, США, Канады и др. Широкие исследования оценки экологических последствий машинной заготовки леса проводятся лесохозяйственными, лесопромышленными, академическими и учебными институтами нашей страны.

Всесторонние, обширные исследования взаимодействия движителей тракторов и почв показали, что наибольший отрицательный эффект заключается в чрезмерном уплотнении почвы. Плотность почвы является существенной характеристикой, от которой зависит комплекс ее физических свойств, водный, воздушный и тепловой режимы, а следовательно, и биологическая активность. Степень уплотнения определяет пористость, содержание влаги, размеры почвенных частиц и пор между ними, размеры микро- и макроагрегатов, количество живых организмов и микроорганизмов. Сельскохозяйственная практика показывает, что можно создать высокий уровень плодородия с помощью удобрений, добиться удовлетворительной водообеспеченности поля, но при чрезмерно высокой плотности почвы не получить хороший урожай. В системе обработки сельхозугодий проводится постоянное регулирование плотности почвы. Иное обстоятельство в лесной экосистеме, где воздействие машин на почвы происходит один раз в 20–80 лет и дальнейшее восстановление их свойств происходит естественным длительным путем [10].

Плотность почвы в следах движителя зависит от давления движителя и числа проходов машин. Даже после одного прохода энергонасыщенного трактора К-701 (давление движителя у которого значительно меньше, чем у К-703) плотность пахотного слоя в следе по подзолистой почве увеличивается на 21–33 %.

Исследователи сельскохозяйственных тракторов установили для различных почв и их свойств (спелости, влажности) допустимые с экологической точки зрения значения показателя воздействия максимального  $q_m$  и среднего  $q_c$  давления движителя на почву. Однако движение колесных энергонасыщенных тракторов, таких как К-700, сопровождается сильным переуплотнением почвы. Например, при 3-кратном проходе этого трактора по одному следу значение показателя воздействия в 3–4 раза больше допустимого.

В шинах перспективных колесных движителей лесопромышленных тракторов можно ожидать снижения давления воздуха только до 0,15 МПа. Снижение давления воздуха сопровождается уменьшением долговечности шины, увеличением рассеивания энергии за счет внутримолекулярного трения при ее деформации, уменьшением скорости движения трактора. Следовательно, можно ожидать, что давление колесного движителя лесопромышленного трактора будет значительно выше допустимого по экологической совместимости системы движитель – почва. Кроме того, с увеличением максимального давления движителя на опорную поверхность ухудшается проходимость лесных машин по глубокому снежному покрову и почвам с малой несущей способностью [8].

В 60-х годах в нашей стране и за рубежом было создано несколько вариантов пневмогусениц, ленточных гусениц, пневмотраков из различных синтетических материалов, позволяющих оснастить машину движителем с очень низким средним давлением. Например, трелевочный трактор «Формост-195», выпускавшийся в начале 70-х годов, общей массой с грузом около 20 т, на гусеницах из резинойеилоновой ленты, армированной стальным канатом, имел давление 0,04 Мпа. Легкая эластичная гусеница позволила создать трелевочный трактор, обладающий высокой энергонасыщенностью (11 кВт/т) и скоростью движения до 23,5 км/ч. Финская фирма «Nortmet» экспонировала на выставке «Лесдревмаш-84» сортиментовоз «Farmi-Trak» на ленточных гусеницах с ре-

кордно малым давлением движителя на почву 0,005 МПа.

Особо следует отметить уменьшение отрицательного влияния на почвенный покров и подрост гусеничного движителя с малым удельным давлением в сочетании с трансмиссией, обеспечивающей плавный бесступенчатый поворот машины. Трелевочная система на базе такого гусеничного трактора будет обладать высокой экологической эффективностью и проходимостью, иметь низкий удельный технологический расход топлива, т.е. обеспечит рост производительности при снижении энергозатрат на трелевку.

Все вышеперечисленное обуславливает актуальность поиска новых технических решений и научное обоснование их именно для гусеничного типа движителя.

#### Библиографический список

1. Анисимов, Г.М. Исследование нагруженности трансмиссии трактора ТДТ-55 при работе на лесозаготовках: дисс. ... канд. техн. наук / Г.М. Анисимов. – Л., 1967.
2. Анисимов, Г.М. Научные основы применения трелевочных тракторов в перспективных технологических процессах: дисс. ... д-ра техн. наук / Г.М. Анисимов. – Л., 1979.
3. Анисимов, Г.М. Условия эксплуатации и нагруженности трансмиссии трелевочного трактора / Г.М. Анисимов. – М.: Лесная пром-сть, 1975. – 166 с.
4. Кутин, Л.Н. Исследование и выбор параметров поддрессирования гусеничного сельскохозяйственного трактора: дисс. ... канд. техн. наук / Л.Н. Кутин. – М., 1986.
5. Силаев, А.А. Спектральная теория поддрессирования транспортных машин / А.А. Силаев. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.
6. Кожуханцев, А.Н. Исследование влияния низкочастотных колебаний в тракторе тягового класса 3-4 на его тягово-динамические показатели: дисс. ... канд. техн. наук / А.Н. Кожуханцев. – М., 1980.
7. Халфман, Р.Л. Динамика.: пер. с англ / Р.Л. Халфман. – М.: Наука, 1972. – 568 с.
8. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность – машина.: пер. с англ. / М.Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
9. Анисимов, Г.М. Эксплуатационная эффективность трелевочных тракторов / Г.М. Анисимов. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 208 с.
10. Котиков, В.М. Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы: дисс. ... д-ра техн. наук / В.М. Котиков. – М., 1995.

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН ФИРМЫ ДЖОН ДИР В УСЛОВИЯХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ф.А. ДАЦ, *асп. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ*

*dac\_fedor@mail.ru*

От технического состояния техники зависит количество и качество производимой продукции, эффективность использования рабочего времени, дополнительные затраты на топливо и трудоемкость текущих ремонтов.

В результате исследования технической готовности тракторов Джон Дир в условиях Вологодской области было установлено, что эргономичность, экологичность и производительность работы техники, на наш взгляд, в целом отвечает требованиям для работы в лесу. Однако более глубокий анализ, основанный на обработке данных исследования коэффициента технической готовности и производительности машин, показал высокие простои техники, порой достигающие 24 часов и более [1]. Проведенный анализ основных отказов харвестеров и форвардеров по системам и агрегатам независимо от наработки с учетом структуры функционирования представлен в табл. 1, 2 и на рис. 1.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

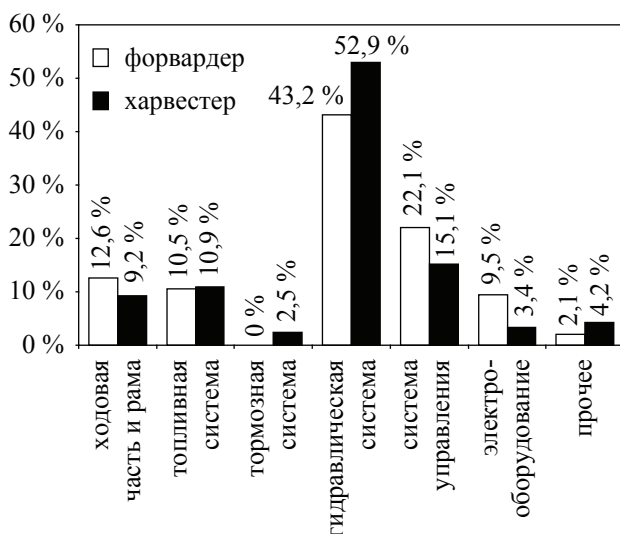


Рис. 1. Диаграмма распределения отказов харвестеров и форвардеров по системам и агрегатам

**Отказы в гидравлической системе** форвардера (43,2 %) встречаются не так часто, как у харвестера (52,9 %). Следовательно, гидравлическая система харвестера загружена в 1,3 раза больше, чем форвардера в связи с тем, что манипулятор, харвестерный агрегат, система поворота, трансмиссия харвестера работают в более агрессивной лесной среде (особенно при рубках ухода). Из-за большого количества гидрошлангов и гидроагрегатов отказы в гидравлической системе случаются довольно часто.

**Отказы в системе управления** у форвардера (22,1 %) и харвестера (15,1 %). Причиной столь частых отказов в этой системе является то, что приборы, как у харвестера, так и у форвардера, работают в неблагоприятных условиях (переменные режимы работы, вибрации (внутренние – от двигателя, внешние – от дороги) от рабочего процесса, повышенная влажность, переменные температурные режимы и т.д.).

**Отказы в ходовой части и износы рамы** форвардера встречаются в полтора раза чаще, чем у харвестера (12,6 % против 9,2 %). Это можно объяснить тем, что ходовая часть и рама форвардера нагружены сильнее, чем у харвестера. Ведь в них у харвестера входят рама, кабина, трансмиссия, грузовой отсек, колеса, гусеницы. Эти элементы постоянно находятся под действием силы тяжести от перемещаемой массы груза (пачки сортиментов).

**Тормозная система** харвестера и форвардера имеет примерно одинаковое количество отказов (2,5 % и 0 %). У форвардера это наиболее надежная система.

У харвестера такой системой является электрооборудование (3,4 %), в то время как у форвардера оно стоит на предпоследнем месте (9,5 %).

**Прочие системы** харвестера и форвардера имеют по 7 % и 2 % отказов соответственно.

**Распределение отказов харвестеров по системам и агрегатам**

Наименование системы или агрегата	Количество отказов по номерам харвестеров								Итого по системам и агрегатам	
	№ 2121	№ 540	№ 458	№ 453	№ 1093	№ 855	№ 8041	№ 856	количество	%
	Топливная система	1	2	1	2	1	–	3		
Тормозная система	1	–	1	1	–	–	–	–	3	2,5
Гидравлическая система	5	6	8	13	7	8	11	5	63	52,9
Электрооборудование	1	1	1	–	–	1	–	–	4	3,4
Система управления	4	5	2	3	1	1	2	–	18	15,1
Ходовая часть и рама	1	3	–	2	2	1	3	2	14	11,8
Прочее	–	1	–	1	–	2	1	–	5	4,2
Итого по номерам	13	18	13	22	11	13	19	10	119	100,0

**Распределение отказов форвардеров по системам и агрегатам**

Наименование системы или агрегата	Количество отказов по номерам форвардеров										Итого по системам и агрегатам	
	№ 3582	№ 2314	№ 376	№ 3025	№ 3661	№ 3663	№ 1735	№ 634	№ 887	количество	%	
	Топливная система	2	1	1	2	–	2	1	–			1
Тормозная система	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0,00	
Гидравлическая система	6	2	5	5	3	3	11	4	2	41	43,2	
Электрооборудование	1	–	1	1	–	1	3	1	1	9	9,5	
Система управления	2	3	2	3	2	2	4	1	2	21	22,1	
Ходовая часть и рама	2	3	1	1	1	–	2	–	2	12	12,6	
Прочее	–	–	1	–	–	1	–	–	–	2	2,1	
Итого по номерам	13	9	11	12	6	9	21	6	8	95	100,00	

Таким образом, у харвестера наиболее надежным элементом является электрооборудование (3,4 %), а наименее надежным – гидравлическая система (52,9 %). У форвардера наиболее надежный элемент – тормозная система (0 %), наименее надежный – гидравлическая система (43,2 %).

Как видно из рис. 2 б, производительность тракторов резко меняется и падает с увлечением наработки. С целью установления основных причины ухудшения производительности проанализированы коэффициент технической готовности ( $K_{тг}$ ) зарубежных тракторов и наработка на отказ. У харвестера – изменяется резкими скачками, но большинство значений для  $K_{тг}$  не превышает отметки 0,8. Однозначно соответствует ему график наработки на отказ. При анализе зависимости производительности и затрат на запасные части от  $K_{тг}$  (рис. 2 а) можно сделать вывод, что средний коэффициент технической готовности не является оптимальным для обеих характеристик.

Анализ этих кривых показывает, что минимальное количество отказов наблюдается сразу после очередного ТО и далее по мере работы тракторов резко увеличивается, что говорит о необходимости более подробного анализа и обоснования новой оптимальной периодичности технических воздействий тракторов Джон Дир в условиях Вологодской области [1].

Время простоев по организационным причинам – это важная составляющая, которая зависит от реализации на предприятии таких организационно-технических мероприятий, как:

- создание запасов материальных средств и наличие площадей зон ТО и ремонта;
- обеспечение квалифицированным персоналом операторов и ремонтников;
- совершенствование технологии ТО и ремонтов с использованием высокопроизводительного производственного оборудования.

Распределение отказов харвестеров по системам и агрегатам

Марка машины Джон Дир	Наработка, мото-ч											
	450	973	1561	1878	2078	2253	2586	3033	3337	3701	4232	4548
Харвестер 1270С	0,62	0,606	0,98	0,55	0,3	0,47	0,6	0,49	0,38	0,82	0,57	0,95
Форвардер 1010D	0,97	0,98	0,9	0,7	0,43	0,38	0,71	0,95	0,67	0,7	0,89	0,67
Итого $K_{тг\text{ ср}}$	0,68											

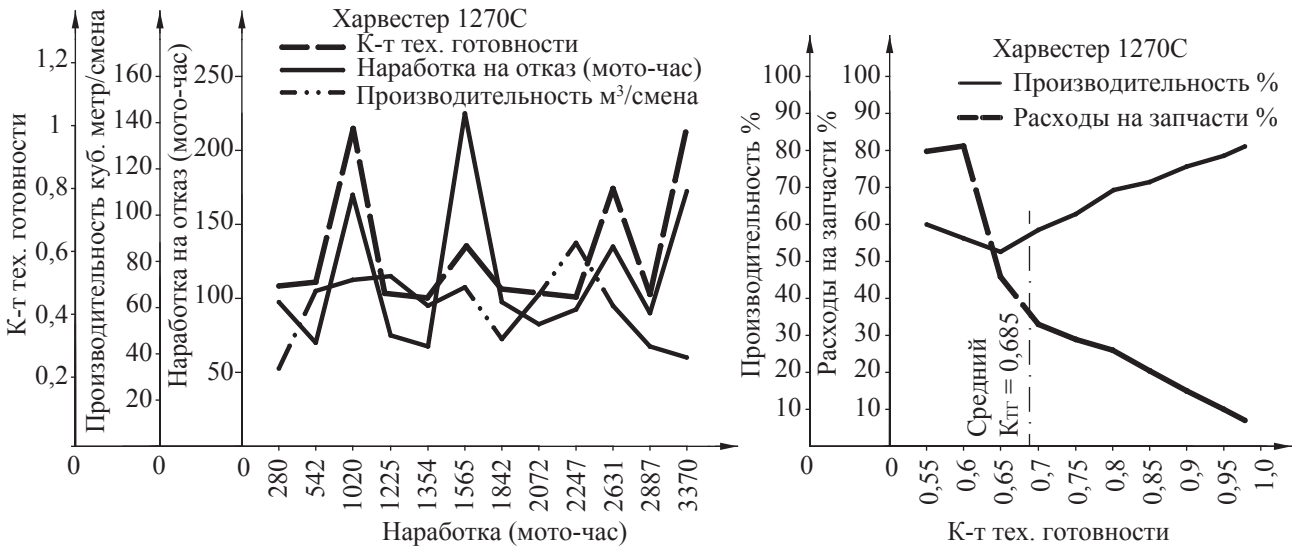
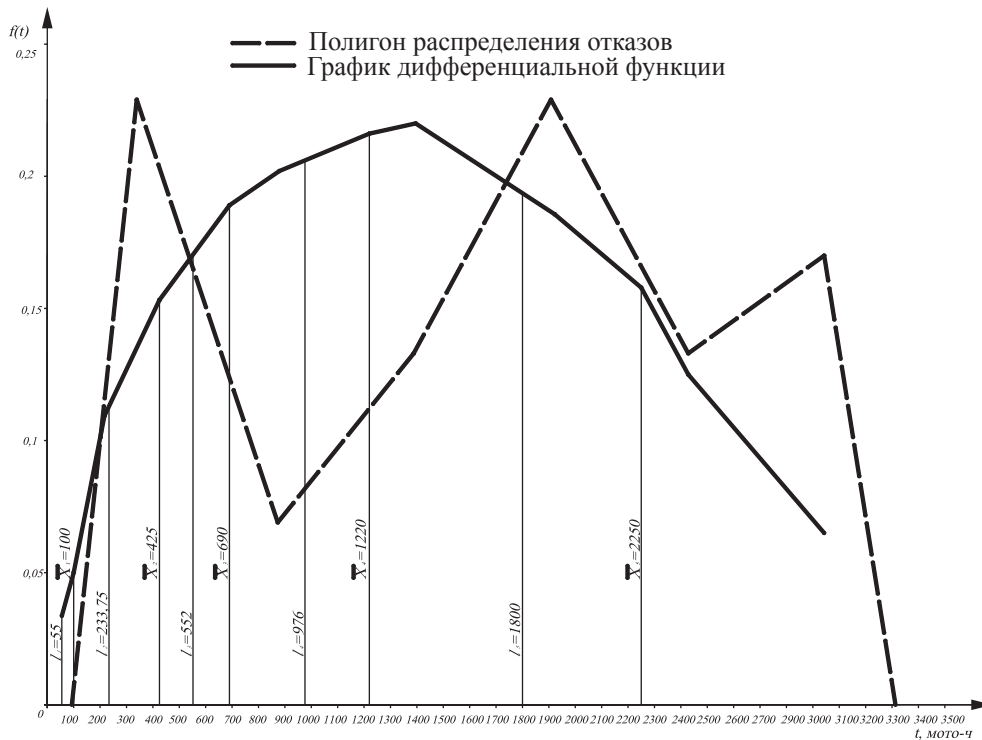


Рис. 2. Анализ основных характеристик техники Джон Дир



Наиболее полно учитывает влияние различных факторов на эффективность эксплуатации машин коэффициент технической готовности [2]

$$K_{\text{тг}} = MD_{\text{и}} / MD_{\text{х}}, \quad (1)$$

где  $MD_{\text{и}}$  – машино-дни в исправном состоянии;

$MD_{\text{х}}$  – машино-дни пребывания в хозяйстве.

Реальный коэффициент технической готовности для зарубежных лесозаготовительных машин сведен в таблицу и имеет огромный разброс в зависимости от наработки (табл. 3).

Целью вышеприведенного исследования является оптимальная периодичность ТО и Р на основании полученных данных по отказам, наработке, запасным частям и  $K_{\text{тг}}$ . Данная статистическая информация по исследованию параметра обрабатывается с целью установления законов распределения исследуемых показателей.

Для обработки экспериментальных данных используются два метода определения периодичности машин фирмы Джон Дир в условиях Вологодской области. Определение периодичности по допустимому уровню безотказности и метод статистических испытаний. Для реализации методов обработки экспериментальных данных строятся графики, гистограммы, полигон распределения с выходом на дифференциальную кривую (рис. 3).

Первый метод основан на выборе такой рациональной периодичности, при которой вероятность отказа  $F$  элемента не превышает заранее заданной величины (рис.3), называемой риском.

Оптимальная периодичность

$$l_0 = \beta x, \quad (2)$$

где  $\beta$  – коэффициент рациональной периодичности, учитывающий величину и характер вариации наработки на отказ.

Коэффициент вариации ресурса  $v = 0,2 \cdot 0,55$ .

Таким образом, чем меньше вариация случайной величины, тем большая периодичность ТО при прочих равных условиях может быть назначена. Более жесткие требования к безотказности снижают рациональную периодичность ТО. На основании экспериментальных данных с использованием метода

посчитана рациональная периодичность проведения ТО зарубежных лесозаготовительных машин в условиях Вологодской области в послегарантийный период (табл. 4). Для сравнения в табл. 5 представлена периодичность, рекомендованная фирмой Джон Дир, и периодичность, которую использовали в леспромпхозах до исследований.

На первый взгляд, периодичность, рекомендованная фирмой Джон Дир, не вызывает подозрений, но она является не опытной, а округленной. Она была выведена следующим образом. За рубежом машины работают по 10 часов пять дней в неделю, следовательно, ежедневное обслуживание – каждые 10 мото-часов; ТО1 – через 50 мото-часов, еженедельное обслуживание; ТО2 – через 250 мото-часов, обслуживание каждые 5 недель; ТО3; ТО4 и ТО5 соответственно обслуживание каждые 10, 20 и 40 недель. Бесспорно, это удобно для составления графика проведения ТО, но такая периодичность не является оптимальной для всех видов почвенно-климатических условий.

Второй метод статистических испытаний основан на имитации (моделировании) реальных случайных процессов ТО, он дает возможность ускорить испытания, исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов, провести при необходимости исследования с целью выбора наиболее пригодного варианта. Исходным материалом для моделирования служат как фактические данные, график дифференциальной функции (рис. 3) и интегральная кривая, полученные при наблюдении, так и законы распределения случайных величин. При определении оптимальной периодичности ТО схема моделирования сводится к следующему (рис. 4).

Предварительно назначается на основании имеющегося опыта или наблюдений (рис. 3) одно или несколько значений периодичностей ТО (например  $l_1, l_2$  и т.д.), как мы это сделали с помощью метода определения периодичности ТО по допустимому уровню безотказности. По результатам расчетных данных создаются два массива: наработка на отказ –  $x_i(t_i)$  и та же наработка на отказ только с учетом новой периодичности ТО (рис. 4).

Оптимальная периодичность ТО и Р техники Джон Дир

№ ТО	Оптимальная периодичность $l_0$ , мото-ч	Коэффициент рациональной периодичности, $\beta$	Средняя наработка на отказ, $\bar{X}$ , мото-ч
1	55	0,55	100
2	233,75	0,55	425
3	552	0,8	690
4	976	0,8	1220
5	1800	0,8	2250

Периодичность ТО и Р, рекомендованная фирмой Джон Дир

№ ТО	Периодичность, рекомендованная фирмой Джон Дир, мото-ч	Периодичность, используемая в леспромхозах (до исследований), мото-ч
1	50	50
2	250	250
3	500	500
4	1000	1200
5	2000	

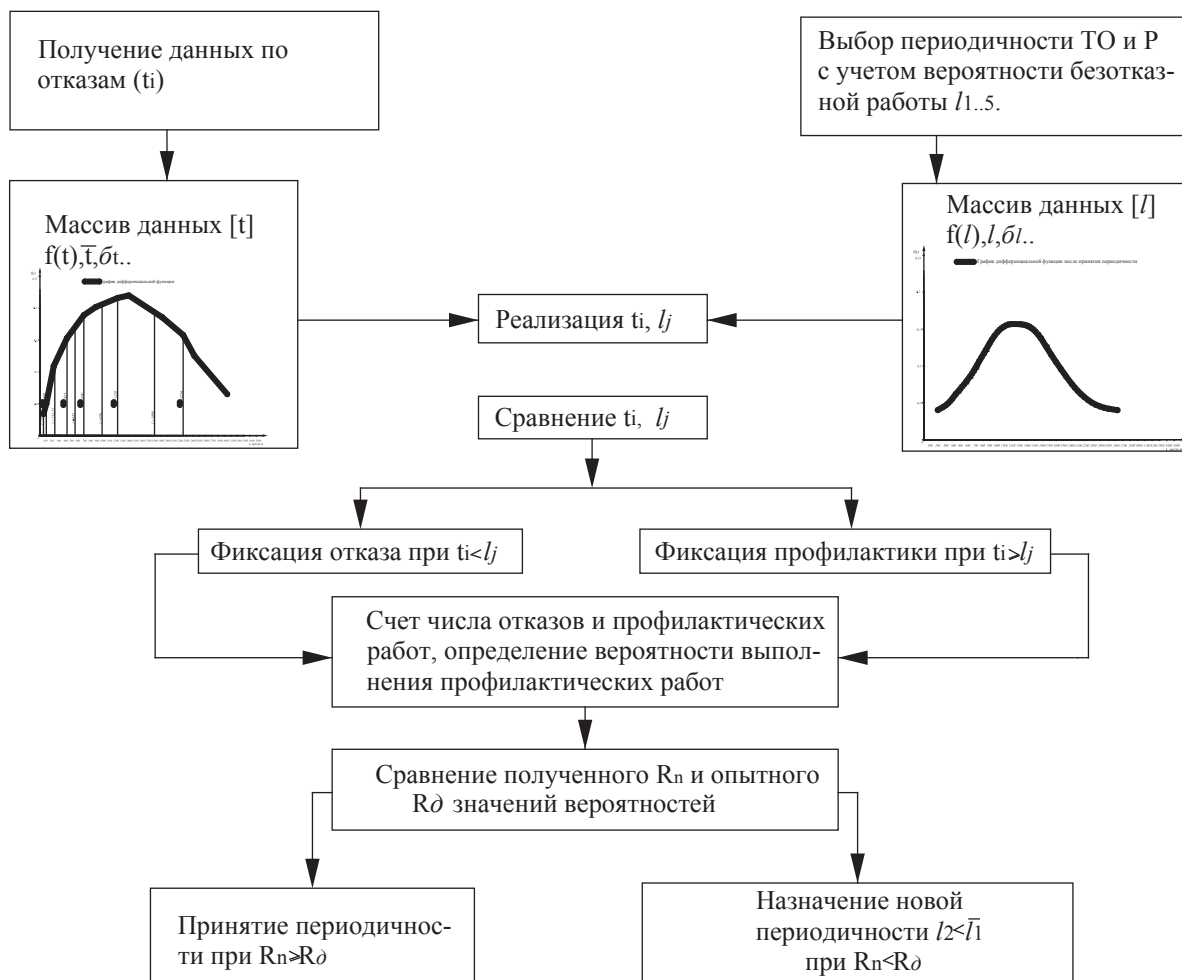


Рис. 4. Схема определения рациональной периодичности ТО с помощью имитационного моделирования



**Распределение отказов харвестеров по системам и агрегатам**

Оптимизация управления	Приращение за счет управления $j$ - фактором $\Delta K_{тг}$	Ожидаемое приращение технической готовности техники $\Delta K_{тг}^{ож}$
Периодичность ТО и Р	0,059	0,152

Из массива данных, содержащих сведения по наработкам на отказ, извлекаем пять амплитуд ярко выраженных значений наработки на отказ  $t_1; t_2; t_3; t_4; t_5$ . Затем из второго массива, где находятся данные по фактическим периодичностям ТО, извлекается конкретное значение  $l_1; l_2; l_3; l_4; l_5$ ; с помощью метода определения периодичности ТО по допустимому уровню безотказности. Такие пары чисел  $x_{1..}$  и  $l_{1..}$  называются реамуацией. Если  $t_{1..} < l_{1..}$  то фиксируется отказ. При  $t_{1..} \geq l_{1..}$  фиксируется отсутствие отказа, т.е. выполнение операции ТО (рис. 3) [3].

На основании таких опытов получена оценка вероятности отказа и профилактического выполнения операции. При выполнении имитационного метода вероятность отказа оказалась меньше заданной (рис. 5), значит, выбранная нами периодичность верна. При принятии периодичности изменятся значения дифференциальной функции (приведена в таблице), снижается интенсивность отказов, а теоретическим законом распределения показателя надежности становится закон распределения Вейбула.

Таким образом, при принятии новой оптимальной периодичности с помощью мо-

дели повышения технической готовности получили приращение коэффициента технической готовности техники. Оно представлено в табл. 6.

Анализ данных с учетом требований к организации управления технической готовности и состоянию зарубежной лесозаготовительной техники Джон Дир в условиях Вологодской области показывает, что одним из важнейших резервов снижения затрат является информационное и диагностическое обеспечение. Фактические данные об изменении технического состояния машин позволяют принять оптимальное решение для получения положительных результатов.

#### Библиографический список

1. Дац, Ф.А. Анализ влияния системы Ч-М-С на надежность техники Джон Дир в условиях Вологодской области» / Ф.А. Дац, А.С. Назаренко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008. – № 5(54). – С. 120–121.
2. Назаренко, А.С. Теоретические предпосылки управления техническим состоянием лесных машин и агрегатов / А.С. Назаренко, В.В. Быков. – Лесная промышленность. – 2004. – № 2. – С. 15–17.
3. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1991. – С. 126.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КОМБИНИРОВАННЫХ МТА

И.Е. ДОНЦОВ, доц. каф. механизации л/х и проектирования машин ВГЛТА, канд. техн. наук,  
И.М. БАРТЕНЕВ, проф. каф. механизации л/х и проектирования машин ВГЛТА, д-р техн. наук

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

Параметры комбинированных МТА должны обеспечивать устойчивый ход на максимально допустимой скорости движения, минимальные отклонения и быстрое затухание переходных колебательных процессов при возникновении случайных возмущений – курсовую устойчивость.

Рассматриваются вынужденные колебания КМТА с навесными орудиями, соединенными с трактором при помощи шарнирных четырехзвенных механизмов навески.

Подвижность системы определяется  $n + 1$  степенями свободы. При этом (рис. 1) учтены: 1) поперечное смещение  $\varphi_0$  центра

давления трактора (ЦДТ) вдоль оси  $X_0$ , 2) колебания трактора  $\varphi_1$  вокруг т.  $O_1$  в его центре давления, 3) колебания  $n-1$  навесных орудий  $\varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$  вокруг т.т.  $O_2, O_3, \dots, O_n$ . Условлено, что колебания трактора ( $\varphi_0$  и  $\varphi_1$ ) происходят в плоскости  $X_0Y_0$ , которая движется прямолинейно и равномерно со скоростью  $V_{O_0}^{XY}$  по неподвижной горизонтальной либо наклонной плоскости  $XU$ . Центры координатных осей  $X_jY_j$  (т.т.  $O_j$ , здесь  $j = 0, 1, 2, \dots, n$  – индекс обобщенных координат) характеризуют положение ЦДТ и место установки навесной системы орудия на тракторе (впереди, сбоку или сзади). Координатные оси  $X_{j,i}Y_{j,i}$  неподвижно связаны с орудиями в т.т.  $D_{j,i}$  где т.т.  $D_{j,i}$  – центры приведения сил взаимодействия с почвой колес или рабочих органов ( $i = 1, 2, \dots, N$  – индекс рабочих органов).

Кроме того, на схеме (рис. 1) обозначено: т.т.  $S_j$  – центры масс трактора и орудий;  $R_{j,i}, M_{j,i}$  – главные векторы и моменты сил со-

противления колес и рабочих органов;  $T_{j,i}, W_{j,i}$  – главные векторы и моменты движущих (тормозящих) сил ведущих колес трактора и орудий;  $G_j$  – горизонтальные составляющие сил тяжести, соответственно, трактора и орудий при работе на склонах;  $\alpha_{j,i}, \beta_{j,i}$  – углы поворота главных векторов сил взаимодействия;  $\Delta x'_{R_{j,i}}, \Delta y'_{R_{j,i}}$  – смещения равнодействующих сил сопротивления колес трактора и рабочих органов от точек приведения;  $\Delta x'_{T_{j,i}}, \Delta y'_{T_{j,i}}$  – смещения равнодействующих движущих сил колес трактора и рабочих органов от точек приведения;  $V_{O_j}^{XY}, V_{D_{j,i}}^{XY}$  – векторы абсолютных скоростей точек приведения (в плоскости  $XU$ );  $\delta_{j,i}$  – углы поворота векторов абсолютных скоростей от продольной оси колес или рабочих органов;  $\delta'_{j,i}$  – фиксированные углы поворота управляемых колес (рабочих органов),  $\gamma$  – направление склона по отношению к основному (переносному) движению; ( $j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, N$ ).

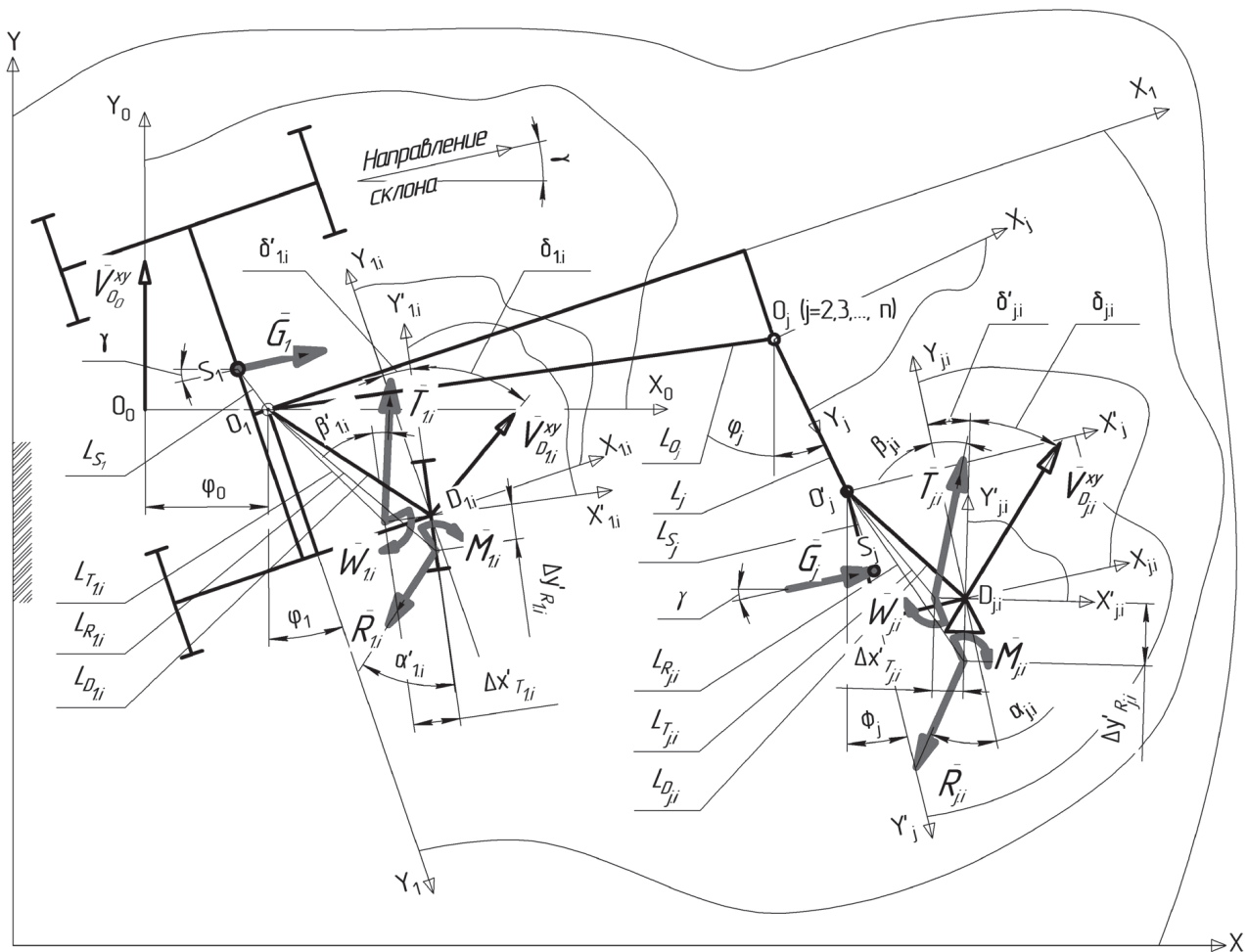


Рис. 1. Расчетная схема КМТА с навесными орудиями

Геометрические параметры системы:  $x_{S_j}, y_{S_j}$  – координаты т.т.  $S_j$  в плоскости  $X_j Y_j$ ;  $x_{O_j}, y_{O_j}$  – координаты т.т.  $O_j$  в плоскости  $X_1 Y_1$ ;  $L_j$  – длина  $j$ -ой навесной системы;  $x_{D_{j,i}}, y_{D_{j,i}}$  – координаты точек приведения (рабочих органов) в плоскостях  $X_j Y_j$ ; ( $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ ). Отметим, если орудие не «тянут», а «толкают», то длину навески  $L_j$  следует принять со знаком «минус».

В полярных координатах положение т.т.  $S_j$  и  $O_j$  и точек приведения (т.т.  $D_{j,i}$ ) реактивных сил в соответствующих координатных плоскостях характеризуют длиной радиус-вектора и углом его поворота. Радиус-векторы ( $L$ ) и углы поворота ( $\Psi$ ) вычисляются по формулам

$$L_{S_j} = \sqrt{y_{S_j}^2 + x_{S_j}^2}; \Psi_{S_j} = \arctg \frac{x_{S_j}}{y_{S_j}}; L_{O_j} = \sqrt{y_{O_j}^2 + x_{O_j}^2};$$

$$\Psi_{O_j} = \arctg \frac{x_{O_j}}{y_{O_j}}; L_{D_{j,i}} = \sqrt{y_{D_{j,i}}^2 + x_{D_{j,i}}^2}; \Psi_{D_{j,i}} = \arctg \frac{x_{D_{j,i}}}{y_{D_{j,i}}},$$

( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ), ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ). (1a)

Радиус-векторы точек приложения равнодействующих сил сопротивления и движущих сил рабочих органов и углы поворота радиус-векторов во время движения вычислим по формулам

$$L_{R_{j,i}} = \sqrt{(y_{j,i} + \Delta y_{R_{j,i}})^2 + (x_{j,i} + \Delta x_{R_{j,i}})^2};$$

$$\Psi_{R_{j,i}} = \arctg \frac{x_{j,i} + \Delta x_{R_{j,i}}}{y_{j,i} + \Delta y_{R_{j,i}}},$$

$$L_{T_{j,i}} = \sqrt{(y_{j,i} + \Delta y_{T_{j,i}})^2 + (x_{j,i} + \Delta x_{T_{j,i}})^2};$$

$$\Psi_{T_{j,i}} = \arctg \frac{x_{j,i} + \Delta x_{T_{j,i}}}{y_{j,i} + \Delta y_{T_{j,i}}},$$

( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ), ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ). (1б)

Введем обозначения углов  $\Phi_j, \Phi_{0j}, \Phi_{1j}, \Phi_{2j}$  (на схеме не показаны), которые во время движения зависят от обобщенных координат  $\varphi_1, \varphi_j$ , ( $j = 2, 3, \dots, n$ ) и передаточной функции  $\Phi_{1j} = U(\Phi_{0j})$  навесной системы

$$\Phi_{0j} = \varphi_j - \varphi_1;$$

$$\Phi_{1j} = U_{0j} + U_{1j} \Phi_{0j} + U_{2j} \Phi_{0j}^2 + \dots \approx U_{1j} \Phi_{0j} = (1 - u_j) \Phi_{0j} = (1 - u_j)(\varphi_j - \varphi_1);$$

$$\Phi_{2j} = \Phi_{1j} - \Phi_{0j} \approx -u_j(\varphi_j - \varphi_1) = u_j(\varphi_1 - \varphi_j);$$

$$\Phi_j = \varphi_1 + \Phi_{1j} = \varphi_1 + U_{0j} + U_{1j} \Phi_{0j} + U_{2j} \Phi_{0j}^2 + \dots \approx \varphi_1 + (1 - u_j)(\varphi_j - \varphi_1) = u_j \varphi_1 + (1 - u_j) \varphi_j,$$

(2a)

где  $u_j$  – передаточное число  $j$ -ой навесной системы [3].

Отсюда,

$$\dot{\Phi}_{0j} = \dot{\varphi}_j - \dot{\varphi}_1;$$

$$\dot{\Phi}_j = \dot{\varphi}_1 + U_{1j} \dot{\Phi}_{0j} + 2U_{2j} \dot{\Phi}_{0j} \Phi_{0j} + \dots \approx \dot{\varphi}_1 + U_{1j} \dot{\Phi}_{0j} = \dot{\varphi}_1 + (1 - u_j)(\dot{\varphi}_j - \dot{\varphi}_1) = u_j \dot{\varphi}_1 + (1 - u_j) \dot{\varphi}_j.$$

(2б)

Первая производная от передаточной функции (мгновенное значение передаточного отношения) навесной системы имеет вид:

$$U_j = \frac{d\Phi_{1j}}{d\Phi_{0j}} = U_{1j} + 2U_{2j} \Phi_{0j} + 3U_{3j} \Phi_{0j}^2 + \dots \approx U_{1j} = 1 - u_j. \quad (j = 2, 3, \dots, n).$$

(2в)

Далее составим дифференциальные уравнения колебаний механической системы, используя при этом уравнение Лагранжа II рода

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}_j} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi_j} = Q_j, \quad (j = 0, 1, 2, 3, \dots, n), \quad (3)$$

где  $Q_j$  – обобщенная сила по  $j$ -й обобщенной координате,

$E$  – кинетическая энергия системы,

$\varphi_j, \dot{\varphi}_j$  – обобщенные, соответственно, координата и скорость,

$t$  – время.

Для определения левой части уравнений движения запишем выражение кинетической энергии системы в плоскости  $X_0 Y_0$

$$E = \frac{1}{2} (m_1 V_{O_1}^{X_0 Y_0 2} + (m_1 L_{S_1}^2 + J_1) \dot{\varphi}_1^2 + \sum_{j=2}^n (m_j V_{S_j}^{X_0 Y_0 2} + J_j \dot{\Phi}_j^2)), \quad (4)$$

где  $m_1, m_j$  – массы, соответственно, трактора и орудий;

$J_1, J_j$  – моменты инерции трактора и орудий относительно их вертикальных центральных осей,

$V_{O_1}^{X_0 Y_0}, V_{S_j}^{X_0 Y_0}$  – скорости центра давления трактора и центра масс орудия в плоскости  $X_0 Y_0$ .

Запишем векторное равенство (рис. 2)

$$\vec{V}_{S_j}^{X_0 Y_0} = \vec{V}_{O_1}^{X_0 Y_0} + \vec{V}_{O_j O_1}^{X_0 Y_0} + \vec{V}_{O_j O_j}^{X_0 Y_0} + \vec{V}_{S_j O_j}^{X_0 Y_0}, \quad (5)$$

где  $\vec{V}_{O_j O_1}^{X_0 Y_0}$  – скорость т.  $O_j$  вокруг т.  $O_1$  в плоскости  $X_0 Y_0$ ,

$\vec{V}_{O_j O_j}^{X_0 Y_0}$  – скорость т.  $O_j$  вокруг т.  $O_j$  в плоскости  $X_0 Y_0$ ,

$\vec{V}_{S_j O_j}^{X_0 Y_0}$  – скорость т.  $S_j$  вокруг т.  $O_j$  в плоскости  $X_0 Y_0$ .

По условиям задачи, углы между векторами скоростей малы, поэтому заменим

векторное равенство (5) его алгебраической суммой. По модулю

$$\begin{aligned} V_{O_1}^{X_0 Y_0} &= \dot{\phi}_0; V_{O_j O_1}^{X_0 Y_0} = L_{O_j} \dot{\phi}_1; V_{O_j O_j}^{X_0 Y_0} = L_j \dot{\phi}_j; \\ V_{S_j O_j}^{X_0 Y_0} &= L_{S_j} \dot{\Phi}_j \approx L_{S_j} [\dot{\phi}_1 + (1-u_j)(\dot{\phi}_j - \dot{\phi}_1)] = \\ &= L_{S_j} [u_j \dot{\phi}_1 + (1-u_j) \dot{\phi}_j]. \end{aligned} \quad (6)$$

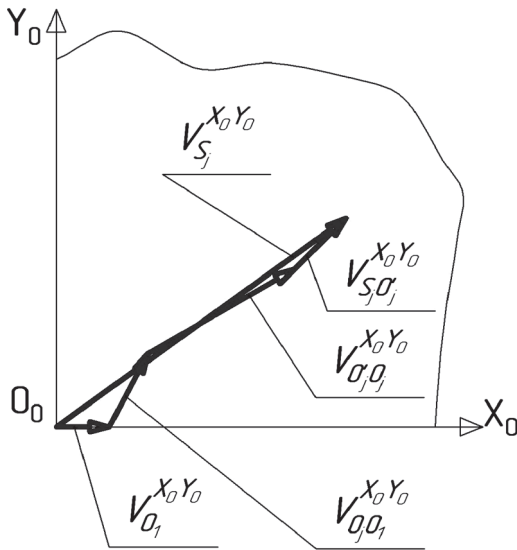


Рис. 2. План скоростей  $m. S_j$

Подставим формулы (6) в выражение (4) и преобразуем последнее к виду

$$E = \frac{1}{2} \left( m_1 \dot{\phi}_0^2 + (m_1 L_{S_1}^2 + J_1) \dot{\phi}_1^2 + \sum_{j=2}^n m_j \{ \dot{\phi}_0 + L_{O_j} \dot{\phi}_1 + L_j \dot{\phi}_j + L_{S_j} [u_j \dot{\phi}_1 + (1-u_j) \dot{\phi}_j] \}^2 + \sum_{j=2}^n J_j [u_j \dot{\phi}_1 + (1-u_j) \dot{\phi}_j]^2 \right). \quad (7)$$

Продифференцируем выражение (7) кинетической энергии по обобщенным координатам, скоростям и времени, как это предписано формулой (3), после чего перепишем уравнения движения в виде системы дифференциальных  $n + 1$  уравнений второго порядка

$$\begin{cases} a_{0,0} \ddot{\phi}_0 + a_{0,1} \ddot{\phi}_1 + a_{0,2} \ddot{\phi}_2 + \dots + a_{0,n} \ddot{\phi}_n = Q_0, \\ a_{1,0} \ddot{\phi}_0 + a_{1,1} \ddot{\phi}_1 + a_{1,2} \ddot{\phi}_2 + \dots + a_{1,n} \ddot{\phi}_n = Q_1, \\ \dots \\ a_{j,0} \ddot{\phi}_0 + a_{j,1} \ddot{\phi}_1 + a_{j,2} \ddot{\phi}_2 + \dots + a_{j,n} \ddot{\phi}_n = Q_j, \\ (j=2,3,\dots,n), \end{cases} \quad (8)$$

где

$$a_{0,0} = m_1 + \sum_{j=2}^n m_j,$$

$$\begin{aligned} a_{0,1} &= \sum_{j=2}^n m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j}), \\ a_{0,2} &= m_2 [L_2 + (1-u_2) L_{S_2}], \\ \dots \\ a_{0,n} &= m_n [L_n + (1-u_n) L_{S_n}]; \\ a_{1,0} &= \sum_{j=2}^n m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j}), \end{aligned} \quad (8a)$$

$$\begin{aligned} a_{1,1} &= m_1 L_{S_1}^2 + J_1 + \sum_{j=2}^n [m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j})^2 + u_j^2 J_j], \\ a_{1,2} &= m_2 (L_{O_2} + u_2 L_{S_2}) [L_2 + (1-u_2) L_{S_2}] + u_2 (1-u_2) J_2, \\ \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{1,n} &= m_n (L_{O_n} + u_n L_{S_n}) \times \\ &\times [L_n + (1-u_n) L_{S_n}] + u_n (1-u_n) J_n; \end{aligned} \quad (8b)$$

$$\begin{aligned} a_{j,0} &= m_j [L_j + (1-u_j) L_{S_j}], \\ a_{j,1} &= m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j}) [L_j + (1-u_j) L_{S_j}] + u_j (1-u_j) J_j, \\ a_{j,2} &= m_j [L_j + (1-u_j) L_{S_j}]^2 + (1-u_j)^2 J_j, \\ \dots \\ a_{j,n} &= m_n [L_n + (1-u_n) L_{S_n}]^2 + (1-u_n)^2 J_n. \end{aligned} \quad (8в)$$

Для определения обобщенных сил  $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  зададим системе виртуальные приращения обобщенных (независимых) координат, соответственно,  $\Delta\phi_0, \Delta\phi_1, \Delta\phi_2, \dots, \Delta\phi_n$ . Определим возможные перемещения  $\Delta s_{j,i}$  всех точек приложения внешних сил. Работу внешних сил на указанных перемещениях по каждой  $j$ -ой координате найдем из выражения

$$\begin{aligned} A_j &= \sum_i \sum_j (\vec{G}_j \cdot \Delta \vec{s}_j + \vec{R}_{j,i} \cdot \Delta \vec{s}_{j,i} + \vec{T}_{j,i} \cdot \Delta \vec{s}_{j,i} + \\ &+ \vec{M}_{j,i} \cdot \Delta \vec{\phi}_{j,i} + \vec{W}_{j,i} \cdot \Delta \vec{\phi}_{j,i}), \end{aligned} \quad (9)$$

Используя зависимости  $Q_0 = A_0/\Delta\phi_0, Q_1 = A_1/\Delta\phi_1, Q_2 = A_2/\Delta\phi_2, \dots$ , определим обобщенные силы, после чего преобразуем выражения для обобщенных сил к виду

$$\begin{aligned} Q_0 &= \sum_{i=1}^N \{ -R_{1,i} \sin(\alpha_{1,i} - \phi_1) + T_{1,i} \sin(\beta_{1,i} - \phi_1) + \\ &+ G_1 \cos \gamma + \sum_{j=2}^n [-R_{j,i} \sin(\alpha_{j,i} - \phi_j) + \\ &+ T_{j,i} \sin(\beta_{j,i} - \phi_j) + G_j \cos \gamma] \}, \end{aligned} \quad (10a)$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= - \sum_{i=1}^N \{ -R_{1,i} L_{R_{1,i}} \sin(\alpha_{1,i} + \Psi_{R_{1,i}}) - M_{1,i} + \\ &+ T_{1,i} L_{T_{1,i}} \sin(\beta_{1,i} + \Psi_{T_{1,i}}) - W_{1,i} + G_1 L_{S_1} \times \\ &\times \cos(\phi_1 + \Psi_{S_1} - \gamma) + \sum_{j=2}^n [-R_{j,i} L_{O_j} \sin(\alpha_{j,i} - \phi_j + \\ &+ \Psi_{O_j}) + T_{j,i} L_{O_j} \sin(\beta_{j,i} - \phi_j + \Psi_{O_j}) + \\ &+ G_j L_{O_j} \cos(\phi_1 + \Psi_{O_j} - \gamma)] \}, \end{aligned} \quad (10б)$$

$$Q_j = \sum_{i=1}^N \sum_{j=2}^n [-R_{j,i} L_j \sin(\alpha_{j,i} - \Phi_{2j}) - U_j R_{j,i} L_{R_{j,i}} \times \sin(\alpha_{j,i} + \Psi_{R_{j,i}}) - U_j M_{j,i} + T_{j,i} L_j \sin(\beta_{j,i} - \Phi_{2j}) + U_j T_{j,i} L_{T_{j,i}} \sin(\beta_{j,i} + \Psi_{T_{j,i}}) - U_j W_{j,i} + G_j L_j \cos(\varphi_j - \gamma) + U_j G_j L_j \times \cos(\Phi_j + \Psi_{S_j} - \gamma)], (j=2,3,\dots,n). \quad (10в)$$

Параметры сил сопротивления и движущих сил (силовые параметры) колес и рабочих органов в формулах (10) являются функциями углов  $\delta_{j,i}$ . Имеем

$$\left\{ \begin{aligned} T_{j,i} &= T_{j,i}(R_{j,i}, \alpha_{j,i}, \beta_{j,i}, \varphi_{j,i}), \\ \beta_{j,i} &= \beta'_{j,i} - \delta'_{j,i}(t), \text{ где} \\ \beta'_{j,i} &= \beta_{\max_{j,i}} [1 - \exp(-k_{\beta_{j,i}} \delta_{j,i} / \beta_{\max_{j,i}})] + \Delta\beta_{j,i}(t), W_{j,i} = k_{w_{j,i}} \beta'_{j,i}, \\ \Delta x_{T_{j,i}} &= \Delta x'_{T_{j,i}} \cos(\delta'_{j,i}(t)), \text{ где} \\ \Delta x'_{T_{j,i}} &= \Delta x_{\max_{j,i}} \{1 - \exp[-k_{x_{j,i}} \times \\ &\times (R_{j,i} \sin \alpha'_{j,i} - T_{j,i} \sin \beta'_{j,i}) / \Delta x_{\max_{j,i}}]\}, \quad (11) \\ \text{или } \Delta x'_{T_{j,i}} &= k_{ce_{j,i}} \beta'_{j,i}, \\ \Delta y_{j,i} &= \Delta x'_{j,i} \sin(\delta'_{j,i}(t)), \\ \beta_{\max_{j,i}} &= \frac{[\tau_{j,i}]}{\frac{k_{x_{j,i}} k_{ce_{j,i}}}{S_{j,i}} + \frac{k_{w_{j,i}}}{W_{K_{j,i}}}}, \\ \Delta x_{\max_{j,i}} &= k_{ce_{j,i}} \beta_{\max_{j,i}}, \\ (j=1,2,\dots,n), (i=1,2,\dots,N). \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} R_{j,i} &= R_{0,j,i} (r_{0,j,i} + r_{1,j,i} \delta_{j,i} + \\ &+ r_{2,j,i} \delta_{j,i}^2 + \dots) + \Delta R_{j,i}(t); \\ \alpha_{j,i} &= \alpha'_{j,i} - \delta'_{j,i}(t), \text{ где } \alpha'_{j,i} = \\ &= (\alpha_{0,j,i} + \alpha_{1,j,i} \delta_{j,i} + \alpha_{2,j,i} \delta_{j,i}^2 + \dots) + \Delta \alpha_{j,i}(t); \\ M_{j,i} &= M_{0,j,i} (m_{0,j,i} + m_{1,j,i} \delta_{j,i} + \\ &+ m_{2,j,i} \delta_{j,i}^2 + \dots) + \Delta M_{j,i}(t); \\ \Delta x_{R_{j,i}} &= \Delta x'_{R_{j,i}} \cos(\delta'_{j,i}(t)), \text{ где } \Delta x'_{R_{j,i}} \approx 0; \\ \Delta y_{R_{j,i}} &= \Delta y'_{R_{j,i}} \cos(\delta'_{j,i}(t)), \\ \text{где } \Delta y'_{R_{j,i}} &= l_{0,j,i} (y_{0,j,i} + y_{1,j,i} \delta_{j,i} + y_{2,j,i} \delta_{j,i}^2 + \dots). \end{aligned} \right. \quad (12)$$

В формулах (11), (12) обозначено:  $\delta'_{j,i}(t)$  – законы поворота управляемых колес и

рабочих органов,  $k\beta_{1,j,i}, k\beta_{2,j,i}, \dots, kw_{1,j,i}, kw_{2,j,i}, \dots, kx_{1,j,i}, kx_{2,j,i}, \dots, kcb_{1,j,i}, kcb_{2,j,i}, \dots, r_{0,j,i}, r_{1,j,i}, \dots, \alpha_{0,j,i}, \alpha_{1,j,i}, \dots, m_{0,j,i}, m_{1,j,i}, \dots, y_{0,j,i}, y_{1,j,i}, \dots$  – эмпирические коэффициенты пропорциональности;  $S_{j,i}, W_{j,i}$  – площадь и момент сопротивления кручению отпечатка шины;  $[\tau_{j,i}]$  – допускаемое касательное напряжение на контактной площадке колеса с почвой,  $\Delta R_{j,i}(t), \Delta \alpha_{j,i}(t), \Delta M_{j,i}(t)$  – возмущающие воздействия;  $l_{0,j,i}$  – длина  $i$ -го рабочего органа, закрепленного на  $j$ -м орудии;  $(j = 1, 2, \dots, n), (i = 1, 2, \dots, N)$ .

Параметры движущих сил колес трактора в выражениях (11) зависят от параметров сил сопротивления колес и рабочих органов. Определим модуль движущих сил колес трактора, во-первых, из условия равновесия всех сил, действующих на агрегат. Для этого спроецируем все силы на ось  $O_1 Y_1$ . Во-вторых, учитываем тот факт, что на современных тракторах установлены дифференциальные механизмы, распределяющие крутящий момент на ведущие колеса трактора равномерно. Отсюда, модуль движущих сил колес трактора

$$T_{1,i} = \frac{\sum_{i=1}^N \{R_{1,i} \cos \alpha_{1,i} + \sum_{j=2}^n [R_{j,i} \cos(\alpha_{j,i} + \Phi_{1j}) - T_{j,i} \cos(\beta_{j,i} + \Phi_{1j})]\}}{n_1 \cos \beta_{1,i}}, \quad (13а)$$

где  $n_1$  – количество ведущих колес трактора.

Модуль движущих сил рабочих органов орудий

$$T_{j,i} = \text{const}, (j = 2, 3, \dots, n). \quad (13б)$$

Возмущающие воздействия  $\Delta R_{j,i}(t), \Delta \alpha_{j,i}(t), \Delta M_{j,i}(t)$  на  $i$ -й рабочий орган можно представить в виде единичного импульса в точке приведения. Функции  $\Delta R_{j,i}(t), \Delta \alpha_{j,i}(t), \Delta M_{j,i}(t)$  запишем следующим образом

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta R_{j,i}(t) &= \frac{R_{\max_{j,i}}}{k_{nl}^2 R_{\max_{j,i}}^2 (t - t_{сдвиг})^2 + 1}, \\ \Delta \alpha_{j,i}(t) &= \frac{\alpha_{\max_{j,i}}}{k_{nl}^2 \alpha_{\max_{j,i}}^2 (t - t_{сдвиг})^2 + 1}, \\ \Delta M_{j,i}(t) &= \frac{M_{\max_{j,i}}}{k_{nl}^2 M_{\max_{j,i}}^2 (t - t_{сдвиг})^2 + 1}, \\ (j = 1, 2, \dots, n). \end{aligned} \right. \quad (14)$$

где  $k_{nl}$  – коэффициент плавности импульса ( $k_{nl} = 10^2 \dots 10^4$ ),

$R_{\max_{j,i}}, \alpha_{\max_{j,i}}, M_{\max_{j,i}}$  – максимальные значения возмущающих воздействий,

$t_{\text{сдвиг}}$  – сдвиг по времени возмущающего воздействия.

Для определения угла  $\delta_{1,i}$  найдем вначале абсолютную скорость т.  $D_{1,i}$  в плоскости  $XU$  (рис. 3)

$$\vec{V}_{D_{1,i}}^{XY} = \vec{V}_{O_0}^{XY} + \vec{V}_{O_1}^{X_0Y_0} + \vec{V}_{D_{1,i}O_1}^{X_0Y_0}, \quad (15)$$

где  $\vec{V}_{O_0}^{XY}$  – скорость т.  $O_0$  вместе с плоскостью  $X_0Y_0$  в плоскости  $XU$  (переносная), по модулю  $V_{O_0}^{XY} = V_0$ , здесь  $V_0$  – скорость трактора;

$\vec{V}_{O_1}^{X_0Y_0}$  – скорость т.  $O_1$  в плоскости  $X_0Y_0$  (относительная),

$\vec{V}_{D_{1,i}O_1}^{X_0Y_0}$  – скорость т.  $D_{1,i}$  вокруг т.  $O_1$  в плоскости  $X_0Y_0$ .

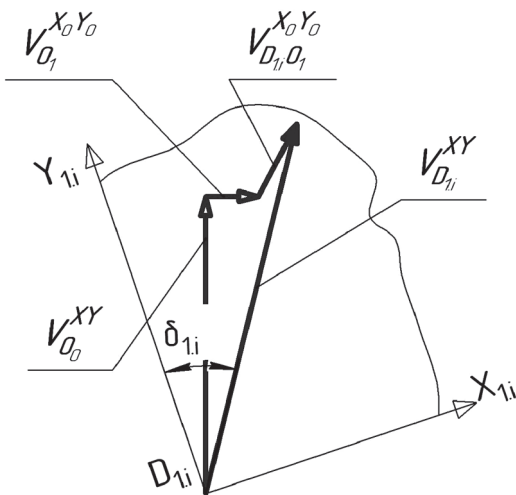


Рис. 3. План скоростей т.  $D_{1,i}$

Затем спроецируем векторное равенство (15) на оси координат  $X_{1,i}$  и  $Y_{1,i}$ , неподвижно связанные с трактором. Имеем

$$\begin{aligned} V_{D_{1,i}}^{X_{1,i}} &= V_{O_0}^{XY} \sin \phi_1 - V_{O_1}^{X_0Y_0} \cos \phi_1 + V_{D_{1,i}O_1}^{X_0Y_0} \cos \Psi_{1,i} = \\ &= V_0 \sin \phi_1 - \phi_0 \cos \phi_1 + \phi_1 L_{D_{1,i}} \cos \Psi_{1,i}, \\ V_{D_{1,i}}^{Y_{1,i}} &= V_{O_0}^{XY} \cos \phi_1 - V_{O_1}^{X_0Y_0} \sin \phi_1 + V_{D_{1,i}O_1}^{X_0Y_0} \sin \Psi_{1,i} = \\ &= V_0 \cos \phi_1 - \phi_0 \sin \phi_1 + \phi_1 L_{D_{1,i}} \sin \Psi_{1,i}. \end{aligned} \quad (15a)$$

Угол  $\delta_{1,i}$  равен

$$\delta_{1,i} = \arctg \frac{V_{D_{1,i}}^{X_{1,i}}}{V_{D_{1,i}}^{Y_{1,i}}}. \quad (16a)$$

Для управляемых колес (рабочих органов) трактора

$$\delta_{1,i} = \arctg \frac{V_{D_{1,i}}^{X_{1,i}}}{V_{D_{1,i}}^{Y_{1,i}}} + \delta'_{1,i}(t). \quad (16b)$$

Для определения угла  $\delta_{j,i}$  ( $j = 2, 3, \dots, n$ ) найдем абсолютную скорость т.  $D_{j,i}$  (рис. 4):

$$\vec{V}_{D_{j,i}}^{XY} = \vec{V}_{O_0}^{XY} + \vec{V}_{O_1}^{X_0Y_0} + \vec{V}_{O_j}^{X_0Y_0} + \vec{V}_{O_j O_j}^{X_0Y_0} + \vec{V}_{D_{j,i} O_j}^{X_0Y_0}, \quad (17)$$

где  $\vec{V}_{D_{j,i} O_j}^{X_0Y_0}$  – скорость т.  $D_{j,i}$  вокруг т.  $O_j$  в плоскости  $X_0Y_0$ .

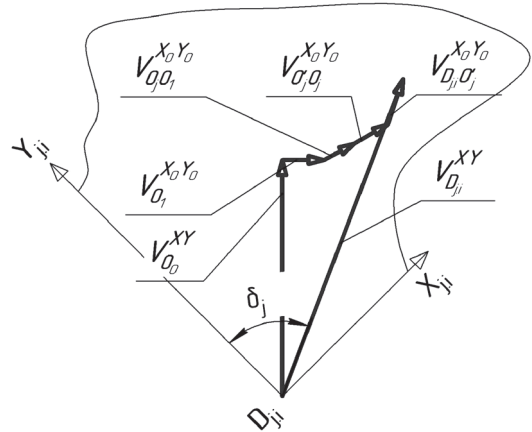


Рис. 4. План скоростей т.  $D_{j,i}$

Спроецируем векторное равенство (17) на координатные оси  $X_{j,i}$  и  $Y_{j,i}$ . Получим

$$\begin{aligned} V_{D_{j,i}}^{X_{j,i}} &= V_{O_0}^{XY} \sin \Phi_j - V_{O_1}^{X_0Y_0} \cos \Phi_j - V_{O_j}^{X_0Y_0} \cos(\Phi_{1j} - \\ &\quad - \Psi_{O_j}) - V_{O_j O_j}^{X_0Y_0} \cos \Phi_{2j} + V_{D_{j,i} O_j}^{X_0Y_0} \cos \Psi_{D_{j,i}} = \\ &= V_0 \sin \Phi_j - \phi_0 \cos \Phi_j - \phi_1 L_{O_j} \cos(\Phi_{1j} - \Psi_{O_j}) - \\ &\quad - \phi_j L_j \cos \Phi_{2j} + \phi_j L_{D_{j,i}} \cos \Psi_{D_{j,i}}, \\ V_{D_{j,i}}^{Y_{j,i}} &= V_{O_0}^{XY} \cos \Phi_j - V_{O_1}^{X_0Y_0} \sin \Phi_j - V_{O_j}^{X_0Y_0} \sin(\Phi_{1j} - \\ &\quad - \Psi_{O_j}) - V_{O_j O_j}^{X_0Y_0} \sin \Phi_{2j} + V_{D_{j,i} O_j}^{X_0Y_0} \sin \Psi_{D_{j,i}} = \\ &= V_0 \cos \Phi_j - \phi_0 \sin \Phi_j - \phi_1 L_{O_j} \sin(\Phi_{1j} - \Psi_{O_j}) - \\ &\quad - \phi_j L_j \sin \Phi_{2j} + \phi_j L_{D_{j,i}} \sin \Psi_{D_{j,i}}. \end{aligned} \quad (17a)$$

Угол  $\delta_{j,i}$  равен

$$\delta_{j,i} = \arctg \frac{V_{D_{j,i}}^{X_{j,i}}}{V_{D_{j,i}}^{Y_{j,i}}} + \delta'_{j,i}(t). \quad (18)$$

Нетрудно убедиться, что после подстановки полученных формул (11), ..., (18) в уравнения обобщенных сил (10) последние приобретают вид сложных трансцендентных функций  $Q_j(t, \phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots)$ , ( $j = 0, 1, 2, \dots, n$ ). Для решения получающейся в результате системы (8) дифференциальных уравнений аналитические методы не всегда оправданы. В этом случае необходимо вос-

пользоваться одним из численных методов расчета, например, методом Рунге-Кутты [2].

При заданных начальных условиях  $\Phi_{0,0}, \Phi_{1,0}, \Phi_{2,0}, \dots, \dot{\Phi}_{0,0}, \dot{\Phi}_{1,0}, \dot{\Phi}_{2,0}, \dots, \ddot{\Phi}_{0,0}, \ddot{\Phi}_{1,0}, \ddot{\Phi}_{2,0}, \dots$  решение системы (8) дает зависимость обобщенных координат от времени:  $\varphi_j = \varphi_j(t), \Phi_j = \Phi_j(\varphi_1, \varphi_2, \dots)$ , ( $j = 0, 1, 2, \dots, n$ ). Полагая  $\varphi_j = \varphi_j(t), \Phi_j = \Phi_j(\varphi_1, \varphi_2, \dots)$  известными, найдем координаты интересующих нас т.т.  $O_1, D_{1,i}, D_{j,i}$  в плоскости  $X_0Y_0$ . Имеем

$$\begin{aligned} \Phi_{0,0} &= \Phi_0, \\ \Phi_{0,D_{1,i}} &= L_{D_{1,i}} \sin(\Psi_{D_{1,i}} + \varphi_1), \\ \Phi_{0,D_{j,i}} &= L_{O_j} \sin(\Psi_{O_j} + \varphi_1) + \\ &+ L_j \sin \varphi_j + L_{D_{j,i}} \sin(\Psi_{D_{j,i}} + \Phi_j). \end{aligned} \quad (20)$$

Отклонения  $\Delta\Phi_0(t)$  (возмущения) названных точек от заданной прямолинейной траектории определим из выражений:

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_{0,0} &= \Phi_0, \\ \Delta\Phi_{0,D_{1,i}} &= \Phi_0 + L_{D_{1,i}} [\sin(\Psi_{D_{1,i}} + \varphi_1) - \sin(\Psi_{D_{1,i}} + \varphi_{1,0})], \\ \Delta\Phi_{0,D_{j,i}} &= \Phi_0 + L_{O_j} [\sin(\Psi_{O_j} + \varphi_1) - \\ &- \sin(\Psi_{O_j} + \varphi_{1,0})] + L_j (\sin \varphi_j - \sin \varphi_{j,0}) + \\ &+ L_{D_{j,i}} [\sin(\Psi_{D_{j,i}} + \Phi_j) - \sin(\Psi_{D_{j,i}} + \Phi_{j,0})]. \end{aligned} \quad (21)$$

Построенные по уравнениям (20) и (21) графики в функции времени показывают траектории интересующих нас точек по неподвижной плоскости  $XU$ . Это дает возможность наглядно оценить характер возмущенного движения КМТА и отдельных его звеньев.

Компьютерное моделирование движения КМТА с помощью предложенных математических моделей выявило закономерности, общие для всех типов тракторов и рабочих органов. Например, независимо от схемы соединения (жестко или шарнирно) фронтальные и боковые орудия всегда оказывают дестабилизирующее влияние на трактор. Причем при жесткой схеме соединения это влияние больше, и задача состоит в том, чтобы уменьшить дестабилизирующий эффект. В то же время, навешенное сзади орудие стабилизирует движение трактора. Таким образом, задача оптимального выбора тягового средства должна решаться отдельно для конкретного набора орудий.

Также установлено, что описанные в [1, 3] схемы фронтальной навески являются частными случаями решения линеаризованной системы уравнений (8) для отдельно взятого фронтального орудия. Выявленные при этом закономерности могут быть учтены на

начальных этапах проектирования при поиске принципиально работоспособных схем фронтальной навески.

Отметим, что во многих случаях рациональной компоновкой удавалось подобрать менее мощный и тяжелый трактор по сравнению с традиционно используемым. Например, для КМТА с навешенным впереди лесным плугом ПКЛ-70, а сзади – посадочной машиной СБН-1А, традиционно предлагают использовать гусеничный трактор ЛХТ-55М. Установлено, что для этих целей может применяться колесный трактор ЛТЗ-155, масса которого почти в 1,5 раза меньше. Не следует также сразу отказываться от жесткой схемы агрегатирования фронтальных орудий. Для некоторых рабочих органов (например, круглого сечения) это влияние незначительно, и иногда его удается преодолеть за счет рационального размещения задненавесного орудия.

Таким образом, современные вычислительные средства с помощью описанных дифференциальных уравнений позволяют моделировать колебания КМТА. Это дает возможность на стадии проектирования, минуя полевые испытания, оптимальным образом обосновать параметры КМТА, включая тяговое средство, максимально допустимую скорость его движения, схему и размеры присоединительных устройств, компоновку машин, орудий и их рабочих органов, в том числе фронтальных, боковых и задненавесных. Для специалистов-практиков это дает возможность использовать менее мощное и, как следствие, более дешевое тяговое средство, уменьшить расход энергоресурсов. Устойчиводвигающийся КМТА обеспечивает высокое качество обработки.

### Библиографический список

1. А.с. 1586545 СССР, МКИ<sup>4</sup> А 01 В 59/048. Почвообрабатывающий агрегат / И.Е. Донцов, Ю.И. Полупарнев, (СССР). – № 4491312/30-15; Заявл. 10.10.88; Опубл. 23.08.90 // Открытия. Изобретения. – 1990. – № 31. – С. 7.
2. Боглаев, Ю.П. Вычислительная математика и программирование: учеб. пособ. для студентов вузов / Ю.П. Боглаев. – М. : Высшая школа, 1990. – 544 с.
3. Донцов, И.Е. Устойчивость движения фронтально-навесного машинно-тракторного агрегата (ФМТА) / И.Е. Донцов // Изв. ВУЗов «Лесной журнал». – 1991. – № 2. – С. 45–50.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МТА

И.Е. ДОНЦОВ, доц. каф. механизации л/х и проектирования машин ВГЛТА, канд. техн. наук,  
И.М. БАРТЕНЕВ, проф. каф. механизации л/х и проектирования машин ВГЛТА, д-р техн. наук

dontsovie@mail.ru

Использование комбинированных МТА с орудиями фронтальной и задней навески на лесовосстановлении позволяет сократить количество проходов трактора по обрабатываемому участку.

Установлено, что движение фронтального орудия характеризуется «дефицитом устойчивости», а заднее орудие имеет своеобразный «запас устойчивости» [2]. В этой связи, в устройстве [1] предложено обеспечить устойчивость фронтального орудия, связав его с задним по схеме, показанной на рис. 1.

В статье предложено определять основные параметры агрегатирования комбинированных МТА исходя из следующих положений.

При отклонении фронтального орудия на некоторый конечный угол  $\varphi_1$  на трактор действует дестабилизирующий момент  $M = Rh$ . Одновременно с этим заднее орудие поворачивается на некоторый конечный угол  $\varphi'_1$ , причем со стороны заднего орудия на трактор начинает действовать стабилизирующий момент  $M' = R'h'$ . Условие управляемости трактора:  $M' - M < [M_T]$ , где  $[M_T]$  – допустимый разворачивающий момент.

Последнее обстоятельство указывает на то, что в описанном устройстве возмущающие нагрузки на трактор со стороны орудий

частично уравновешиваются, в результате чего улучшается его управляемость.

При выборе схемы наладки навески, типа рабочих органов и их расстановки на рамах орудий следует руководствоваться тем, что, при получении конечных возмущений  $\varphi_1$  и  $\varphi'_1$ , равновесие орудий (граница устойчивости) достигается тогда, когда сумма работ внешних сил на возможных перемещениях равна нулю:  $A' + A = 0$ . Отсюда, условие устойчивости движения орудий

$$A' > A \text{ или } R' \Delta s' \cos \beta' > R \Delta s \cos \beta, \quad (1)$$

где  $\Delta s'$ ,  $\Delta s$  – перемещения точек приложения внешних сил  $R'$  и  $R$ ;

$\beta'$ ,  $\beta$  – углы, соответственно, между векторами  $R'$ ,  $R$  и  $\Delta s'$ ,  $\Delta s$ .

Исходя из формулы (1), можно найти допустимое соотношение между силами сопротивления фронтального и заднего орудий. Оно имеет вид

$$\frac{R}{R'} < \frac{\Delta s' \cos \beta'}{\Delta s \cos \beta}. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что при рациональном выборе параметров агрегатирования имеется возможность уравновесить «тяжелое» фронтальное орудие за счет более «легкого» заднего или, при прочих равных условиях, более длинное фронтальное за счет более короткого заднего орудия.

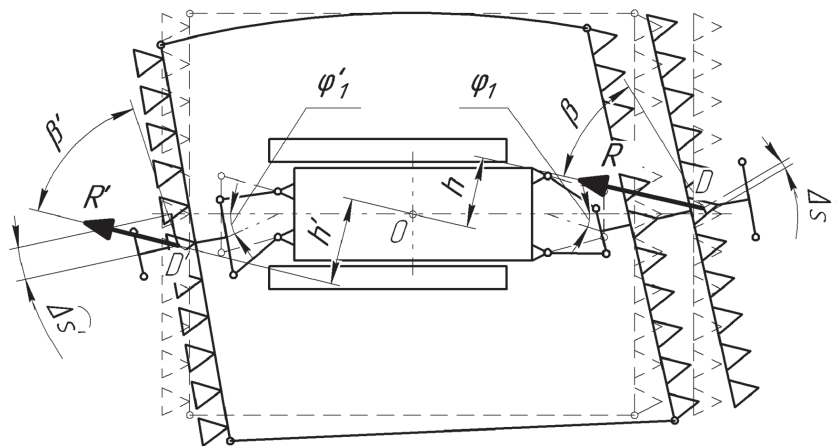


Рис. 1. Схема комбинированного МТА



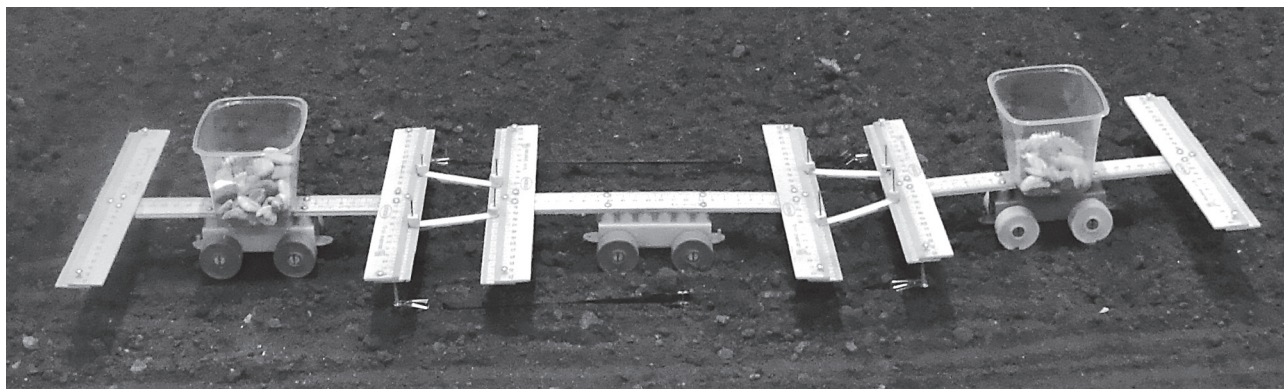


Рис. 2. Модель комбинированного МТА

Проверка работоспособности схемы произведена на уменьшенной 10-кратно механической модели агрегата (рис. 2). Тяги одинаковой длины и передаточные числа навесных систем, равные  $u = 9 / 5 = 1,8$  и  $u' = 5 / 9 = 0,55$ , обеспечивали смещения орудий относительно трактора почти параллельно друг другу ( $\varphi_1 \approx \varphi_1'$ ). Фронтальное и заднее орудия выполнены в виде одинаковых двухосных тележек. Приведенной длиной орудия считали расстояние от оси подвеса до его центра тяжести. Причем отношение приведенной длины орудий к длине навески составляло  $\rho = 2,02$ . Изменение сил сопротивления орудий имитировали с помощью изменения их веса. Предполагалось, что сила сопротивления орудия  $R$  прямо пропорциональна его весу  $G$ .

Опыты показали, что устойчивость движения обеспечивается при более тяжелом фронтальном орудии, причем максимальное отношение веса фронтального орудия к весу заднего составило  $G / G' = 3,07$ . Допустимое расчетное соотношение между силами сопротивления орудий получено графоаналитическим способом. Оно составило  $R / R' = 2,98$ . Расхождения между расчетными и экспериментальными данными объясняются тем, что точка приложения равнодействующей сил сопротивления орудия не совпадает с его центром тяжести. В этом случае значение  $\rho$  следует скорректировать, но не более чем на 2 %. Оно составит  $\rho = 1,98$ . Таким образом, эксперимент подтверждает гипотезу о возможности устойчивого движения орудий различной массы и длины, вытекающую из условия  $A' > A$ . При этом отмечены следующие важные закономерности. Допустимое соотношение  $R / R'$  увеличивается при одновременном уменьше-

нии длины орудий. Указанное соотношение также увеличивается при  $u \rightarrow u_{\text{опт}}$ , где  $u_{\text{опт}} > 1$ , и при  $u' \rightarrow 1$  на интервале  $0 < u' < 1$ .

Кроме того, установлено, что при движении исследуемого агрегата, в сравнении с жесткой схемой закрепления фронтального орудия, движущее средство заметно меньше реагирует на возмущающие воздействия со стороны орудий.

Описанная схема дает возможность существенно расширить список фронтальных орудий из числа тех, которые ранее не использовались по причине неустойчивого движения агрегата. При этом значительно снижаются расходы по изготовлению фронтальных орудий. Для переоборудования достаточно взять подходящее серийное задненавесное орудие и установить на его раме сзади по ходу движения рамку-сцепку для присоединения тяг фронтальной навески. В результате получают технологический модуль, который можно навешивать как сзади, так и впереди трактора. Для специалистов-практиков это дает возможность из ограниченного набора орудий скомплектовать больше вариантов комбинированных агрегатов с новыми качественными свойствами, используя при этом менее мощное и, как следствие, более дешевое и экономичное тяговое средство.

#### Библиографический список

1. А.с. 1743400 СССР, МКИ<sup>5</sup> А 01 В 59/04. Почвообрабатывающий агрегат [Текст] / И.Е. Донцов, (СССР). – № 4750104/30-15; Заяв. 17.10.89; Оpub. 30.06.92 // Открытия. Изобретения. – 1992. – № 24.
2. Донцов, И.Е. Устойчивость движения МТА с орудиями фронтальной или задней навески / И.Е. Донцов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 9. – С. 31–34.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАПРЕССОВКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ОБОЙМУ

В.Ю. ПРОХОРОВ, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ, канд. техн. наук,  
А.И. РОДИОНОВ, доц. каф. прикладной математики МГУЛ, канд. техн. наук

*prohorovv@yandex.ru; rodionovai@inbox.ru*

Необходимость применения новых самосмазывающихся материалов в узлах трения лесопромышленного оборудования характеризуется следующими условиями работ: труднодоступностью узлов для периодического обслуживания; высокой трудоемкостью, частой периодичностью смазочных операций при техническом обслуживании (ТО); зачастую большим количеством смазываемых узлов (на валочно-пакетирующей машине ЛП-18 ежедневно необходимо смазывать 36 узлов) или большой протяженностью механизмов (лесотранспортеры, конвейеры); эксплуатацией машин и механизмов преимущественно на открытом воздухе, в контакте с влагой, водой, пылью, абразивосодержащими средами, древесиной; широким диапазоном температур; повышенными требованиями к защите окружающей среды и пожароопасности.

Опыт показывает, что применение антифрикционных самосмазывающихся углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) позволяет повысить показатели качества, надежности и долговечности машин и агрегатов, уменьшить затраты на их ремонт и техническое обслуживание [2]. Такие свойства новых материалов, как высокая износостойкость без введения смазочного материала, низкий коэффициент трения, работоспособность в широком диапазоне температур, высокая статическая и динамическая несущая способность (до 100 МПа), прирабатываемость, демпфирующая способность, удовлетворительные акустические и вибрационные характеристики делают перспективными их использование во многих тяжелонагруженных узлах лесопромышленного оборудования. Антифрикционные самосмазывающиеся материалы позволяют значительно снизить трудоемкость изготовления узлов и деталей благодаря применению малоотходных или безотходных прогрессивных технологий. Использование материалов с композиционной и комбиниро-

ванной структурой дает возможность уменьшить массу и размеры узлов и деталей машин, сэкономить большое количество смазочных материалов, цветные металлы, легированные стали и другие материалы, что позволит упростить конструкцию узлов и агрегатов.

Применение УУКМ в узлах трения лесопромышленного оборудования позволяет решить следующие задачи:

- уменьшить число точек смазки или увеличить периодичность смазывания многих узлов машин при техническом обслуживании;
- сократить расход смазочных материалов;
- уменьшить расход цветных металлов (бронзы, латуни) на изготовление подшипников скольжения за счет замены на УУКМ;
- заменить подшипники качения на УУКМ в некоторых узлах машин;
- уменьшить трудоемкость технического обслуживания и ремонта машин и оборудования;
- повысить износостойкость и надежность узлов трения;
- уменьшить шум, визг и вибрации в машинах;
- уменьшить стоимость, металлоемкость и массу машин;
- повысить качество выпускаемой продукции;
- повысить производительность оборудования за счет увеличения нагрузочных и скоростных режимов его эксплуатации.

В данной статье поставлена цель дать новые данные по запрессовке УУКМ в металлическую обойму.

Прессовые соединения должны обладать прочностью, чтобы выдерживать возникающие при работе нагрузки (осевые, крутящий момент, вибрации).

Прочность и относительная неподвижность соединений деталей с натягом обеспе-

чивается силами трения, которые зависят от давления, определяемого натягом. Сборка соединений с натягом может осуществляться под действием осевой силы, создаваемой прессом, или с термовоздействием – нагревом охватывающей или с охлаждением охватываемой детали. Применяют также гидропрессовую сборку, при которой деформация деталей соединения достигается подачей в зону сопряжения масла под высоким давлением через специальные канавки при одновременном действии осевой силы.

Под прочностью соединения с натягом понимается способность сопротивляться осевому сдвигу и провороту сопрягаемых деталей, когда они находятся под действием осевой нагрузки, вращающего и изгибающего моментов. Передаваемый соединением вращающий момент (Н · мм)

$$M = 0,5\pi d^2 L f P_y,$$

где  $d$  – диаметр сопряжения, мм;

$L$  – длина сопряжения, мм;

$f$  – коэффициент трения сопряженной пары при относительном вращении;

$P_y$  – удельное давление на контактной поверхности сопряженной пары, МПа:

$$P_y = \frac{\delta_3}{d \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)},$$

где  $\delta_3$  – эффективные диаметральные натяги в мм, принимаемые меньше измеренного натяга  $\delta_u$  ввиду смятия и среза шероховатостей при запрессовке

$$\delta_3 = \delta_u - 1,2(R_{z1} + R_{z2}),$$

где  $R_{z1}$  и  $R_{z2}$  – параметры шероховатости охватывающей и охватываемой поверхностей;

$E_1, E_2$  – модули упругости материалов сопрягаемых деталей, МПа;

$C_1, C_2$  – коэффициенты для охватывающей и охватываемой деталей соответственно

$$C_1 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_1; \quad C_2 = \frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu_2,$$

где  $D$  – наружный диаметр охватывающей детали, мм;

$d_0$  – диаметр отверстия в охватываемой детали, мм;

$d$  – диаметр сопряжения, мм;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона стали и УУКМ соответственно.

Таким образом, усилие запрессовки связано с материалом деталей (коэффициент трения, упругие свойства), с натягом и размерами сопрягаемых поверхностей.

Если наружный диаметр  $D$  стремится к бесконечности, то  $C_1 = 1 + \mu_1$ , если же охватываемая деталь не имеет отверстия, то есть  $d_0 = 0$ , то  $C_2 = 1 + \mu_2$ .

Опытами установлено, что при  $D \geq 6d$ , значение  $C_1$  становится постоянным и начиная с этой величины  $D$  можно использовать приведенное значение  $C_1 = 1 + \mu_1$ . Усилие запрессовки  $P = \pi d L f_3 P_y$ , где  $f_3$  – коэффициент трения при запрессовке.

Однако запрессовку под действием осевой силы при нормальной температуре можно осуществлять при сравнительно небольших натягах (0,02–0,04 мм), не приводящих к появлению опасных удельных давлений. Нагрев охватывающей или охлаждение охватываемой детали облегчают сборку при любых натягах, но наибольший эффект получают при значительных натягах, когда требуется высокая прочность соединения. Благодаря тому, что шероховатости поверхностей не сминаются, происходит их сцепление, и как показали опыты, увеличение прочности соединения в 2–2,5 раза. Нагрев охватывающей детали применяют также в том случае, когда она выполнена из материала, имеющего более высокий коэффициент линейного расширения, а собираемый узел работает в зоне повышенных температур.

Для определения температуры нагрева  $T$  охватывающей детали (или охлаждения охватываемой) пользуются соотношением

$$T = \frac{\delta_u + \delta_0}{d\alpha} - T_0,$$

где  $\delta_u$  – измеренный диаметральные натяги, мм;

$\delta_0$  – зазор в момент сборки, мм;

$d$  – диаметр отверстия охватывающей детали, мм;

$\alpha$  – коэффициент линейного расширения,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$T_0$  – температура окружающей среды,  $^\circ\text{C}$ .

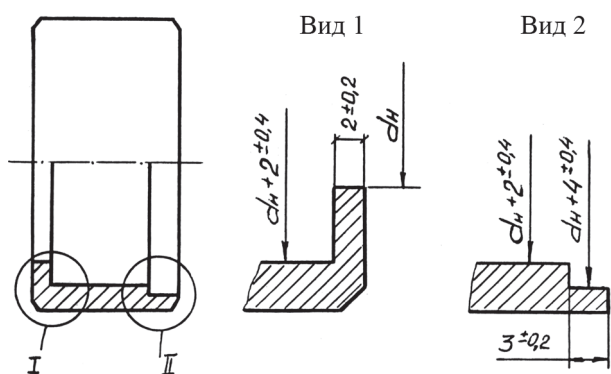


Рис. 1. Основные параметры расточки внутренней поверхности втулок шарнирных сопряжений под запрессовку УУКМ

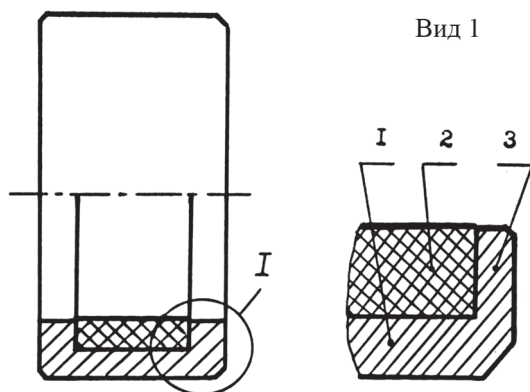


Рис. 2. Общий вид втулки шарнирного подшипника технологического оборудования после изготовления: 1 – основа втулки; 2 – УУКМ; 3 – бурт

Нагрев охватываемой детали осуществляют до температуры не более 320–350 °С, при которой сохраняются физико-механические свойства материала. В зависимости от вида производства детали нагревают в масляных ваннах, электропечах сопротивления, индукционных установках.

Соединения, собираемые с охлаждением охватываемой детали, примерно на 10–15 % прочнее, чем соединения, получаемые с нагревом охватываемой детали. Сборка с охлаждением не изменяет исходную структуру и физико-механические свойства металла. Поэтому этот способ целесообразно применять для сборки ответственных узлов, к которым предъявляются повышенные требования по эксплуатационной надежности,

В качестве хладоносителей обычно применяют твердую углекислоту (сухой лед)

и жидкий азот. Температура охлаждения в жидком азоте –195 °С. В ванне денатурированный спирт–сухой лед с температурой охлаждения – 78 °С.

Охлаждение охватываемых деталей особенно удобно, когда приходится запрессовывать большое число мелких деталей в сравнительно большие корпусные детали, нагрев которых потребовал бы мощного и дорогого нагревательного оборудования.

Для предохранения контактной поверхности от задиrow, а также для облегчения процесса сборки хорошо использовать дисульфидмолибденовую смазку ( $MoS_2$ ), применяемую в виде порошка или пасты. Эта смазка покрывает металл тонким слоем (3–5 мкм) и поэтому не влияет на натяг в соединении.

Технология изготовления заготовок для втулок шарнирных сопряжений, подлежащих запрессовке, не оказывает влияния на технологию запрессовки УУКМ и может быть оставлена на заводе неизменной. Единственной отличительной механической операцией, необходимой для подготовки втулки под запрессовку, является ее расточка на толщину УУКМ и выполнение особой формы торца внутренней поверхности. Характер расточки и форма торца являются едиными для всех типоразмеров втулок цилиндрической формы (рис. 1). Базы при механической обработке втулок и запрессовка УУКМ остаются неизменными.

Общий вид втулки шарнирного подшипника представлен на рис. 2

### Библиографический список

1. Бабкин, А.М. Управление свойствами композиционных материалов при проектировании технологий изготовления и модернизации машин / А.М. Бабкин, В.Ю. Прохоров. // Материалы 2-й научно-практической конференции «Организация и развитие информационного обеспечения органов управления, научных и образовательных учреждений АПК», ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – Т. 2. – С. 35–43.
2. Голубев, И.Г. Модернизация транспортных и технологических машин с помощью альтернативных материалов / И.Г. Голубев, В.Ю. Прохоров // Лесная промышленность. – 2004. – № 4. – С. 24–27.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУГРАННОГО КЛИНА С ПОЧВОЙ

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

alyabievaf@rambler.ru

В основу исследуемой модели взаимодействия двугранного клина с почвой [1, 2] положена схема образования пласта, предложенная В.П. Горячкиным [3], и «принцип линейной деформируемости» почвы (грунта) [4, 5]. В качестве основного инструмента построения модели использовались методы статики сыпучей среды [6]. Модель позволяет определять размеры элемента пласта и силы, возникающие при его образовании, в зависимости от физико-механических свойств почвы, параметров двугранного клина и глубины резания. Глубина резания может быть величиной как постоянной, так и переменной.

Рассмотрим образование пласта при постоянной глубине резания почвы. Резание осуществляется следующим образом. Двугранный клин, с углом резания  $\alpha_0$ , движется равномерно и прямолинейно в почве на глубине  $h$ . При взаимодействии клина с почвой в почве образуется область предельного равновесия. При движении клина область предельного равновесия увеличивается и выходит на дневную поверхность почвы. Происходит сдвиг почвы и образуется элемент пласта. Описанная схема реализована на ПК.

Независимыми переменными являются:  $\rho$  – угол внутреннего трения почвы,  $C$  – сцепление почвы,  $E$  – модуль деформации пласта,  $\rho_m$  – угол трения почвы о поверхность клина,  $\alpha_0$  – угол резания,  $h$  – глубина резания. Используя литературные данные и материалы экспериментальных исследований, ограничим область изменения переменных:  $18^\circ \leq \rho \leq 35^\circ$ ,  $0,4 \leq C \leq 1,2$  даН/см<sup>2</sup>,  $24 \leq E \leq 32$  даН/см<sup>2</sup>,  $0 \leq h \leq 30$  см,  $14^\circ \leq \rho_m \leq 34^\circ$  ( $\rho_m < \rho$ ).

При исследовании процесса резания почвы двугранным клином рассматривалось:

– изменение области предельного равновесия при образовании элемента пласта;

– влияние глубины резания на размеры элемента пласта и силы, возникающие при его образовании;

– зависимость размеров элемента пласта и сил, возникающих при его образовании, от угла резания и свойств почвы.

При рассмотрении влияния глубины резания на размерные характеристики элемента пласта нами использовались законы подобия [6]: в геометрически подобных областях при одинаковых числах  $\rho$  и  $(g\rho_m l)/p$  приведенные напряжения в соответствующих точках подобны, здесь  $\rho_m$  – плотность почвы;  $l$  – характерный размер элемента пласта, в нашем случае это длина основания области предельного равновесия  $S$ ,  $p$  – приведенное напряжение. Первый критерий подобия выполняется:  $\rho = const$ . Второй критерий выполняется, если постоянно отношение  $S/p$ , которое использует

– «принцип линейной деформируемости»

$$\sigma_k = eE, \quad (1)$$

где  $\sigma_k$  – нормальная составляющая напряжения по поверхности контакта клина с почвой,

$e$  – относительная деформация пласта,

$E$  – модуль деформации почвы;

– схему образования элемента пласта – клин перемещает почву перпендикулярно своей рабочей поверхности

$$e = s \cdot \sin \alpha_0 / h, \quad (2)$$

где  $s$  – расстояние от вершины клина до рассматриваемой точки;

– определение приведенного напряжения  $p$

$$p = \sqrt{(\sigma_k + H)^2 + \sigma_k^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \rho_m},$$

где  $\rho_m$  – угол трения почвы о поверхность ножа,

$H$  – временное сопротивление всестороннему равномерному растяжению

$$H = C \cdot \operatorname{ctg} \rho;$$

можно привести к виду

$$\frac{S}{p} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{E \cdot \sin \alpha_0}{h} + \frac{H}{S}\right)^2 + \left(\frac{E \cdot \sin \alpha_0}{h} \cdot \operatorname{tg} \rho_m\right)^2}}.$$

Размеры элемента пласта и силы, возникающие при его образовании\*

$h$ , см	$k = S/h$	$k_l = L/h$	$\chi$ , град	$k_h = h_l/h$	$\sigma_{cp}$ , даН/см <sup>2</sup>
5	0,39258	0,372955	97,1	0,98945	1,16
10	0,39270	0,373068	97,1	0,98945	1,16
15	0,39273	0,373092	97,1	0,98945	1,16
20	0,39272	0,373088	97,1	0,98945	1,16

\*)  $E = 28$  даН/см<sup>2</sup>,  $\rho = 26^\circ$ ,  $C = 0,8$  даН/см<sup>2</sup>,  $\varphi_u = 24^\circ$ ,  $\alpha_0 = 32,5^\circ$

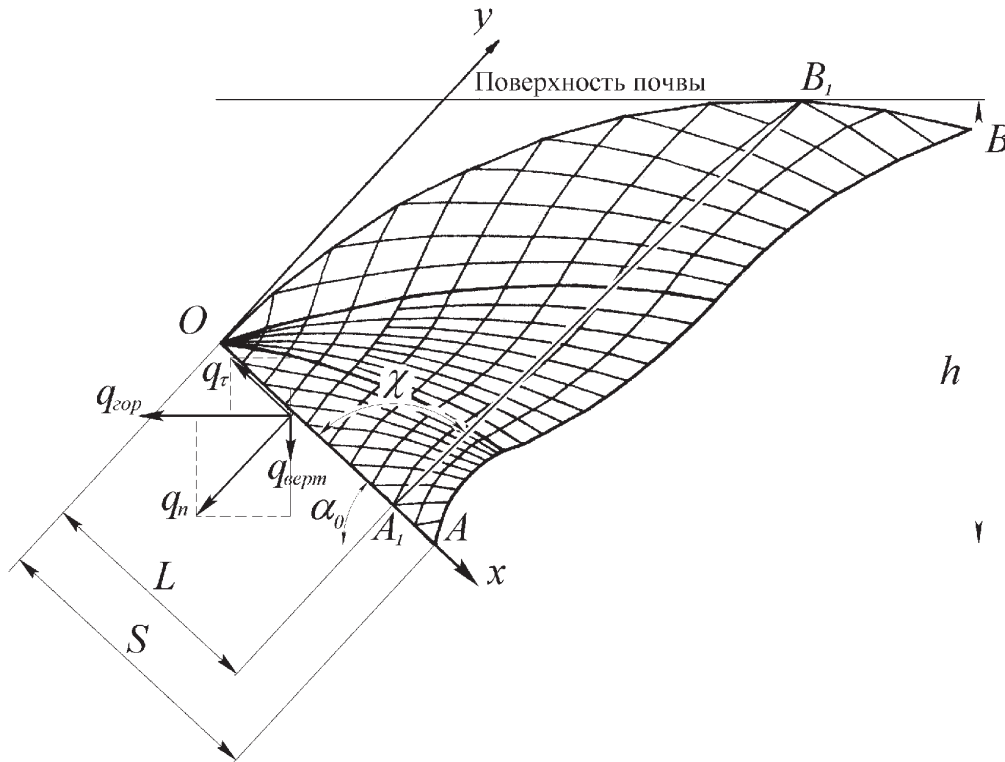


Рисунок. Область предельного равновесия и элемент пласта

Как мы видим, дробь не является постоянной при изменении  $S$ . Следовательно, области предельного равновесия не подобны при образовании элемента пласта.

Вопрос о размерах элемента пласта и силах, возникающих при его образовании, решался численным методом. При фиксированных свойствах почвы и угле резания для глубины резания 5, 10, 15 и 20 см определялись размеры элемента пласта и силы, действующие на клин при максимальном размере области предельного равновесия в момент, когда происходит сдвиг почвы и образуется элемент пласта.

В результате выполненных расчетов установлено:

1. Область предельного равновесия может выходить на дневную поверхность почвы не только в точке  $B$ , но и в какой-

либо точке на характеристике  $OB$  (рисунок). При этом сдвиг почвы происходит по характеристике  $A_1B_1$ . Таким образом, модель объясняет наблюдаемое при экспериментах образование элемента пласта как от вершины клина, так и на некотором удалении от нее особенности формирования элемента пласта.

2. Постоянство отношений  $k = S/h$ ,  $k_l = L/h$  и угла  $\chi$  между плоскостью основания элемента пласта и плоскостью сдвига при изменении  $h$  (таблица). В таблице так же приведено:

$k_h = h_l/h$  – отношение глубины образования элемента пласта к глубине резания,

$\sigma_{cp}$  – среднее нормальное давление на клин со стороны элемента пласта.

Таким образом, модель объясняет подобие элементов пласта при различной глу-

бине резания, отмечаемое различными авторами [3, 7]

Определим силы, действующие на двугранный клин. Нормальная к поверхности клина составляющая силы сопротивления от образования элемента пласта, действующая на единицу длины клина  $q_n$ , будет равна (1), (2)

$$q_n = \int_0^L \sigma_k ds = E \frac{L^2 \cdot \sin \alpha_0}{2h}. \quad (3)$$

Касательная к поверхности клина составляющая силы сопротивления от образования элемента пласта, действующая на единицу длины клина  $q_t$  будет равна:

$$q_t = \int_0^L \tau_{xy} ds = \int_0^L \sigma_k \cdot \operatorname{tg}(\rho_m) ds = E \frac{L^2 \cdot \sin \alpha_0 \cdot \operatorname{tg}(\rho_m)}{2h}, \quad (4)$$

где  $\tau_{xy}$  – касательная составляющая приведенного напряжения  $p$ .

Горизонтальные  $q_{гор}$  и вертикальные  $q_{верт}$  проекции этих сил будут равны (рисунок)

$$\begin{aligned} q_{гор} &= q_n \cdot \sin \alpha_0 + q_t \cdot \cos \alpha_0; \\ q_{верт} &= q_n \cdot \cos \alpha_0 - q_t \cdot \sin \alpha_0. \end{aligned}$$

При этом, за положительное направление действия сил принято: для  $q_{гор}$  – против направления движения, для  $q_{верт}$  – вниз.

На единицу площади вырезаемого сечения горизонтальная  $\sigma_{гор}$  и вертикальная  $\sigma_{верт}$  составляющие сопротивления от образования элемента пласта будут равны

$$\begin{aligned} \sigma_{гор} &= q_{гор} / h = \\ &= (1/2)Ek^2 \cdot \sin \alpha_0 (\sin \alpha_0 + \operatorname{tg} \rho_m \cdot \cos \alpha_0); \\ \sigma_{верт} &= q_{верт} / h = \\ &= (1/2)Ek^2 \cdot \sin \alpha_0 (\cos \alpha_0 - \operatorname{tg} \rho_m \cdot \sin \alpha_0). \end{aligned} \quad (5)$$

Из соотношения (5) следует, что горизонтальная  $\sigma_{гор}$  и вертикальная  $\sigma_{верт}$  составляющие сопротивления от образования элемента пласта, приходящиеся на единицу площади вырезаемого сечения, постоянны для данных почвенных условий и для данного угла резания и не зависят от глубины резания. Таким образом, предложенная модель образования элемента пласта не противоречит эмпирической зависимости [3, 7], согласно которой сила резания пропорциональна удельному сопротивлению резания и площади вырезаемого сечения.

Зависимость размеров элемента пласта и сил, возникающих при его образовании,

при изменении угла резания и свойств почвы определялось численными методами. Выходными величинами являются  $\sigma_{гор}$ ,  $\sigma_{верт}$ , угол  $\chi$ , отношения  $k = S/h$ ,  $k_l = L/h$ . Независимые переменные  $\rho$ ,  $C$ ,  $E$ ,  $\rho_m$ ,  $\alpha_0$ . При определении параметров элемента пласта осуществлялся контроль постоянства выходных величин при различной глубине резания. Для этого расчеты дублировались при глубинах резания 5, 10, 15, и 20 см.

По результатам расчетов была проведена аппроксимация. Она проводилась методом наименьших квадратов. В результате получены следующие уравнения

$$\begin{aligned} \sigma_{гор} &= 0,290C + 1,01C \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \operatorname{tg} \rho_m + \\ &+ 1,308C \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \operatorname{tg} \rho - 0,461C \cdot \operatorname{tg} \rho + 1,090C \cdot \operatorname{tg} \rho_m, \\ \sigma_{верт} &= 0,688C + 0,425 \cdot C \cdot \operatorname{tg} \rho + 0,510C \cdot \operatorname{tg} \rho_m, \\ k &= 0,394 - 0,00748E + 0,05938C \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 + \\ &+ 0,07082 (C / \operatorname{tg} \alpha_0) + 0,09121C \cdot \operatorname{tg} \rho + \\ &+ 0,09628C \cdot \operatorname{tg} \rho_m, \\ \alpha_1 &= 8,25 - 0,2292E + 4,896C + \\ &+ 15,69C \cdot \operatorname{tg} \rho - 15,23C \cdot \operatorname{tg} \rho_m, \\ \alpha_2 &= 29,44 + 1,111C + \\ &+ 0,1827\rho - 0,06667\rho_m. \end{aligned}$$

Здесь приведены уравнения для определения угла резания  $\alpha_1$ , при котором начинается резание с образованием элемента пласта и угла резания  $\alpha_2$ , при котором происходит переход от образования элемента пласта от вершины клина к образованию элемента пласта на некотором удалении от нее. При  $\alpha_0 < \alpha_1$  происходит резание без образования элемента пласта.

Графики величин  $k_l$ ,  $\chi$  имеют точку перелома при значениях  $\alpha_0 = \alpha_2$ . Поэтому аппроксимировать указанные величины будем двумя функциями. Одна для значений  $\alpha_1 \leq \alpha_0 \leq \alpha_2$ , а другая для  $\alpha_2 \leq \alpha_0 \leq 60^\circ$ . Для первого отрезка значений  $\alpha_0$   $k_l = k$ . Угол  $\chi$  будет определяться следующей зависимостью

$$\chi_- = 77,88 + 0,395\rho + 0,4111\rho_m.$$

Для второго отрезка функции будут иметь следующий вид

$$\begin{aligned} k_l &= 0,3023 - 0,00543E + 0,03721C + \\ &+ 0,1033(C / \operatorname{tg} \alpha_0) + 0,1178C \cdot \operatorname{tg} \rho, \\ \chi_+ &= 94,90 + 0,5770\rho + 0,3680\rho_m - 0,6457\alpha_0. \end{aligned}$$

Рассмотрим образование пласта при заглаблении двугранного клина.

В результате расчетов установлено, что при заглаблении с постоянным углом  $\gamma_0$

величины  $k, \chi, \sigma_{гор}, \sigma_{верт}$  постоянны для фиксированных почвенных условий и параметров двугранного клина и не зависят от глубины резания. При заглублении с переменным углом  $\gamma_0$  при фиксированных почвенных условиях и параметрах двугранного клина величины  $k, \chi, \sigma_{гор}, \sigma_{верт}$  изменяются и зависят от глубины резания.

Для варианта с постоянным углом заглубления  $\gamma_0$  была проведена аппроксимация результатов расчетов. Как и ранее, аппроксимация проводилась методом наименьших квадратов. В результате получены следующие уравнения

$$\begin{aligned} \sigma_{гор} &= 0,341C + 1,002C \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \operatorname{tg} \rho_m + \\ &+ 1,273C \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \operatorname{tg} \rho - 0,531C \cdot \operatorname{tg} \rho + \\ &+ 1,100C \cdot \operatorname{tg} \rho_m + 0,151C \cdot \operatorname{tg}(\alpha_0 - \gamma_0) \cdot \operatorname{tg} \gamma_0, \\ \sigma_{верт} &= 0,650C + 0,448C \cdot \operatorname{tg} \rho + 0,571C \cdot \operatorname{tg} \rho_m + \\ &+ 0,0815C \cdot \operatorname{tg}(\alpha_0 - \gamma_0) \cdot \operatorname{tg} \gamma_0, \\ k &= 0,460 - 0,0365C + 0,00828E + \\ &+ 0,0858C \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 + 0,0626(C / \operatorname{tg}(\alpha_0 - \gamma_0) + \\ &+ 0,103C \cdot \operatorname{tg} \rho + 0,121C \cdot \operatorname{tg} \rho_m), \\ \alpha_1 &= 8,808 - 0,164E + 3,303C + \\ &+ 12,05C \cdot \operatorname{tg} \rho - 12,700C \cdot \operatorname{tg} \rho_m + 49,093 \cdot \operatorname{tg} \gamma_0, \\ \alpha_2 &= 29,667 + 1,007C + \\ &+ 0,168\rho - 0,0531\rho_m + 0,0375\gamma_0. \end{aligned}$$

Графики величин  $k, \chi$  имеют точку перелома при значениях  $\alpha_0 = \alpha_2$ . Поэтому аппроксимировать указанные величины будем двумя функциями. Для первого отрезка значений  $\alpha_0$   $k_i = k$ . Угол  $\chi$  будет определяться следующей зависимостью

$$\chi_- = 77,55 + 0,3724\rho + 0,4136\rho_m + 0,04834(\alpha_0 - \gamma_0).$$

Для второго отрезка функции будут иметь следующий вид

$$\begin{aligned} k_i &= 0,3535 - 0,00553E - 0,1374C + \\ &+ 0,2468(C / \operatorname{tg} \alpha_0) + 0,1052C \cdot \operatorname{tg} \rho + \\ &+ 0,3918C \cdot \operatorname{tg}(\alpha_0 - \gamma_0) \cdot \operatorname{tg} \gamma_0, \\ \chi_+ &= 94,81 + 0,557\rho + 0,3787\rho_m - \\ &- 0,6356\alpha_0 + 0,0539\gamma_0. \end{aligned}$$

Приведенные уравнения имеют необходимую точность аппроксимации (среднеквадратическое отклонение аппроксимируемой величины не больше точности ее измерения). Коэффициенты множественной корреляции не ниже 0,95. Проведенный анализ показывает, что для 5 % уровня значимости все уравнения адекватны (расчетные значения критерия Фишера много больше

табличных), а их коэффициенты значимы (расчетные значения критерия Стьюдента больше табличных).

Таким образом, в результате исследования модели взаимодействия двугранного клина с отвалом установлено:

– модель образования пласта при резании почвы двугранным клином с постоянной глубиной резания согласуется с положениями основных теорий резания, экспериментальными данными различных исследователей, согласно которым при фиксированных почвенных условиях и угле резания удельное сопротивление от образования пласта не зависит от глубины резания, а элементы пласта подобны и их размеры находятся в прямой зависимости от глубины резания;

– угол резания  $\alpha_0$  имеет два характерных значения: при  $\alpha_0 \geq \alpha_1$  происходит резание с образованием пласта,  $\alpha_0 \leq \alpha_2$  элемент пласта образуется от ребра двугранного клина;

– при резании почвы двугранным клином с постоянным углом заглубления  $\gamma_0$ , фиксированных почвенных условиях и угле резания удельное сопротивление от образования пласта не зависит от глубины резания;

– построенная численная модель с достаточной точностью аппроксимируется алгебраическими зависимостями.

### Библиографический список

1. Алябьев, А.Ф. Модель взаимодействия двугранного клина с почвой при свободном резании / А.Ф. Алябьев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 3. – С. 106–112.
2. Алябьев, А.Ф. Взаимодействие ножа отвала с почвой при дискретной обработке почвы пассивными рабочими органами / А.Ф. Алябьев // Лесовосстановление и механизация лесохозяйственных работ: сб. научн. тр. – Вып. 337. – М.: МГУЛ, 2007. – С. 73–83.
3. Горячкин, В.П. Собрание сочинений. В 3 т. Т. 2 / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – 459 с.
4. Маслов, Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов / Н.Н. Маслов. – М.: Высшая школа, 1982. – 511 с.
5. Цитович, Н.А. Механика грунтов (краткий курс) / Н.А. Цитович. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
6. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
7. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ В СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

О.Н. БУРМИСТРОВА, Ухтинский ГТУ, *д-р техн. наук*,  
Н.Р. ШОЛЬ, Ухтинский ГТУ, *канд. техн. наук*,  
Н.Н. ТРАВИН, *асп. Ухтинского ГТУ*

*info@ugtu.net*

Одним из приемов, применяемых операторами валочно-пакетирующих машин (ВПМ) в процессе разбора завалов после ветровала, является перемещение обломившегося дерева (облома) поворотом захватно-срезающего устройства (ЗСУ) в продольной вертикальной плоскости снизу–вверх.

Уравнения движения масс механической системы составлены в форме уравнения Лагранжа II-ого рода.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} = M_2(t). \quad (1)$$

Кинетическая энергия системы

$$T = \frac{1}{2} I_1 \dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\varphi}_2^2 + \frac{1}{2} I_3 \dot{\varphi}_3^2. \quad (2)$$

Потенциальная энергия системы

$$\Pi = \frac{1}{2} C_{12} (\varphi_1 - \varphi_2)^2 + \frac{1}{2} C_{23} (\varphi_2 - \varphi_3)^2. \quad (3)$$

Принятые допущения:

1. Физико-механические свойства упругих связей постоянны.

2. Движение масс механической системы описывается дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.

3. Сопротивлением воздушной среды пренебрегаем.

Система дифференциальных уравнений в этом случае имеет вид

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 + c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) = M_D, \quad (4)$$

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 + c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) = c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2), \quad (5)$$

$$I_3 \ddot{\varphi}_3 + M_c(t) = c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3). \quad (6)$$

Здесь  $M_c(t) = M_0 + M_c'(t)$ ,

где  $M_0$  – постоянная составляющая момента;  $M_c'(t)$  – момент сопротивления, вызываемый соприкосновением («зацеплением») ветвей вытаскиваемого дерева с ветвями соседних растущих.

Принятые обозначения:

$I_1$  – момент инерции кривошипно-шатунного механизма, маховика, сцепления, шестерен гидронасоса;  $I_2$  – момент инерции захватно-срезающего устройства, приведенный к коленчатому валу;  $I_3$  – момент инерции дерева, приведенный к коленчатому валу;  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – угловые перемещения масс системы соответственно с моментами инерции  $I_1, I_2, I_3$ ;  $c_{12}$  – угловая жесткость гидропередачи, приведенная к коленчатому валу;  $c_{23}$  – угловая жесткость дерева, приведенная к коленчатому валу;  $M_D$  – крутящий момент, отбираемый от силовой установки для привода гидронасоса.

Умножив уравнение (4) системы (4) на  $I_2$ , а второе уравнение на  $I_1$  и, вычитая из первого второе, получим

$$I_1 I_2 (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + I_2 c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) - I_1 c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) = I_2 M_D - I_1 c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2). \quad (7)$$

К полученному уравнению припишем уравнения (5) и (6) системы (4), то есть

$$\begin{aligned} I_1 I_2 (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + I_2 c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) - I_1 c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) &= \\ &= I_2 M_D - I_1 c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2), \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) &= c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) \\ I_3 \ddot{\varphi}_3 + M_c(t) &= c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) \end{aligned} \quad (8)$$

Преобразуя систему уравнений (6) относительно упругой деформации связи « $c_{12}$ », получим дифференциальное уравнение (9)

$$\begin{aligned} \frac{d^4 (\varphi_1 - \varphi_2)}{dt^4} + \left[ \frac{(I_1 + I_2) c_{12}}{I_1 I_2} + \frac{(I_1 + I_2) c_{23}}{I_2 I_3} \right] \times \\ \times \frac{d^2 (\varphi_1 - \varphi_2)}{dt^2} + \left[ \frac{c_{12} (I_1 + I_2 + I_3) C_{23}}{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3} \right] (\varphi_1 - \varphi_2) = \\ = \frac{(I_2 + I_3) c_{23}}{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3} M_D + \frac{M_c(t) c_{23}}{I_2 \cdot I_3}. \end{aligned} \quad (9)$$

Для нахождения частотного уравнения положим

$$\varphi_1 = a_1 \sin(pt + \omega); \varphi_2 = b_1 \sin(pt + \omega); \varphi_3 = c_1 \sin(pt + \omega). \quad (10)$$

Подставляя выражения (10) и вторые производные от них в систему уравнений (4) и преобразуя, получим

$$p_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{(I_1 + I_2)c_{12}}{I_1 I_2} + \frac{(I_2 + I_3)c_{23}}{I_2 I_3} \right] \pm \sqrt{\left\{ \frac{1}{2} \left[ \frac{(I_1 + I_2)c_{12}}{I_1 I_2} + \frac{(I_2 + I_3)c_{23}}{I_2 I_3} \right] \right\}^2 - \frac{c_{12}c_{23}(I_1 + I_2 + I_3)}{I_1 I_2 I_3}}. \quad (11)$$

В установившемся режиме работы ВПМ введем новую координату  $\theta$ , то есть

$$\frac{d^4 \theta}{dt^4} + A \frac{d^2 \theta}{dt^2} + B \theta = DM'_c(t). \quad (12)$$

Здесь обозначено

$$A = \left[ \frac{(I_1 + I_2)c_{12}}{I_1 I_2} + \frac{(I_2 + I_3)c_{23}}{I_2 I_3} \right]; B = \left[ \frac{c_{12}c_{23}(I_1 + I_2 + I_3)}{I_1 I_2 I_3} \right]; D = \frac{c_{23}}{I_2 I_3}.$$

Для нахождения частного решения уравнения (12) зададимся пробным решением

$$\theta = \theta_0 \sin kt, \quad \dot{\theta} = \theta_0 k \cos kt; \quad \ddot{\theta} = -\theta_0 k^2 \sin kt; \quad \ddot{\theta} = -\theta_0 k^3 \cos kt; \quad \theta^{iv} = \theta_0 k^4 \sin kt. \quad (13)$$

Подставляя значения (13) в уравнение (12) и преобразуя, получим

$$\theta_0 k^4 - A \theta_0 k^2 + B \theta_0 = DM_c'', \quad (14)$$

где  $M_c'(t) = M_c'' \sin kt$  – амплитуда гармонического воздействия.

Исследованиями установлено, что воздействие соседних деревьев на вытаскиваемое может быть аппроксимировано как гармоническое.

Таким образом

$$\theta_0 = \frac{D \cdot M_c''}{k^4 - Ak^2 + B} \quad \text{и} \quad \varphi_0 = \frac{D \cdot M_c''}{k^4 - Ak^2 + B} \cdot \sin kt. \quad (15)$$

Тогда общее решение запишется как

$$\varphi = C_1 \sin p_1 t + C_2 \cos p_1 t + C_3 \sin p_2 t + C_4 \cos p_2 t + DM'' / (k^4 - Ak^2 + B) \cdot \sin kt. \quad (16)$$

Для определения постоянных интегрирования зададимся нулевыми начальными условиями

$$\varphi \Big|_{t=0} = 0; \quad \dot{\varphi} \Big|_{t=0} = 0; \quad \ddot{\varphi} \Big|_{t=0} = 0; \quad \ddot{\varphi} \Big|_{t=0} = 0. \quad (17)$$

Подставляя начальные условия, получим

$$C_1 = -\frac{D \cdot M_c'' k}{[k^4 - Ak^2 + B] p_1} \cdot \left[ 1 + \frac{k^2 - p_1^2}{p_1^2 - p_2^2} \right];$$

$$C_2 = C_4 = 0;$$

$$C_3 = \frac{D \cdot M_c'' k (k^2 - p_1^2)}{[k^4 - Ak^2 + B] (p_1^2 - p_2^2) p_2}.$$

И окончательно в стационарном периодическом режиме имеем

$$\varphi = -\frac{D \cdot M_c'' k}{[k^4 - Ak^2 + B] p_1} \cdot \left[ 1 + \frac{k^2 - p_1^2}{p_1^2 - p_2^2} \right] \times \times \sin p_1 t + \frac{D \cdot M_c'' k (k^2 - p_1^2)}{[k^4 - Ak^2 + B] (p_1^2 - p_2^2) p_2} \times \times \sin p_2 t + \frac{D \cdot M_c''}{[k^4 - Ak^2 + B]} \cdot \sin kt. \quad (18)$$

Добавочный динамический момент в упругой связи « $c_{12}$ » определится как

$$M_{доб} = c_{12} \varphi. \quad (19)$$

Результирующая нагрузка на силовую установку ВПМ будет равна

$$M_{\Sigma} = (\varphi_{10} + \varphi) c_{12}, \quad (20)$$

где

$$\varphi_{10} = \frac{(I_2 + I_3) M_D}{c_{12} (I_1 + I_2 + I_3)}.$$

Снижение частоты вращения коленчатого вала определяется как

$$n' = n_H - 9550 (N_e / M_{\Sigma}).$$

**Пример.** Исходные данные примем применительно к ВПМ ЛП-19А, объем обрабатываемого дерева – 2,0 м<sup>3</sup>.

$$N_e = 99 \text{ кВт}; P_H = 25 \text{ МПа}; \dot{\varphi}_1 = 157 \text{ с}^{-1};$$

$$I_1 = 4,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; i_{II} = 785; \dot{\varphi}_2^0 = 0,2 \text{ с}^{-1};$$

$$r = 0,504 \text{ м}; l_2^0 = 751 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$l_2 = l_2^0 / i_{II}^2 = 751/785^2 = 0,00122 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$l_3^0 = 123783 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$l_3 = l_3^0 / i_{II}^2 = 123783/785^2 = 0,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$C_{12}^0 = C_G \cdot r^2 = 3175,2 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$(C_G = 12500 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м});$$

$$C_{12} = C_{12}^0 / i_{II}^2 = 5,15 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$C_{23}^0 = C_D \cdot h_T^2 = 45 \cdot 10,4^2 \cdot 10^3 = 4867,2 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$C_{23} = C_{23}^0 / i_{II}^2 = 7,898 \text{ Н}\cdot\text{м}; M_c'' = 13,248 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$k = \frac{2\pi\nu}{S} = \frac{6,28 \cdot 2,08}{0,3} = 43,54 \text{ с}^{-1},$$

$S$  – расстояние между мутовками;

$$\nu = \dot{\varphi}_2^0 \cdot h_T = 0,2 \cdot 10,4 = 2,08 \text{ м/с}.$$

В исходных данных обозначено:

$N_e$  – мощность силовой установки, отбираемая на привод ЗСУ;  $P_n$  – давление в гидросистеме;  $\dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2^0$  – частота вращения соответственно коленчатого вала и ЗСУ;  $i_{II}$  – передаточное число;  $r$  – радиус поворота ЗСУ;  $C_G$  – жесткость гидропередачи;  $C_D$  – изгибная жесткость дерева;  $h_T$  – расстояние от центра масс до оси вращения ЗСУ.

1. Используя выражение (11), находим частоты колебаний

$$P_{1,2}^2 = 5335,125 \pm 5,32 \cdot 10^3;$$

$$P_1 = 103,224 \text{ с}^{-1}, P_2 = 3,89 \text{ с}^{-1}.$$

2. Определяем коэффициенты дифференциального уравнения (12)

$$A = 10670,25 \text{ 1/с}^2;$$

$$B = 172263,7 \text{ 1/с}^4;$$

$$D = 32368,85 \text{ 1/(с}\cdot\text{кг}\cdot\text{м}^2)$$

3. По выражению (6) находим деформацию упругой связи «с<sub>12</sub>» в стационарном периодическом режиме

$$\varphi = 0,001976 \sin 103,224t -$$

$$- 0,2396 \sin 3,89t - 0,0260 \sin 43,54t.$$

Подставляя значения  $t$ , можно найти величину и характер изменения динамической нагрузки (динамического момента) на силовую установку ВПМ. Поскольку определяющее значение имеет амплитуда низкочастотной составляющей, найдем максимальное значение  $\varphi$  при  $t = (1/4)T$ , то есть

$$T = 2\pi / p_2 = 6,28 / 3,89 = 1,614 \text{ с и}$$

$$t = (1/4)T \cong 0,4 \text{ с}.$$

В этом случае  $\varphi = -0,21446$  рад и  $M_{\text{дин}} = 5,15 \cdot (-0,21446) = -1,1045 \text{ Н}\cdot\text{м}$

4. Определяем постоянную составляющую момента  $\varphi_{10} = 0,20122 \cdot 620 / 5,15 \cdot 4,25122 = 5,70$  рад и  $M_0 = 5,70 \cdot 5,15 = 29,355 \text{ Н}\cdot\text{м}$

5. Находим коэффициент динамичности нагрузки и снижение частоты вращения коленчатого вала силовой установки

$$K_D = 1 + 1,0873 / 29,355 = 1,037 \text{ и}$$

$$n' = 1500 - 9550(99 / (620 + 1,087 + 29,355)) =$$

$$= 1500 - 1453,97 = 46,03 \text{ об/мин}.$$

Были составлены графики изменения добавочного динамического момента в упругой связи «с<sub>12</sub>» и снижения числа оборотов коленчатого вала силовой установки ВПМ в зависимости от объема обрабатываемых деревьев.

Анализируя полученные результаты, можно заключить, что в стационарном периодическом режиме добавочная динамическая нагрузка на силовую установку ВПМ незначительна. Однако результирующий момент сопротивления с учетом постоянной составляющей вызывает значительное снижение частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Полученные аналитические зависимости позволяют исследовать загруженность силовой установки ВПМ в стационарном режиме работы.

## ПРОЧНОСТЬ УГЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ ИЗ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Ю.Г. ЛАПШИН, *проф. каф. сопротивления материалов МГУЛ, д-р техн. наук,*  
Д.В. ТУЛУЗАКОВ, *доц. каф. сопротивления материалов МГУЛ, канд. техн. наук,*  
А.С. АРХИПОВ, *асп. каф. сопротивления материалов МГУЛ*

*lapshin@mgul.ac.ru*

**В** настоящее время для быстрого и прочного соединения деталей мебели используются различные виды стяжек. Прочностные расчеты угловых соединений деталей проводили в 70-х гг. прошлого века [1], однако в настоящее время конструкции стяжек существенно изменились. В статье приведены результаты исследований прочности трех видов стяжек для угловых соединений, используемых в современном мебельном производстве.

В качестве расчетного был принят случай, при котором двухстворчатый шкаф нагружен горизонтальной силой 200 Н, как показано на рис. 1. Такой вариант приложения нагрузки может возникнуть при перемещении шкафа с одного места на другое, при этом в угловых соединениях мебели возникают значительные изгибающие моменты.

На рис. 2 представлена расчетная схема углового соединения, которая использовалась для экспериментального и теоретического анализа прочности стяжек. Значение сжимающих по гипотенузе усилий в 45 Н определены из условия равенства внутренних усилий, действующих в угловом соединении в случае нагружения шкафа горизонтальной силой в 200 Н (рис. 1) и расчетной схемы на рис. 2.

Вначале нами были проведены опытные испытания по определению разрушающих усилий угловых соединений ДСтП на трех видах стяжек – стяжка конфирмат, стяжка эксцентриковая арт. ЕС22ZL (эксцентрик 16 мм) Италия и стяжка коническая с упругим элементом «PERMO» Италия. Поскольку для точности сборки в заводских условиях часто используются шканты, то экспериментальные исследования прочности соединений проводили со шкантами и без шкантов. Угловые соединения на различных типах стяжек с размерами, указанными на рис. 2, были

доведены до разрушения при помощи испытательной машины (табл. 1).

Примечание (виды стяжек):

I – соединение конфирматом (ДСтП плотностью  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности при изгибе  $\sigma_{\text{и}} = 17,8 \text{ МПа}$ );

II – соединение конфирматом (ДСтП плотностью  $\rho = 760 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности при изгибе  $\sigma_{\text{и}} = 19,2 \text{ МПа}$ );

III – соединение стяжкой конической с упругим элементом «PERMO» (ДСтП плотностью  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности при изгибе  $\sigma_{\text{и}} = 17,8 \text{ МПа}$ );

IV – соединение стяжкой с упругим элементом и шкантом (ДСтП плотностью  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности при изгибе  $\sigma_{\text{и}} = 17,8 \text{ МПа}$ );

V – соединение эксцентриковой стяжкой арт. ЕС22ZL (ДСтП плотностью  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности при изгибе  $\sigma_{\text{и}} = 17,8 \text{ МПа}$ );

VI – соединение двумя шкантами без стяжки (ДСтП плотностью  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности при изгибе  $\sigma_{\text{и}} = 17,8 \text{ МПа}$ )).

На рис. 3–5 показан характер разрушения угловых соединений на конфирматах, эксцентриковой и конической стяжках.

Древесно-стружечные плиты при использовании конфирмата разрушаются по среднему слою, а разрушение соединений на эксцентриковых и конических стяжках происходит в результате выдергивания крепежных резьбовых элементов из пласти плиты.

При помощи метода конечных элементов был произведен расчет напряженно-деформированного состояния в древесно-стружечной плите при использовании стяжки типа конфирмат. Расчеты выполнялись с использованием программы Autodesk Inventor 2010 Beta [2] для расчетной схемы, представленной на рис. 1.

Результаты испытаний угловых соединений

№ образца	Разрушающее усилие (Н)					
	I	II	III	IV	V	VI
Среднее значение, Н	67,2	58,9	41,1	57,4	26,6	31,4
Сред.кв. отклонение, Н	9,4	5,2	5,9	7,2	4,1	4,0
Коэфф. вариации, %	13,93	8,81	14,45	12,62	15,37	12,76
Показатель точности, %	4,41	2,79	4,57	3,99	4,86	4,03
Сред.ошибка сред. арифм, Н.	2,98	1,6	1,9	2,3	1,3	1,3

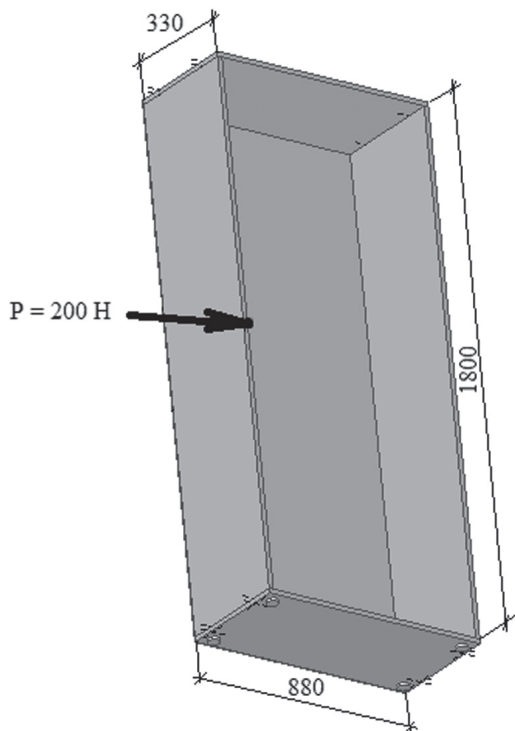


Рис. 1. Расчетная схема шкафа

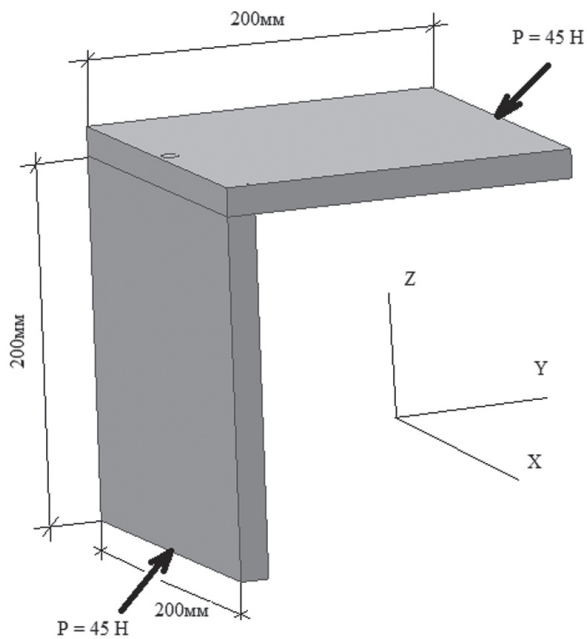
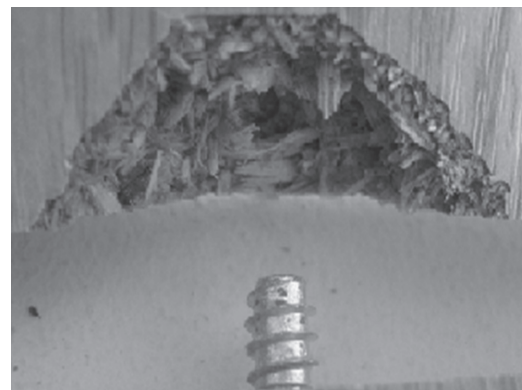


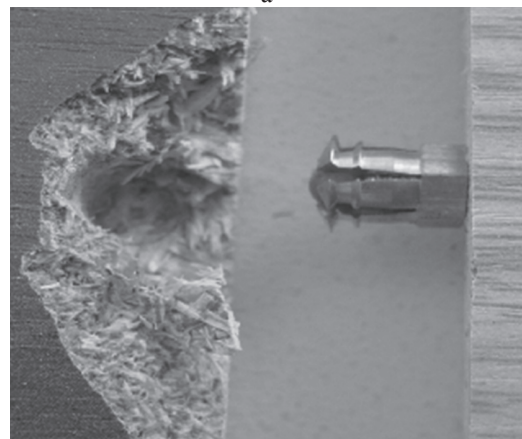
Рис. 2. Расчетная схема углового соединения



Рис. 3. Угловое соединение на конфирмате после разрушения



а



б

Рис. 4. Угловое соединение: а – на эксцентриковой стяжке после разрушения; б) на конической стяжке после разрушения

Результаты расчетов соединения плит конфирматом

Точка №	Толщина, мм	yy, МПа	yz, МПа	φxy, МПа
Точка 1	0	1,05	-1	-0,03
Точка 2	4	0,9	-0,54	-0,03
Точка 3	8	0,54	-0,2	-0,15
Точка 4	12	0,135	0	-0,2
Точка 5	16	-0,24	0,15	-0,2

Показатели прочности плиты в точках 1-5.

Точка №	$\sigma_{B1}^+$	$\sigma_{B1}^-$	$\sigma_{B2}^+$	$\sigma_{B2}^-$	$\tau_{B0}$	$\tau_{B45}^+$	$\tau_{B45}^-$
Точка 1	15	15	1	15	1	1,2	1
Точка 2	12,5	12,5	0,8	12	0,8	0,8	0,8
Точка 3	10	10	0,6	10	0,6	0,6	0,6
Точка 4	12,5	12,5	0,8	12	0,8	0,8	0,8
Точка 5	15	15	1	15	1	1,2	1

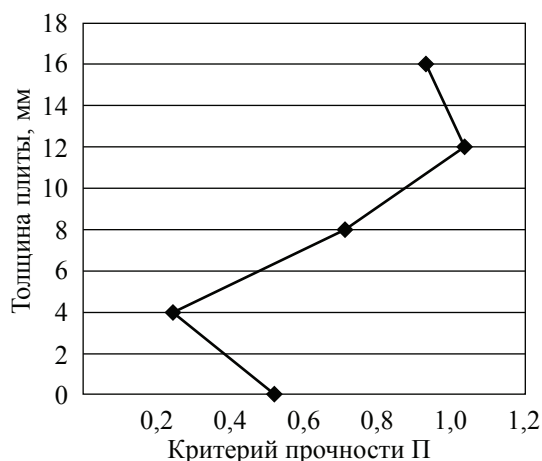


Рис. 5. График распределения критерия прочности по толщине плиты (соединение типа конфирмат)

Результаты расчетов напряжений, выполненных МКЭ, в пяти точках по толщине плиты для стяжки типа конфирмат приведены в табл. 2.

Оценку прочности в этих точках проведем по критерию Гольденבלата-Копнова [3] по формуле

$$\frac{\Pi_{11}\sigma_y + \Pi_{22}\sigma_z + \sqrt{\Pi_{1111}\sigma_y^2 + \Pi_{2222}\sigma_z^2 + \Pi_{1122}\sigma_y\sigma_z + 4\Pi_{1212}\tau_{xy}^2}}{1} \leq 1,$$

где постоянные  $\Pi_{ij}$ ,  $\Pi_{ijmn}$  зависят от прочностных характеристик материала и являются ковариантными по отношению к изменению системы координат. Эти коэффициенты вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} \Pi_{11} &= 1/\sigma_{B1}^+ - 1/\sigma_{B1}^-; \quad \Pi_{22} = 1/\sigma_{B2}^+ - 1/\sigma_{B2}^-; \\ \Pi_{1111} &= (1/\sigma_{B1}^+ + 1/\sigma_{B1}^-)^2; \\ \Pi_{2222} &= (1/\sigma_{B2}^+ + 1/\sigma_{B2}^-)^2; \\ \Pi_{1122} &= \Pi_{1111} + \Pi_{2222} - (1/\tau_{B45}^+ + 1/\tau_{B45}^-)^2; \\ \Pi_{1122} &= 1/\tau_{B0}^2 \end{aligned}$$

В перечисленных формулах приняты следующие обозначения

$\sigma_{B1}^+$ ,  $\sigma_{B2}^+$  — пределы прочности при растяжении в главных направлениях анизотропии;

$\sigma_{B1}^-$ ,  $\sigma_{B2}^-$  — пределы прочности при сжатии в главных направлениях анизотропии;

$\tau_{B0}$  — предел прочности при сдвиге по главным направлениям анизотропии;

$\tau_{B45}^+$ ,  $\tau_{B45}^-$  — пределы прочности при сдвиге под углом  $\pm 45^\circ$  к главным направлениям анизотропии для двух направлений касательного напряжения.

Поскольку плита имеет различные значения прочности по толщине (неоднородность), значения пределов прочности приняты в соответствии с табл. 3 [4].

Распределение критерия прочности по толщине представлены на рис. 5.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- наибольшей прочностью обладают соединения на конфирматах;
- шканты воспринимают нагрузку порядка 15 Н и несколько увеличивают прочность соединения;

– увеличение плотности плит приводит к увеличению прочности и, как следствие, увеличивается несущая способность соединений;

– анализ напряженного состояния в угловых соединениях показывает, что весьма существенное значение для их прочности имеют показатели прочности среднего слоя древесно-стружечных плит.

### Библиографический список

1. Поташов, О.Е. Древесно-стружечные плиты в конструкциях мебели / О.Е. Поташов, Ю.Г. Лапшин, А.Ф. Абельсон. – М.: 1978. – 85 с.
2. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986.
3. Королев, В.И. Основы рационального конструирования мебели / В.И. Королев. – М.: 1973. – 192 с.
4. ГОСТ 10632-2007. Плиты древесно-стружечные. Технические условия.

## ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

И.В. ВОСКОБОЙНИКОВ, *проф. МГУЛ, ФГУП ГНЦ ЛПК, докт. техн. наук,*

С.А. КОНСТАНТИНОВА, *гл. науч. сотр. ФГУП ГНЦ ЛПК, канд. биол. наук,*

А.Н. КОРОТКОВ, *асп. каф. технологии хим. волокон и наноматериалов МГТУ им. А.Н. Косыгина,*

А.И. МИХАЙЛОВ, *проф., лаб. свободнорадикальных и радиационно-химических процессов Института проблем химической физики РАН, д-р хим. наук,*

С.Н. НИКОЛЬСКИЙ, *Институт проблем химической физики РАН, канд. хим. наук*

*gnclpk@mail.ru*

Наиболее важная характерная черта древесины проявляется в ее механических свойствах, в частности в необычной способности обеспечивать значительную механическую прочность и высокое соотношение прочности к массе, в то же время ее гибкость позволяет противостоять большим размерным изменениям, таким как набухание и сжатие. Эти уникальные свойства древесины являются прямым результатом ее внутренней структуры [1].

Внутренняя иерархическая структура древесины охватывает несколько порядков мер длины: метрами измеряется целое дерево, сантиметрами – поперечный срез дерева (сердцевина, ядро, заболонь и кора), миллиметрами – годовые кольца (возраст дерева), десятками микрометров – анатомия клеток, микрометрами – слоистая структура клеточной стенки, десятками нанометров – форма целлюлозных фибрилл в матрице гемицеллюлозы и лигнина, а нанометрами – молекулярные структуры целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина и их химические взаимодействия.

Простейшим элементом природной целлюлозы являются элементарные фибриллы. Элементарные фибриллы, в свою очередь,

организованы в более крупные ассоциаты – микрофибриллы. С точки зрения фазового состояния природная целлюлоза является кристаллизующимся полимером – с кристаллическими и аморфными областями (рисунок а, б.). Молекулярные цепи ориентированы в продольном направлении [2].

Присутствие гликозидных связей между элементарными звеньями оказывает влияние на деструкцию целлюлозы, а гидроксильных групп на реакцию этерификации, окисления и алкилирования. Расщепление гликозидных связей сравнительно легко протекает под действием воды в присутствии минеральных кислот. Последующая обработка гидролизованной целлюлозы высоким усилием сдвига в жидкой среде приводит к высвобождению наноразмерных кристаллических структур – вискероов («усы») [3].

Вискеры характеризуются высокой степенью упорядочения и бездефектностью, что исключает обычные механизмы пластической деформации и приближает их прочность к теоретическому для данного вещества порогу. Стержневидная форма обеспечивает отсутствие в них дислокаций, обуславливающих хрупкость и пластичность

объемных кристаллов. Вискеры обладают исключительной гибкостью, механической прочностью и термической стабильностью (прочность на разрыв  $\sim 10$  ГПа, модуль упругости  $\sim 150$  ГПа), это дает возможность получать новые типы консолидированных наноструктур и нанокомпозитов, обладающих уникальными эксплуатационными характеристиками, включая сверхпрочные и сверхлегкие композиционные материалы [4].

Нанокристаллическая целлюлоза как производная возобновляемых, хорошо контролируемых древесных ресурсов обладает высоким коммерческим потенциалом. Огромная площадь поверхности и повышенная химическая реакционная способность НКЦ обуславливают широкий спектр ее применения: в качестве связующего вещества, наноструктурного компонента в полифункциональных композиционных материалах, при производстве сверхпрочной бумаги, картона высокого качества, специальных покрытий, биоразлагаемых полимерных материалов, в качестве реологического модификатора (например в буровых и цементных растворах), загустителя, регулятора вязкости, стабилизатора водно-латексных красок и эмульсий, в фармацевтической, медицинской, пищевой, парфюмерной и других областях промышленности. Такие материалы могут сформировать следующее поколение продукции с добавочной стоимостью на основе лесных ресурсов.

В настоящее время промышленное внедрение технологии нанокристаллической целлюлозы тормозится исключительно из-за высоких энергетических затрат. Поэтому в современных технологиях целлюлозных материалов большое значение приобретает предварительная обработка сырья, направленная на ослабления молекулярных структур. С этой целью используют различные виды излучений, в том числе ионизирующих.

Одним из наиболее перспективных в технологиях получения и переработки продуктов из растительной биомассы, производства композиционных материалов на основе древесины и синтетических полимеров считается радиационно-химический метод. В гидролизном производстве с помощью указанного метода можно заменить экологичес-

ки опасные химические стадии на «чистую» обработку ионизирующим излучением, снизить количество технологических операций и энергоемкость процессов. Это имеет большое значение в связи с обострившимися проблемами охраны окружающей среды.

Основным результатом воздействия различных видов ионизирующих излучений на целлюлозу и другие полисахариды является деструкция полимерной цепи. Она приводит к изменению физико-химических свойств полимеров – структурного состояния, механической прочности, растворимости в различных средах [5].

В настоящей работе представлены результаты по получению нанокристаллической целлюлозы с использованием ступени предварительной обработки волокнистого сырья ионизирующим излучением.

В работе использовали сухую и влажную техническую беленую и небеленую целлюлозу, полученную различными методами делигнификации (органосольVENTный, сульфатный, сульфитный) из хвойной и лиственной древесины, однолетних растений, микрокристаллическую целлюлозу.

В качестве ионизирующих излучений использовали  $\gamma$ - и УФ-излучения. По окончании предварительной обработки образцы волокнистых полуфабрикатов подвергали последовательно механохимической обработке в кислой и щелочной среде с целью ослабления химических связей аморфной областей целлюлозы и снижения содержания остаточного лигнина. Между стадиями обработки следовала ступень промывки массы дистиллированной водой до нейтральной реакции. Далее обработанное сырье подвергали диспергированию высоким усилием сдвига с помощью магнетострикционного излучателя мощностью 2 кВт, в течение 60 мин. Импульс, подаваемый магнитным преобразователем, составлял 10 сек с перерывами по 5 сек и частотой 30 кГц.

Содержание сухого вещества в полученных препаратах составляло от 0,1 до 3,0 %. После высушивания до постоянной массы гидрогели НКЦ образуют полупрозрачные или полностью прозрачные гидрофобные пленки. На рисунке представлено изображение поверхности сухого геля.



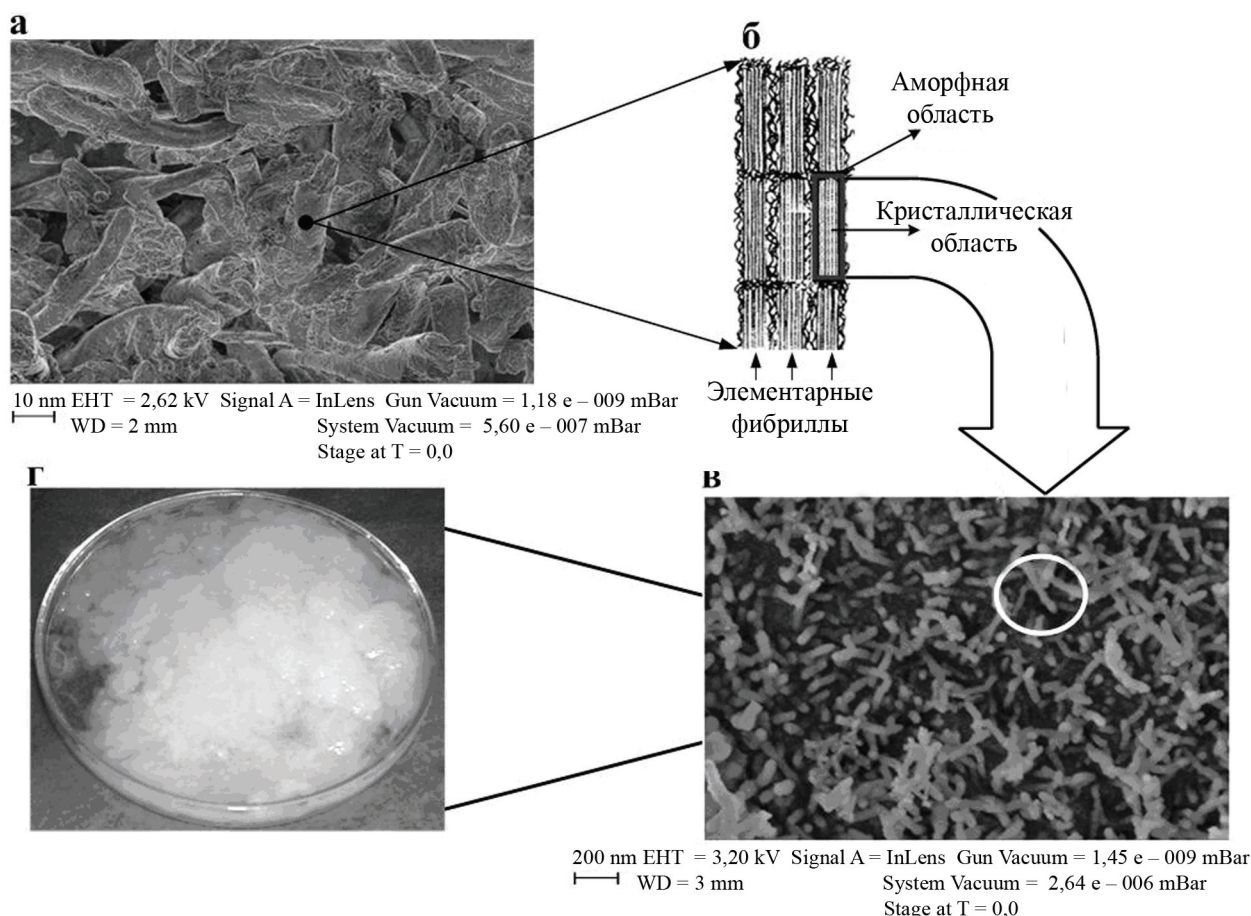


Рисунок. Нанокристаллическая целлюлоза: а – микрокристаллическая целлюлоза; б – элементарные фибриллы целлюлозы; в – поверхность высушенного геля нанокристаллической целлюлозы; г – гидрогель нанокристаллической целлюлозы

Структурно-размерные характеристики частиц полученных гидрогелей были исследованы на сканирующем зондовом модернизированном микроскопе (LEO SUPRA 25 с «GEMINI» колонной и полевой эмиссией).

В результате выполненной экспериментальной работы установлено, что предварительная обработка растительного сырья с применением ионизирующих излучений значительно сокращает продолжительность и энергетические затраты на последующее механохимическое выделение гидрогелей НКЦ. Сокращение времени технологического цикла составляло от 20 до 35 %.

Разработанный авторами настоящего сообщения метод разрушения защитной надмолекулярной структуры целлюлозы позволяет получать гидрогели нанокристаллической целлюлозы, содержащие нанокристаллическую целлюлозу в виде стержнеобразных структур со следующими геометрическими параметрами: длина

500–700 нм, ширина 50–80 нм (рисунок в.) с очень низким содержанием твердой фазы (> 97 % веса составляет вода) (рисунок г). При этом существенного различия в размерах частиц для исследованных целлюлоз растительного происхождения не наблюдается.

Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование технологических процессов, обеспечивающих получение нанокристаллической целлюлозы повышенного выхода и улучшенных качественных показателей: более узкое распределение частиц по размерам и получение частиц меньшего размера.

#### Библиографический список

1. Klemm, D. Nanocellulose materials – different cellulose, different functionality / D. Klemm, D. Schumann, F. Kramer, N. Hessler, N. Koth, D. Sultanova // *Macromol. Symp. J.* – 2009. – № 280. – P. 60–71.
2. Zimmermann T. Mechanical and morphological properties of cellulose fibril reinforced nanocomposites

- / T. Zimmermann, E. Pohler, P. Schwaller // *Advanced Engineering Materials J.* – 2005. – № 7. – P. 1156–1161.
3. Oksman K. Manufacturing process of cellulose whiskers-poly-lactic acid nanocomposites / K. Oksman, A. P. Mathew, D. Bondeson, I. Kvien // *Composites Science and Technology.* – 2006. – № 66. – P. 2776–2784.
  4. Kvien I. Characterization of cellulose whiskers and their nanocomposites by atomic force and electron microscopy/ I. Kvien, B. S. Tanem, K. Oksman // *Biomacromolecules J.* – 2005. – № 6. – P. 3160–3165.
  5. Shilova I.A. Radiation-chemical modification of wood for decreasing the power capacity in the production of CTMP and for increasing the cellulose yield in organosolvent pulping/I. A. Shilova, L. D. Kaplun, Yu. A. Filonenko, A.I. Mikhailov, N.V. Khomutinnikov, A. V. Burov, A. V. Beigelman // *Intl. Symp. Wood and Pulping Chem. Proc.* – 1995. – № 2. – P. 261.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВОВ НА КАЧЕСТВО ЛАМИНИРОВАННЫХ ПЛИТ

Д.В. КРУГЛОВ, *асс. каф. технологии древесных плит и пластиков МГУЛ*

*kruglov@mgul.ac.ru*

В настоящее время потребители предъявляют все более жесткие требования к внешнему виду готового продукта, срокам его службы, физико-механическим показателям. Однако даже при самых современных видах оборудования и прогрессивной технологии невозможно получить высококачественные ламинированные плиты, если исходные материалы не отвечают необходимым требованиям производства. Технологические качества синтетических полимеров способствуют использованию их в изготовлении высококачественных декоративных и отделочных материалов. Высокие темпы развития химической промышленности позволяют увеличить выпуск

синтетических полимеров с широким диапазоном физико-химических, механических, эксплуатационных и эстетических свойств.

В результате ранее проведенных на кафедре исследований были отобраны оптимальные рецептуры пропиточных составов на основе синтетических полимеров. Для уточнения требований, которым должны отвечать пропиточные составы на основе синтетических полимеров и оценки их влияния на готовые ламинированные плиты, исследования были продолжены на отобранных видах катализаторов для каждого испытуемого пропиточного состава. Полученные в результате эксперимента данные представлены в таблице.

Т а б л и ц а

### Экспериментальные данные

№ Образца	Факторы варьирования		Хлористый аммоний			n-толуол-сульфокислота			Муравьиная кислота		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	С.О.	E <sub>упр.</sub>	α <sub>эл.</sub>	С.О.	E <sub>упр.</sub>	α <sub>эл.</sub>	С.О.	E <sub>упр.</sub>	α <sub>эл.</sub>
1	12	72	54,23	2307	4,84	89,57	6655	10,84	81,56	4338	8,65
2	4	72	67,82	7636	2,77	89,38	7252	11,88	83,77	3646	6,97
3	12	24	85,65	4401	5,69	89,43	4064	7,89	71,07	–	–
4	4	24	83,66	3600	4,97	87,78	3715	8,03	73,78	–	–
5	12	72	83,48	–	–	77,28	–	–	73,68	–	–
6	4	72	80,31	–	–	89,87	–	–	75,86	–	–
7	12	24	48,01	–	–	87,98	–	–	76,27	–	–
8	4	24	87,29	–	–	86,11	–	–	78,21	–	–
9	8	48	79,20	–	–	70,09	–	–	71,46	–	–
10	8	72	79,69	–	–	89,07	–	–	79,12	–	–
11	8	24	84,03	2000	4,44	92,60	8383	12,63	86,34	4395	8,56
12	4	48	80,31	6618	8,94	75,52	–	–	82,03	–	–

X<sub>1</sub> – время желатинизации τ, мин; X<sub>2</sub> – длительность термообработки, ч; С.О. – степень отверждения смолы, %; E<sub>упр.</sub> – модуль упругости отвержденной композиции после термостарения, МПа; α<sub>эл.</sub> – степень эластичности отвержденной композиции после термостарения, %; Образцы, помеченные «–», разрушились в процессе термостарения из-за развития внутренних напряжений.

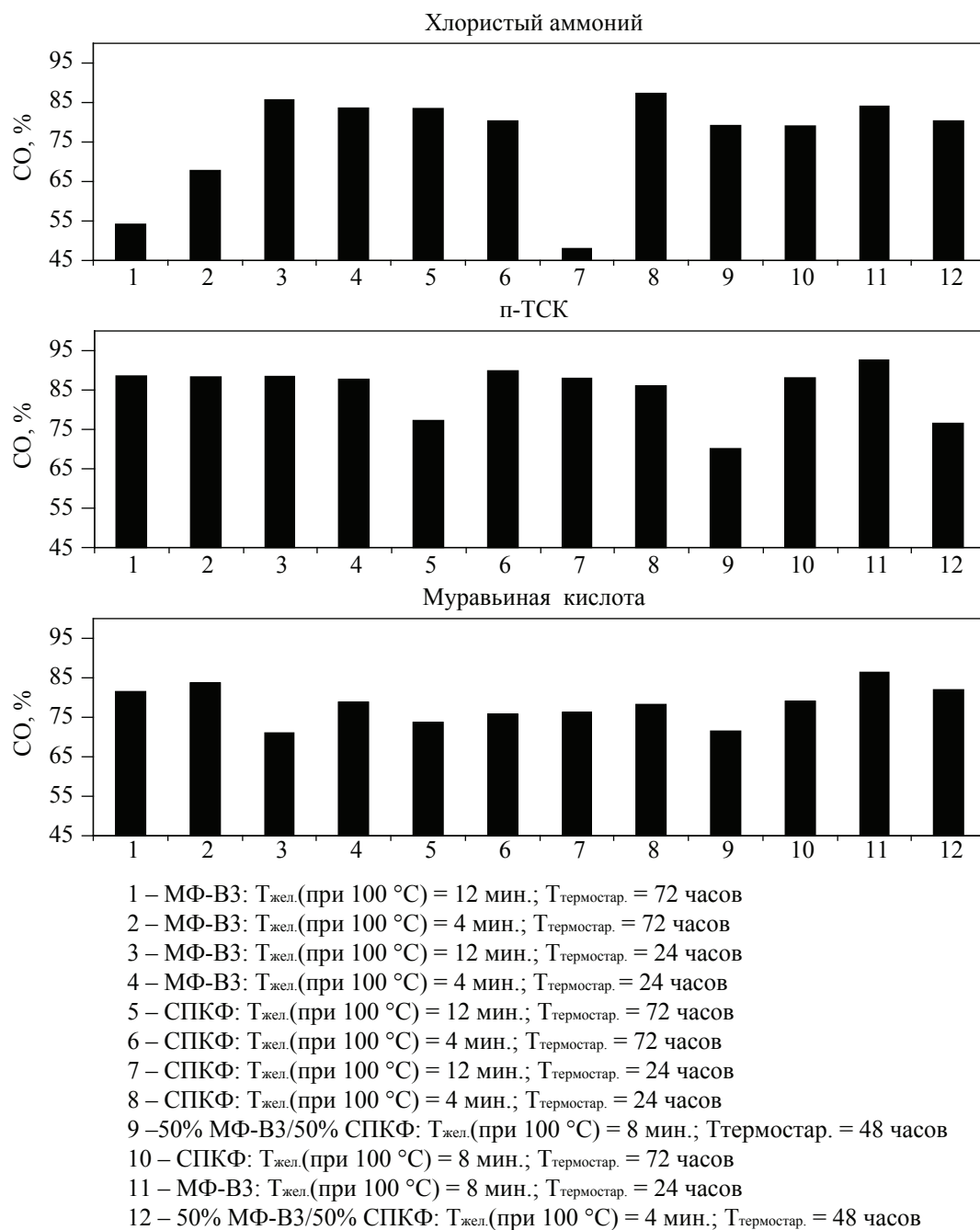


Рисунок. Зависимость степени отверждения смол от времени желатинизации и времени термостарения для отвердителей

В качестве отвердителей использовали хлористый аммоний, *n*-толуолсульфоокислоту и муравьинную кислоту.

Зависимости степени отверждения от варьируемых факторов представлены на рисунке, время термообработки (60°C) для всех пропиточных составов 24 часа.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. В условиях длительного термостарения (более 72 часов) наиболее эффективен

для меламиноформальдегидной пропиточной смолы отвердитель *n*-ТСК, а для карбамидоформальдегидной пропиточной смолы – муравьиная кислота;

2. При воздействии повышенной температуры (100°C) менее 24 часов при использовании отвердителя хлористый аммоний для отверждения карбамидоформальдегидной смолы с максимальным временем желатинизации получен неудовлетворительный результат;

3. Хлористый аммоний позволяет получать оптимальные результаты лишь при незначительном времени термического воздействия, дальнейшее термовоздействие приводит к понижению степени отверждения в 1,5–2 раза. При высоком модуле упругости и очень низкой степени эластичности это приводит к быстрому разрушению полимера и малой долговечности покрытия.

4. Повышение степени отверждения пропиточных композиций возможно при использовании в качестве отвердителей *n*-толуолсульфокислоты и муравьиной кислоты.

Следует учитывать, что реологические характеристики отвержденных смол существенно влияют на работоспособность покрытия в целом, так как высокий модуль упругости отвержденных пленок при недостаточной степени эластичности может привести к развитию дополнительных внутренних напряжений на границе раздела: плита–основа – пленочное покрытие.

В дальнейшем исследования будут направлены на использование в составе пропиточных растворов специальных пластифицирующих добавок, позволяющих повлиять на процессы отверждения и формирования

покрытия и обеспечить длительную работоспособность покрытия при эксплуатации.

### Библиографический список

1. Коростылев, П.П. Лабораторная техника химического анализа / П.П. Коростылев. – М.: Химия, 1981. – 312 с.
2. Цветков, В.Е. Технология и применение полимеров в деревообработке: лабораторный практикум для студентов / В.Е. Цветков, А.Ю. Комаров, С.А. Рыженкова. – М.: МГУЛ, 2000. – 48 с.
3. Пижурич, А.А. Научные исследования в деревообработке. Основы научных исследований: учеб. пособие к выполнению лабораторных работ для студентов спец. 260200 и 170400 / А.А. Пижурич. – М.: МГУЛ, 2002. – 167 с.
4. Пижурич, А.А. Научные исследования в деревообработке: научно-методическое пособие для студентов / А.А. Пижурич. – М.: МГУЛ, 2003. – 75 с.
5. Состояние и перспективы развития производства древесных плит. / Международный практический семинар: тезисы докладов. – Балабаново: ВНИИДрев, 2004. – 98 с.
6. Доронин, Ю.Г. Синтетические смолы в деревообработке / Ю.Г. Доронин, М.М. Свиткина, С.Н. Мирошниченко. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 208 с.
7. Тупицын, Ю.С. Процессы и оборудование для отделки древесных плитных материалов / Ю.С. Тупицын, С.Н. Мирошниченко, М.М. Ноткин. – 1983.
8. Плоткои, Л.Г. Технология и оборудование пропитки бумаги полимерами / Л.Г. Плоткои. – 1985.

## РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА В РАЗМОЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ С ИНЕРЦИОННЫМИ ТЕЛАМИ

И.А. ВОРОНИН, *асп. СибГТУ,*

А.А. ДИРАЦУЯН, *доц., канд. техн. наук,*

Ю.Д. АЛАШКЕВИЧ, *проф. каф. «МАПТ» СибГТУ, д-р техн. наук*

Для оценки размалывающей способности ножевых установок, а также аппаратов с инерционным движением рабочих органов используются показатели: секундная режущая длина, которая характеризует способность размалывающей машины укорачивать волокнистый материал [1], и поверхность размола.

С. Смит связывает эффект укорачивания волокон с ростом секундной режущей длины [1, 2, 6]. Кроме того, площадь поверхности ножевого трения и секундная размалывающая поверхность являются производ-

ными от секундной режущей длины ножей. Поэтому данный параметр непосредственно связан с эффективностью процесса размола. Попытки внести коррективы при расчете секундной режущей длины были предприняты в работах Ю.Д. Алашкевича [3], А.А. Набиевой [4].

В работе А.А. Набиевой был проведен теоретический анализ по определению истинной секундной режущей длины, с учетом углов установки ножей ротора и статора, углов их скрещивания и основных геометрических параметров размольной гарнитуры.

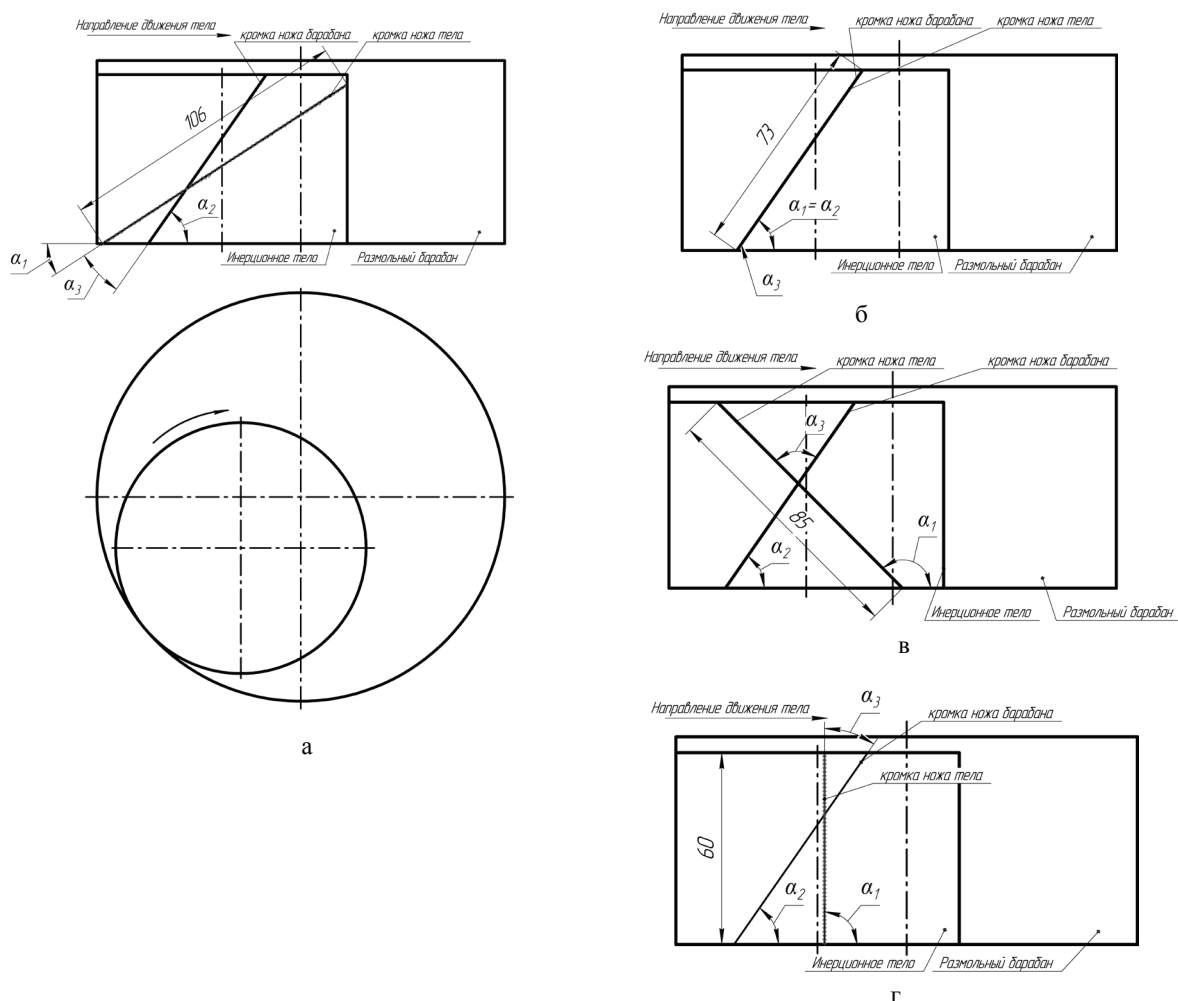


Рис. 1. Варианты углов установки режущих кромок на инерционном теле:  $\alpha_1$  – угол установки ножей на инерционном теле;  $\alpha_2$  – угол установки ножей на размольном барабане;  $\alpha_3$  – угол скрещивания кромок ножей. а)  $\alpha_1 = 33^\circ$ ; б)  $\alpha_1 = 55^\circ$ ; в)  $\alpha_1 = 135^\circ$ ; г)  $\alpha_1 = 90^\circ$

Впервые для оценки качества обработки волокнистых суспензий был предложен технологический параметр *циклической элементарной длины*, характеризующий среднюю длину, «отрезаемую» парой ножей за один оборот ротора [4].

Циклическая элементарная длина определяется по формуле

$$L_{\omega, \text{эл.}} = \frac{L_s \cdot 60}{n \cdot t}, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $t$  – количество движущихся точек пересечения ножей ротора с ножами статора, шт.;

$L_s$  – секундная режущая длина, м/с;

$n$  – частота вращения ротора, об./мин.

Как видим, в формуле учитывается количество движущихся точек пересечения режущих кромок, которые являются существенной величиной, формирующей основные технологические параметры. В виду слож-

ности определения динамично меняющегося значения количества точек пересечения этот параметр игнорировался. С появлением современных машинных методов расчета авторами была составлена в среде *Matlab* программа, предназначенная для определения секундной режущей длины и количества движущихся точек контакта для дисковых гарнитур с параллельными прямолинейными ножами [5]. Экспериментально и теоретически доказано, что с увеличением циклической элементарной длины качественные показатели процесса размола повышаются [4].

Однако использовать предложенную программу для определения количества точек пересечения режущих кромок в размольной установке с инерционным движением рабочих тел невозможно, т.к. в отличие от дисковых мельниц, где размол происходит в плоскости между дисками ротора и статора,

размол в установке с инерционным движением рабочих тел происходит в планетарной системе. Волокнистый материал в таком аппарате подвергается размолу в зазоре между внутренней стенкой размольного цилиндрического барабана и перекатывающимся в его полости инерционным телом под действием центробежной силы, возникающей при вращении размольного барабана вокруг центрального вала и собственной оси. Особенностью конструкции инерционного тела является наличие на его боковой поверхности зубчатого профиля. В свою очередь, профиль внутренней поверхности размольного барабана имеет наклонную насечку с фиксированным постоянным углом  $\alpha_2$ , равным  $55^\circ$ .

В нашем случае движение инерционного тела происходит путем перекатывания его по образующей размольного барабана.

Для исследования влияния углов скрещивания на основные технологические показатели процесса размола размольной установки с инерционными телами при помощи пакета программ КОМПАС-V8+ были изготовлены графические модели инерционных тел с различными углами установки ножей по отношению к горизонту, а также размольного барабана с постоянным углом наклона с соблюдением реальных геометрических размеров (рис. 1).

Профиль инерционных тел имеет углы установки режущих кромок  $\alpha_1$ , равный  $33^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , что при фиксированном угле наклона насечки барабана позволило получить угол скрещивания  $\alpha_3$ , равный  $22^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $80^\circ$ . Эксперимент проводился при различной частоте вращения размольного цилиндра 114; 142,5; 171; 199,5; 228; 256,5 об./мин.

Т а б л и ц а

**Основные конструктивные и технологические показатели размольной установки с инерционными телами**

Количество ножей на цилиндре, $m_{ц}$ , шт.	Количество ножей на барабане, $m_{б}$ , шт.	Частота вращения размольного тела, $n$ , об./мин	Длина ножей на цилиндре, $l_{ц}$ , м	Секундная режущая длина, $L_s$ , м/с	Количество точек пересечения, $t$ , шт.	Циклическая элементарная длина, $L_{ц.эл}$ , м
<b><math>0^\circ</math> угол скрещивания</b>						
34	344	114	0,073	1622	1	854
		142,5	0,073	2028	1	854
		171	0,073	2433	1	854
		199,5	0,073	2839	1	854
		228	0,073	3244	1	854
		256,5	0,073	3650	1	854
<b><math>22^\circ</math> угол скрещивания</b>						
34	344	114	0,106	2356	56	22
		142,5	0,106	2944	56	22
		171	0,106	3533	56	22
		199,5	0,106	4122	56	22
		228	0,106	4711	56	22
		256,5	0,106	5300	56	22
<b><math>35^\circ</math> угол скрещивания</b>						
34	344	114	0,06	1333	49	14
		142,5	0,06	1667	49	14
		171	0,06	2000	49	14
		199,5	0,06	2333	49	14
		228	0,06	2667	49	14
		256,5	0,06	3000	49	14
<b><math>80^\circ</math> угол скрещивания</b>						
34	344	114	0,085	1889	119	8
		142,5	0,085	2361	119	8
		171	0,085	2833	119	8
		199,5	0,085	3306	119	8
		228	0,085	3778	119	8
		256,5	0,085	4250	119	8

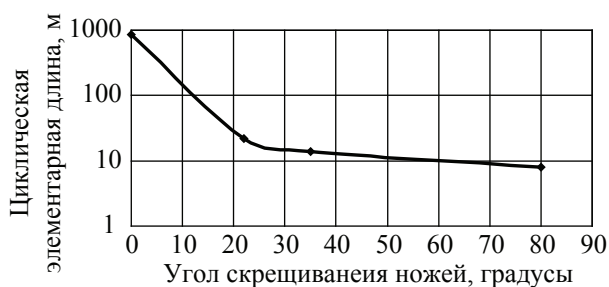


Рис. 2. Зависимость циклической элементарной длины от угла скрещивания ножей

Секундная режущая длина определяется по формуле

$$L_s = \frac{m_{\text{ц}} \cdot m_{\text{б}} \cdot l_{\text{ц}} \cdot n}{60}, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{ц}}$  – число ножей на размольном цилиндре, шт.;

$m_{\text{б}}$  – число ножей на размольном барабане, шт.;

$l_{\text{ц}}$  – длина ножа на цилиндре, м;

$n$  – частота вращения размольного цилиндра, об./мин.

Циклическая элементарная длина определяется по формуле (1), где  $t$  – количество точек пересечения режущих кромок инерционного тела и барабана, шт.

Результаты технологических параметров процесса размола в установке с инерционным движением размольных тел представлены в таблице.

Оценку влияния углов установки ножей, обеспечивающих определенную величину углов скрещивания в точках контакта, производили с учетом количества движущихся точек пересечения режущих кромок, с увеличением которых понижается значение циклической элементарной длины,  $L_{\text{эл}}$ . Из таблицы видно, что при угле скрещивания, равном  $0^\circ$ , точка пересечения режущих кромок сливается в линию, направленную по плоскости расположения ножей, равном одному контакту. В этом случае показатель циклической элементарной длины имеет максимальное значение. С увеличением количества точек контакта циклическая элементарная длина уменьшается, что может снизить качество помола.

По результатам исследования получена зависимость циклической элементарной длины от угла скрещивания режущих кромок ножей инерционного тела и барабана.

Из графика видно, что величина циклической элементарной длины увеличивается при уменьшении угла скрещивания ножей. Наивысший показатель наблюдается при угле скрещивания, равном  $0^\circ$ .

Представленные в статье теоретические исследования влияния углов скрещивания режущих кромок на расчет основных технологических параметров процесса размола в размольной установке с инерционным движением рабочих тел позволяют сделать следующие выводы:

1. Угол установки ножей зубчатого профиля инерционного тела влияет на угол скрещивания режущих кромок и количество точек пересечения режущих кромок, что отразится на величине технологических параметров установки.

2. Наиболее эффективное воздействие рабочих органов размольной установки с инерционным движением рабочих тел наблюдается при угле скрещивания режущих кромок ножей, равном  $0^\circ$ ;

3. С увеличением длины контакта режущих кромок при минимальном количестве точек пересечения можем добиться максимально эффективного воздействия рабочих органов размольной установки.

### Библиографический список

1. Пашинский, В.Ф. Машины для размола волокнистой массы / В.Ф. Пашинский. – М.: Лесная промышленность, 1972. – С. 160.
2. Киселев, С.С. Эксплуатация и ремонт дисковых и конических мельниц / С.С. Киселев, В.Ф. Пашинский. – М.: Лесная промышленность, 1979. – С. 208.
3. Алашкевич, Ю.Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: дис. ... докт. техн. наук: 05.21.03 / Ю.Д. Алашкевич. – Красноярск, 1986. – 170 с.
4. Набиева, А.А. Оценка влияния и совершенствования технологических параметров ножевых размольвающих машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03 / А.А. Набиева. – Красноярск, 2004. – 156 с.
5. Свидетельство № 2009613683 РФ. Численный метод определения секундной режущей длины секторной ножевой гарнитуры дисковых мельниц с параллельными прямолинейными ножами постоянной ширины / А.А. Набиева, Е.Е. Нестеров, Ю.Д. Алашкевич, Д.С. Карпенко // 10.07.2009. Заявка № 2009612514.
6. Smith, S. Dierationelle Theorie des Ganzeughollandar. Otto Ernst Verlag. – Teil I / S. Smith – Berlin, 1922.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В РАЗМОЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

А.А. ЕРОФЕЕВА, *асп. СибГТУ,*

В.И. КОВАЛЕВ, *доц. СибГТУ, канд. техн. наук,*

Ю.Д. АЛАШКЕВИЧ, *проф. каф. «МАПТ» СибГТУ, д-р техн. наук,*

В.П. БАРАНОВСКИЙ, *проф. СибГТУ, канд. техн. наук*

*annakrasnoyarsk@rambler.ru; mарт@sibstu.kts.ru*

Безножевой размол проводился в СибГТУ на кафедре МАПТ с использованием установки типа «струя–преграда», общий вид которой показан на рис. 1. Гидродинамическая разработка волокнистой суспензии в данной установке возможна только при наличии преграды. Безножевой размол зависит от многих факторов, среди которых определяющими являются скорость истечения струи, форма и характер преграды, расстояние от выходного торца насадки до преграды, форма насадки, ее диаметр и др. Основное воздействие на обрабатываемый полуфабрикат оказывают силы гидродинамической природы, обеспечивающие мягкую разработку волокна. То есть происходит преимущественная фибрилляция волокна, в частности, за счет кавитационных явлений, возникающих при контакте струи с преградой [1, 2]. Встреча пульсирующей струи жидкости с твердой поверхностью (пре-

градой) сопровождается нарушением сплошности потока и образованием кавитационных пузырьков, при схлопывании которых излучаются мощные импульсы давлений. [3]

В качестве исследуемой жидкости использовалась волокнистая суспензия концентрацией 1–3 %. Поскольку, в соответствии с экспериментальными данными, концентрация волокнистой суспензии от 1–3 % ведет себя по аналогии с ньютоновскими жидкостями, то на первоначальном этапе для упрощения эксперимента в качестве исследуемой жидкой среды принималась вода.

В работе [5] на основании результатов исследования была получена зависимость (1) минимальной скорости струи

$$v_{\min} = \lambda / \eta, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – поверхностное натяжение воды, Н/м;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости воды, Па·с. [4]

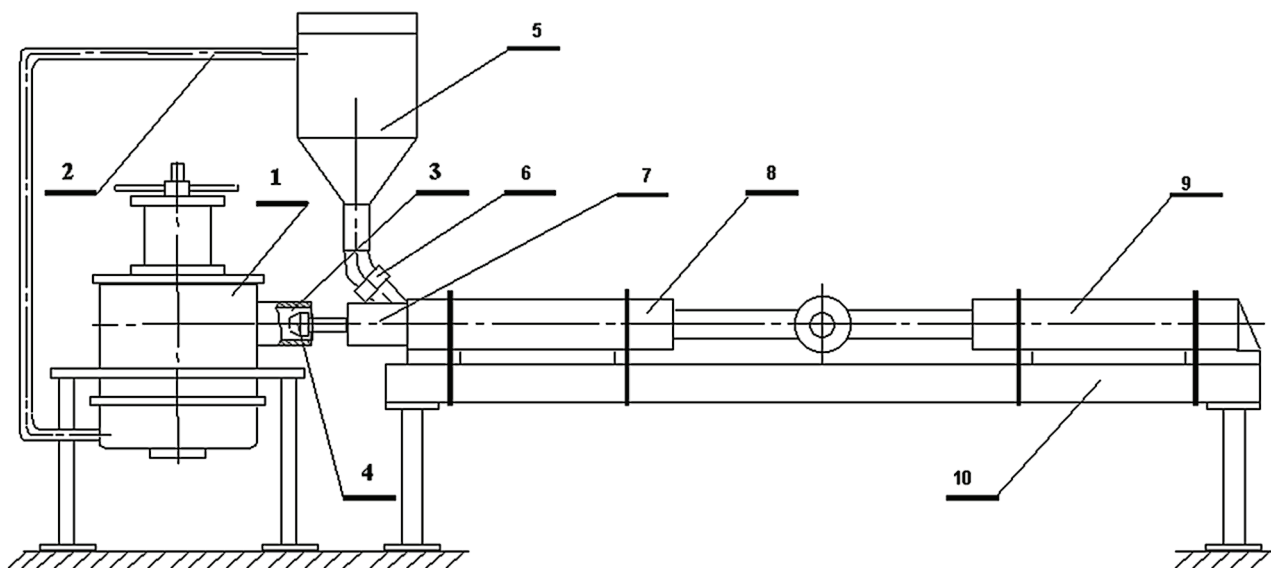


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – камера гидродинамического размола; 2 – трубопровод возврата; 3 – раструб; 4 – насадка; 5 – емкость; 6 – всасывающий клапан; 7 – выпускной клапан; 8 – рабочий цилиндр; 9 – приводной цилиндр; 10 – рама



**Зависимость основных физических параметров от температуры**

t, °C	λ, Н/м	η, Па·с	v <sub>min</sub> , м/с	P <sub>уд</sub>		P <sub>ист</sub>	
				МПа	атм	Мпа	атм
0	0,07562	0,001792	42,2	63,300	645,48	1,781	18,16
5	0,0749	0,001519	49,32	73,980	645,48	2,433	24,81
6	0,07476	0,001473	50,76	76,140	754,386	2,577	26,278
7	0,07462	0,001428	52,24	78,360	799,05	2,729	27,828
8	0,07448	0,001386	53,74	80,610	821,993	2,888	29,449
9	0,07434	0,001346	55,22	82,830	844,631	3,049	31,091
10	0,0742	0,001308	56,74	85,110	867,881	3,219	32,825
11	0,07407	0,001271	58,26	87,390	891,13	3,394	34,609
12	0,07392	0,001236	59,79	89,685	914,533	3,570	36,404
13	0,07373	0,001203	61,3	91,950	937,629	3,758	38,321
14	0,07364	0,001171	62,89	94,335	961,949	3,955	40,330
15	0,07348	0,00114	64,43	96,645	985,505	4,151	42,328
16	0,07334	0,001111	66,01	99,015	1009,672	4,357	44,429
17	0,0732	0,001083	67,6	101,460	1033,992	4,570	46,601
18	0,07305	0,001056	69,18	103,770	1058,160	4,786	48,804
19	0,07289	0,001023	71,26	106,890	1089,975	5,078	51,781
20	0,07275	0,001005	72,39	108,585	1107,259	5,240	53,433
21	0,0726	0,000981	74,00	110,000	1121,688	5,476	55,840
22	0,07244	0,000958	75,62	113,430	1156,664	5,718	58,307
23	0,07228	0,000936	77,24	115,860	1181,443	5,966	60,836
24	0,07212	0,000914	78,89	118,335	1206,682	6,224	63,467
25	0,07196	0,000894	80,52	120,780	1231,613	6,484	66,118
26	0,0718	0,000874	82,18	123,270	1257,004	6,754	68,872
27	0,07164	0,000855	83,84	125,760	1282,395	7,029	71,676
28	0,07147	0,000836	85,49	128,235	1307,633	7,309	74,531
29	0,07131	0,000818	87,18	130,770	1333,483	7,600	77,498
30	0,07115	0,000801	88,86	133,290	1359,180	7,896	80,517
35	0,07035	0,000723	97,37	146,055	1489,347	9,481	96,679
40	0,06955	0,000656	106,02	159,030	1621,655	11,240	114,616
45	0,06873	0,000599	114,78	172,170	1755,645	13,174	134,337
50	0,0679	0,000549	123,59	185,385	1890,401	15,275	155,762
60	0,06617	0,000469	141,15	211,725	2158,994	19,923	203,158
70	0,06441	0,000406	158,61	237,915	2426,058	25,157	256,530
80	0,0626	0,000357	175,6	263,400	2685,933	30,835	314,430
90	0,06074	0,000317	191,91	287,685	2933,571	36,829	375,554
100	0,05884	0,000284	207,33	310,995	3171,266	42,986	438,335

Значение давления при ударе струи о преграду

$$P_{уд} = \rho \cdot c \cdot (\lambda / \eta), \text{ Па}, \quad (2)$$

где ρ – плотность воды, формирующей струю, кг/м<sup>3</sup>; [4]

c – скорость движения ударной волны в струе воды (C ≈ 1500 м/с).

Величина давления при истечении струи суспензии о преграду

$$P_{ист} = \rho v_{min}^2, \text{ Па}. \quad (3)$$

Результаты расчетных данных по определению v<sub>min</sub>, P<sub>ист</sub>, P<sub>уд</sub> с использованием зависимостей (1), (2) и (3) при изменении тем-

пературы жидкости от 0° до 100° по шкале Цельсия сведены в таблицу.

Из таблицы следует, что при увеличении температуры струи коэффициент поверхностного натяжения λ уменьшается в 1,285 раза, коэффициент динамической вязкости η уменьшается в 6,315 раз, соответственно, минимальная скорость струи v<sub>min</sub> в заданном диапазоне изменения температуры возрастает в 4,9 раза. Согласно формуле (2), это ведет к увеличению во столько же раз и величины ударного давления P<sub>уд</sub> в месте мгновенного контакта струи с неподвижной преградой.

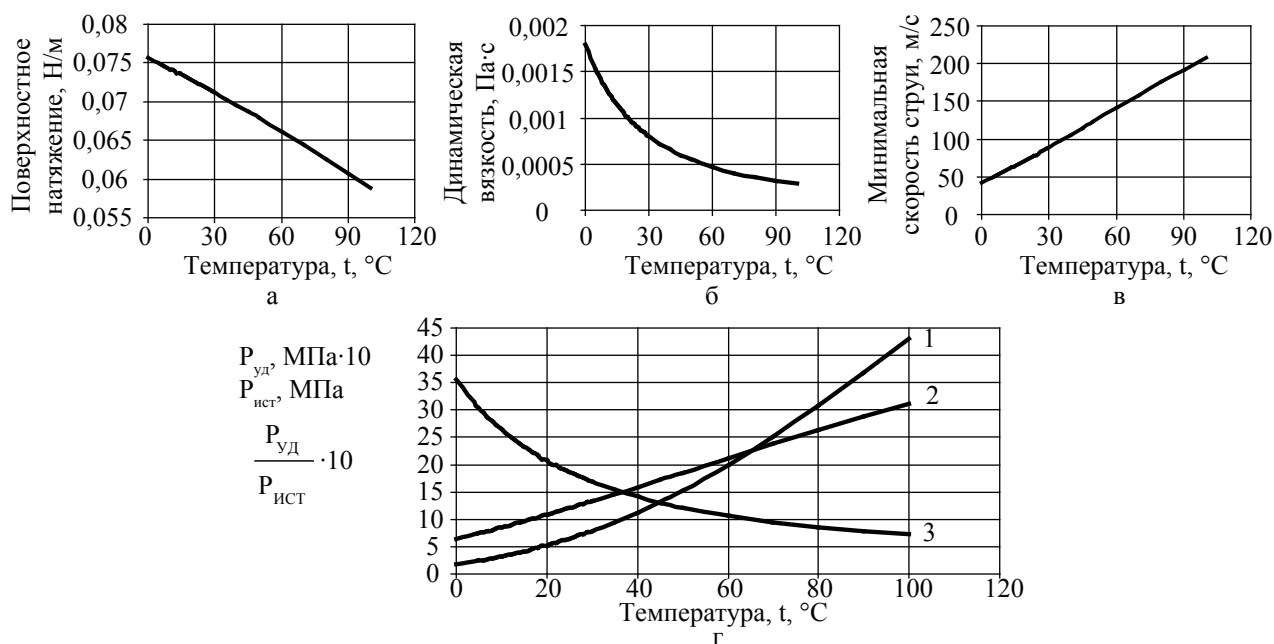


Рис. 2. Графические зависимости физических параметров от температуры: 1 – давление истечения  $P_{ист}$ , МПа; 2 – ударное давление  $P_{уд}$ , МПа; 3 – отношение  $P_{уд} / P_{ист}$

Значения давлений  $P_{уд}$ ,  $P_{ист}$  при контакте струи с преградой зависят от изменяющейся температуры жидкости. Причем при значительном превышении начальных значений  $P_{уд}$ , т.е. с повышением температуры, по сравнению с  $P_{ист}$  (63,3 раза), наблюдается более интенсивный рост численных значений  $P_{ист}$  по сравнению с  $P_{уд}$  с повышением температуры жидкости. Так при изменении температуры жидкости от 0° до 100°  $P_{ист}$  возрастает в 24,1раза, а  $P_{уд}$  в 4,22 раза.

На рис. 2 представлены графические зависимости изменения основных физических величин исследуемой жидкости в соответствии с данными таблицы. Как видно из рис. 2а, 2в и 2г, изменение поверхностного натяжения, минимальной скорости истечения жидкости и ударного давления с изменением температуры носит линейный характер. При этом с ростом температуры величина поверхностного натяжения  $\lambda$  снижается, а минимальная скорость истечения струи  $v_{min}$  и ударное давление  $P_{уд}$  растут. Динамическая вязкость жидкости  $\eta$ , давление истечения  $P_{ист}$  и отношение  $P_{уд} / P_{ист}$  изменяются по криволинейной зависимости.

Динамическая вязкость жидкости  $\eta$  и значение отношения  $P_{уд} / P_{ист}$  с повышением температуры жидкости снижаются по параболической зависимости. В то же время зна-

чение  $P_{ист}$  с повышением температуры растет по параболической зависимости.

### Выводы

1. Найдены зависимости характера изменения давления, минимальной скорости истечения струи, поверхностного натяжения и величины динамической вязкости при изменении температуры в заданном диапазоне.

2. Дана количественная оценка соотношения давления в месте контакта струи с неподвижной преградой при истечении суспензии ее из насадки и давления, возникающего при мгновенном ударном контакте.

### Библиографический список

1. Алашкевич, Ю.Д. Кавитация при размол волоконистых материалов / Ю.Д. Алашкевич, А.Г. Лахно, В.Г. Васютин // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: Межвуз. сб. науч. тр. – Л., 1989. – С. 18–22.
2. Васютин, В.Г. Интенсификация процесса комбинированного размол целлюлозных суспензий: дис. ... канд. техн. наук: – 05.21.03 / В.Г. Васютин. – Красноярск, 1987. – 166 с.
3. Решетова, Н.С. Размол целлюлозы безножевым способом в магнитном поле: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03 / Н.С. Решетова. – 2002.
4. Справочник химика. Т1. – Л.-М.: Госхимиздат, 1964.
5. Хилькевич, С.С. Физика вокруг нас. Библиотечка квант / С.С. Хилькевич. – М.: Наука, 1985. – Вып. 40.

## КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОЙ ФАНЕРЫ

С.А. УГРЮМОВ, *проф. каф. механической технологии древесины Костромского ГТУ, д-р техн. наук,*  
А.С. СВЕШНИКОВ, *студент 5 курса Костромского ГТУ, специальность «Технология деревообработки»*

*ugr-s@yandex.ru; nis@kstu.edu.ru*

Композиционная фанера представляет собой плитный клееный материал, наружные слои которого состоят из взаимно перпендикулярных слоев лущеного шпона, а внутренним заполнением является клеевая композиция на основе измельченных древесных или других дискретных целлюлозосодержащих частиц [1]. При организации производства композиционной фанеры в рамках основного фанерного производства имеется возможность эффективной переработки образующихся отходов (прежде всего шпона-рванины, обрезков кускового шпона и др.), уменьшения расхода лущеного шпона, снижения себестоимости готовой продукции при обеспечении требуемых физико-механических свойств.

Основные характеристики композиционной фанеры и влияние на них условий горячего прессования рассмотрены в работе [2]. В ходе дополнительных экспериментальных запрессовок выявлены факторы, оказывающие не менее значимый эффект на эксплуатационные характеристики композиционной фанеры как конструкционного материала:

- плотность внутреннего слоя, влияющая на качество упаковки частиц и, следовательно, на прочность материала;
- расход связующего, влияющий на качество склеивания частиц между собой,

прочностные и водозащитные свойства материала;

- количество вводимого модификатора в связующее (парафиновой эмульсии «Эрговакс-60», влияющей на водозащитные свойства материала).

Указанные факторы приняты в качестве управляемых при постановке и реализации экспериментального В-плана второго порядка. При проведении опытных запрессовок применялся клей на основе карбамидоформальдегидной смолы КФН-66 и отвердителя хлористого аммония, в наружных слоях использовался березовый лущеный шпон номинальной толщиной 1,15 мм, для внутреннего заполнения использовалась березовая специальная резаная стружка фракции 10/5, изготовление плит проводилось при следующих постоянных факторах:

- номинальная толщина готовой плиты 12 мм;
- температура прессования 130 °С;
- удельное давление прессования 2 МПа;
- время выдержки под давлением 6 мин;

Уровни варьирования управляемых факторов выбраны на основе анализа результатов предварительных запрессовок и представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

### Управляемые факторы и уровни их варьирования

Наименование факторов	Обозначение		Интервал варьирования	Уровни варьирования		
	кодирован.	натуральное		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
Плотность внутреннего слоя, кг/м <sup>3</sup>	$X_1$	$\rho$	100	600	700	800
Расход связующего, %	$X_2$	$P_{св}$	4	8	12	16
Количество парафиновой добавки, %	$X_3$	$K_n$	0,5	0	0,5	1

Матрица планирования эксперимента

№ оп.	Управляемые факторы						Выходные величины							
	в кодированном обозначении			в натуральном обозначении			предел прочности при изгибе, МПа	предел прочности при отрыве, МПа	предел прочности при выдергивании шурупов, МПа		разбухание по толщине, %	объемное разбухание, %	водопоглощение, %	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	ρ, кг/м <sup>3</sup>	P <sub>св</sub> , %	K <sub>п</sub> , %			из кромки	из пласти				
1	-1	-1	-1	600	8	0	36,0	0,22	48	86	17,9	18,7	65,8	
2	+1	-1	-1	800	8	0	45,6	0,26	54	98	18,4	19,7	69,3	
3	-1	+1	-1	600	16	0	52,6	0,29	51	92	14,0	15,2	50,2	
4	+1	+1	-1	800	16	0	58,2	0,36	56	101	15,3	16,2	55,7	
5	-1	-1	+1	600	8	1	33,0	0,19	50	84	12,1	12,9	42,1	
6	+1	-1	+1	800	8	1	42,6	0,25	54	95	13,6	14,3	47,3	
7	-1	+1	+1	600	16	1	49,6	0,30	53	89	9,9	10,6	37,8	
8	+1	+1	+1	800	16	1	55,2	0,32	60	100	11,1	11,8	42,0	
9	-1	0	0	600	12	0,5	44,2	0,26	51	87	10,9	11,4	40,2	
10	+1	0	0	800	12	0,5	51,8	0,29	58	99	11,9	12,6	44,6	
11	0	-1	0	700	8	0,5	39,6	0,23	52	89	12,8	13,9	46,1	
12	0	+1	0	700	16	0,5	54,2	0,34	57	97	11,8	12,5	43,2	
13	0	0	-1	700	12	0	47,0	0,28	55	95	15,3	16,3	53,4	
14	0	0	+1	700	12	1	44,0	0,24	52	90	11,3	11,9	39,6	

В качестве выходных величин приняты физико-механические показатели, характеризующие эксплуатационные характеристики фанеры – пределы прочности при изгибе и перпендикулярном отрыве, пределы прочности при выдергивании шурупов из кромки и из пласти, разбухание по толщине, объемное разбухание и водопоглощение композиционной фанеры после выдержки ее в воде в течение 24 ч, определенные по методикам для фанеры общего назначения и древесно-стружечных плит (ГОСТы 9621, 10634, 10635, 23234, 10637).

Количество дублированных опытов для всех выходных величин на основе оценочных экспериментов и расчета по критерию Стьюдента составило 5.

Матрица планирования эксперимента с выходными величинами представлена в табл. 2.

Математическая обработка полученных экспериментальных данных проведена по стандартной методике обработки результатов плана второго порядка [3]. Установлено, что полученные выборки не содержат грубых результатов, а дисперсии опытов являются однородными.

После исключения количественно незначимых членов математические модели

влияния рассмотренных факторов в кодированном обозначении на свойства композиционной фанеры имеют следующий вид:

– выходная величина – предел прочности при изгибе:

$$Y_1 = 46,883 + 3,8 X_1 + 7,3 X_2 - 1,5 X_3 + 1,132 X_1^2 - 1,368 X_3^2 - X_1 X_2 ;$$

– выходная величина – предел прочности при перпендикулярном отрыве:

$$Y_2 = 0,273 + 0,022 X_1 + 0,046 X_2 ;$$

– выходная величина – предел прочности при выдергивании шурупов из кромки:

$$Y_3 = 54,634 + 2,9 X_1 + 1,9 X_2 + 0,5 X_3 ;$$

– выходная величина – предел прочности при выдергивании шурупов из пласти:

$$Y_4 = 92,702 + 5,5 X_1 + 2,7 X_2 - 1,4 X_3 ;$$

– выходная величина – разбухание по толщине:

$$Y_5 = 11,47 - 1,26 X_2 - 2,3 X_3 + 1,83 X_3^2 ;$$

– выходная величина – объемное разбухание:

$$Y_6 = 12,19 + 0,58 X_1 - 1,32 X_2 - 2,46 X_3 - 1,01 X_2^2 - 1,91 X_3^2 ;$$

– выходная величина – водопоглощение:

$$Y_7 = 41,22 + 2,26 X_1 - 4,15 X_2 - 8,51 X_3 + 1,19 X_1^2 + 3,44 X_2^2 + 5,41 X_3^2 + 2,42 X_2 X_3 .$$

Математические модели в натуральном обозначении факторов, позволяющие спрогнозировать значения выходных величин при любых сочетаниях факторов в рассмотренном диапазоне, имеют вид:

– выходная величина – предел прочности при изгибе:

$$\sigma_{\text{и}} = -193,89 + 1,132 \cdot 10^{-4} \rho^2 - 0,09 \rho - 5,544 P_{\text{пар}}^2 - 0,025 \rho P_{\text{св}} + 2,544 P_{\text{пар}} + 3,575 P_{\text{св}};$$

– выходная величина – предел прочности при перпендикулярном отрыве:

$$\sigma_{\perp} = 2,438 + 2,2 \cdot 10^{-4} \rho + 0,0115 P_{\text{св}};$$

– выходная величина – предел прочности при выдергивании шурупов из кромки:

$$\sigma_{\text{пл}} = 28,134 + 0,029 \rho + 0,475 P_{\text{св}} + P_{\text{пар}};$$

– выходная величина – предел прочности при выдергивании шурупов из пласти:

$$\sigma_{\text{кр}} = 47,502 + 0,055 \rho + 0,675 P_{\text{св}} - 2,8 P_{\text{пар}};$$

– выходная величина – разбухание по толщине:

$$P_s = 19,38 - 0,315 P_{\text{св}} + 7,32 P_{\text{пар}}^2 - 71,92 P_{\text{пар}};$$

– выходная величина – объемное разбухание:

$$P_o = 24,71 + 0,063 P_{\text{св}}^2 - 7,64 P_{\text{пар}}^2 - 1,182 P_{\text{св}} + 0,58 \cdot 10^{-2} \rho - 2,72 P_{\text{пар}};$$

– выходная величина – водопоглощение:

$$Y_4 = 97,13 + 0,022 \rho - 1,19 \cdot 10^{-4} \rho^2 - 12,25 P_{\text{св}} + 0,215 P_{\text{св}}^2 + 21,41 P_{\text{пар}}^2 - 183,63 P_{\text{пар}} + 12,1 P_{\text{св}} P_{\text{пар}}.$$

Данные модели являются адекватными и эффективными.

Анализ полученных математических моделей позволил определить, что на прочностные показатели композиционной фанеры наибольшее влияние оказывает плотность внутреннего слоя, с увеличением которой происходит упрочнение материала, существенное влияние оказывает также расход связующего, особенно для прочности при перпендикулярном отрыве по пласти. Физические показатели (разбухание, водопоглощение) при увеличении плотности внутреннего слоя несколько ухудшаются, что связано с увеличением релаксационных процессов при увлажнении уплотненного материала. Значимое улучшение физических показателей происходит при наличии парафиновой добавки, препятствующей соприкосновению воды с древесными частицами внутреннего слоя.

Анализ полученных математических моделей позволил определить рациональные условия производства композиционной фанеры с внутренним слоем на основе древесной стружки:

– плотность внутреннего слоя 700 кг/м<sup>3</sup>;

– расход связующего 12–15 % от массы наполнителя;

– количество парафиновой эмульсии 0,5–1,0 % от массы наполнителя;

– температура прессования 130 °С;

– давление прессования 2,0 МПа;

– время выдержки под давлением 6 мин (0,5 мин на 1 мм толщины фанеры).

При изготовлении плит при данных условиях удается получить материал с прочностью при изгибе 44–54 МПа, при перпендикулярном отрыве порядка 0,25 МПа, при выдергивании шурупов из кромки – 50–55 МПа, из пласти – 90–95 МПа, разбуханием по толщине – 11–13 %, водопоглощением – 40–45 %. Данные показатели приближаются к нормативным требованиям на фанеру общего назначения (ГОСТ 3916.1–96) и превышают основные требования на стружечные плиты (ГОСТ 10632–07). Уравнения регрессии в натуральном обозначении факторов позволяют спрогнозировать значения физико-механических показателей при любых сочетаниях управляемых факторов в рассмотренном диапазоне в зависимости от технологических особенностей производства или выявить уровни факторов в зависимости от требуемых эксплуатационных характеристик композиционной фанеры в соответствии со сферами ее применения.

### Библиографический список

1. Угрюмов, С.А. Разработка технологической последовательности производства композиционной фанеры с применением костры льна / С.А. Угрюмов, Е.А. Боровков, А.Е. Щербаков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2007. – № 6. – С. 120–123.
2. Угрюмов, С.А. Планирование и реализация эксперимента для оценки влияния технологических факторов на свойства композиционной фанеры / С.А. Угрюмов, А.А. Смирнов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2006. – № 6. – С. 130–132.
3. Пижурин, А.А. Исследование процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенбит. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 232 с.

## К ВОПРОСУ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ И КОСТРЫ ЛЬНА

Е.А. БОРОВКОВ, *асп. каф. механической технологии древесины Костромского ГТУ*,  
С.А. УГРЮМОВ, *проф. каф. механической технологии древесины Костромского ГТУ, д-р  
техн. наук*

*borovkovea@rambler.ru; ugr-s@yandex.ru*

Несмотря на кажущуюся доступность леса в России, его промышленное освоение не всегда целесообразно с экономической точки зрения, при этом также имеет место фактор недостаточной развитости лесной инфраструктуры. Основные мощности по переработке леса сосредоточены главным образом в европейской части страны, где запасы древесины истощены, а основные лесные ресурсы – в Сибири и на Дальнем Востоке, где деревообрабатывающая промышленность, за исключением единичных регионов, менее развита. Вследствие роста железнодорожных тарифов и цен на нефтепродукты стоимость древесины постоянно увеличивается, а деревообрабатывающие предприятия несут серьезные транспортные затраты, заложенные в стоимость сырья. Одним из перспективных направлений снижения затрат на сырье в фанерном и плитном производстве является переработка доступных отходов деревообработки, а также отходов сельского хозяйства, например, костры льна. Объемы переработки льна в последние годы существенно возрастают, при этом проблемы эффективной утилизации костры не решены.

Костра льна обладает рядом положительных физико-химических и анатомических свойств применительно к плитному производству, она образуется ежегодно и поэтому может с успехом использоваться в производстве плитных конструктивных материалов, особенно в периоды осложнения поставок древесного сырья (осенью и весной) [1].

В рамках данной работы применительно к условиям ОАО «Фанплит» (г. Кострома) приведен экономический расчет технологического варианта выпуска плит на основе совмещенных наполнителей (древесины и костры)

на мощностях цеха древесно-стружечных плит, а также композиционной фанеры с внутренним заполнением на основе костры при условии модернизации клеильно-обрезного цеха фанерного производства.

В настоящий момент в производстве древесно-стружечных плит потоки стружки распределяются следующим образом: на внутренний слой идет 40 % крупной фракции частиц, в наружные слои – 60 % мелкой фракции. Целесообразно выпускать плиты с внутренним слоем на основе крупных древесных частиц, формирующих основу прочности материала, а на наружные слои направлять костру льна для формирования мелкоструктурной поверхности. Проведенные экспериментальные запрессовки и испытания показали, что физико-механические показатели таких плит соответствуют нормам ГОСТ 10632-07.

Предположительно основной экономический эффект от производства данных комбинированных плитных материалов ожидается от снижения расходов на сырьевые материалы.

Так, стоимость костры в сравнении с древесиной ниже более чем в два раза даже с учетом транспортных расходов, которые в расчетах включены в стоимость сырья, при транспортном плече в 150 км.

В табл. 1 приведены основные технико-экономические показатели производства комбинированных плит в расчете на годовой объем производства, 103 тыс. м<sup>3</sup> плит.

Технико-экономические расчеты показали, что применение костры позволяет уменьшить себестоимость выпускаемой продукции за счет меньшей стоимости сырья и снижения затрат на отдельные технологические операции (сушка костры, измельчение).

Т а б л и ц а 1

**Технико-экономические показатели работы производства плит  
на основе совмещенных наполнителей**

Показатели	По проекту		По предприятию		Темп роста, %
	сумма, тыс. руб.	на 1 м <sup>3</sup> , руб.	сумма, тыс. руб.	на 1 м <sup>3</sup> , руб.	
1. Прямая себестоимость	179414,330	1741,89	200054,817	1942,28	89,68
костра льна	9182,862	89,15	–	–	–
сырье твердая древесина	15106,450	146,66	37766,126	366,66	40,00
сырье отходы	1595,529	15,49	3988,823	38,73	40,00
смола КФН-54, КФН-66	83549,669	811,16	83549,669	811,16	100,00
компоненты клея (хлористый аммоний, аммиачная вода, карбамид)	2604,663	25,29	2604,663	25,29	100,00
вспомогательные материалы	2446,614	23,75	2446,614	23,75	100,00
зарплата, начисления на зарплату	20915,97	203,07	21098,85	204,84	99,13
электроэнергия	29904,981	290,34	34492,481	334,88	86,70
Пар	12582,233	122,16	12582,233	122,16	100,00
вода	1525,36	14,81	1525,36	14,81	100,00
2. Списочная численность основных рабочих в цехе, чел.	95		99		95,96
3. Технологическая трудоемкость 1 м <sup>3</sup> плиты, чел./час.	3,50		3,65		95,96
4. Оптовая цена продукции	275319	2673	296022	2874	93,00

Т а б л и ц а 2

**Технико-экономические показатели работы производства костроплит**

Элементы	По проекту		По предприятию		Темп роста %
	сумма, тыс. руб.	на 1 м <sup>3</sup> , руб.	сумма, тыс. руб.	на 1 м <sup>3</sup> , руб.	
1. Прямая себестоимость, тыс.руб.	172063,320	1670,52	200054,817	1942,28	86,01 %
костра льна	15304,770	148,59	0,000	0,00	–
сырье твердая древесина	0,000	0,00	37766,126	366,66	0,00 %
сырье отходы	0,000	0,00	3988,823	38,73	0,00 %
смола КФН-54, КФН-66	83549,669	811,16	83549,669	811,16	100,00 %
компоненты клея (хлористый аммоний, аммиачная вода, карбамид)	2604,663	25,29	2604,663	25,29	100,00 %
Вспомогательные материалы	2446,614	23,75	2446,614	23,75	100,00 %
зарплата, начисления на зарплату	20367,33	197,74	21098,85	204,84	96,53 %
Электроэнергия	33682,683	327,02	34492,481	334,88	97,65 %
Пар	12582,233	122,16	12582,233	122,16	100,00 %
Вода	1525,36	14,81	1525,36	14,81	100,00 %
2. Списочная численность основных рабочих в цехе	83		99		83,84 %
3. Технологическая трудоемкость 1 м <sup>3</sup> плиты, чел./час.	3,06		3,65		83,84 %
4. Оптовая цена продукции	267800	2600	296022	2874	90,46

**Технико-экономические показатели производства  
композиционной фанеры**

Наименование	По проекту	По предприятию	Темп роста, %
1. Товарная продукция в сопоставимых ценах, тыс. руб.	842875,072	793654,866	106,2
2 Выпуск продукции в натуральном выражении, м <sup>3</sup>	109763,05	100539	109,2
а) фанера ФК	83782,50	100539	–
б) композиционная фанера	25980,55	–	–
3. Производительность ведущего оборудования, м <sup>3</sup> /ч	2,58	2,36	109,2
4. Списочное количество рабочих, чел.	610	584	104,5
5. Средняя зарплата 1 рабочего в год, тыс. руб.	86,632	86,416	100,3
6. Технологическая трудоемкость 1 м <sup>3</sup> фанеры, чел./час.	7,92	8,27	95,8
7. Характеристика и расход сырья и материалов на единицу продукции			
а) расход фанерного кряжа, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	2,14	2,53	84,6
б) расход костры льна, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,26	–	–
в) расход клеевых материалов, кг/м <sup>3</sup>	105,6	84,5	125,0
8. Расход электроэнергии на 1 м <sup>3</sup> фанеры, кВт·ч	184,19	187,163	98,4
9. Электровооруженность 1 рабочего, кВт·ч.	33116,1	32221,2	102,8
10. Полная себестоимость 1 м <sup>3</sup> фанеры, руб.	5787,43	6038,26	95,85
11. Оптовая цена 1 м <sup>3</sup> фанеры, руб.	7679	7894	97,2
12. Затраты на 1 рубль товарной продукции, руб.	0,75	0,76	98,5
13. Чистая выручка, тыс. руб	166541,13	150892,06	110,4
14. Рентабельность 1 м <sup>3</sup> фанеры, %	32,68	30,73	+1,95
15. Степень охвата механизированным трудом, %	43,33	40,75	106,3
16. Инвестиции по проекту:			
– стоимость оборудования, его доставка и монтаж, тыс. руб.	10355,0	–	–
– реконструкция здания цеха	8547,89	–	–
17. Срок окупаемости, лет	1,46	–	–

При этом организационные мероприятия по применению костры льна в производстве плит способствуют комплексному и рациональному использованию древесного и льносырья, эффективной утилизации отходов льнопроизводства, позволяют снижать материалоемкость, трудоемкость и как следствие – себестоимость клееной продукции, избавиться от потребности в древесном сырье в проблемные периоды с его поставкой.

В случае острой нехватки сырья для плитного производства существует возможность перевести работу цеха ДСтП исключительно на костру льна и тем самым ориентировать мощности на выпуск кистроплит. В табл. 2 приведены основные технико-экономические показатели производства ДСтП при производстве плит на костре (кистроплит) в расчете на годовой объем 103 тыс. м<sup>3</sup> плит.

Организационные мероприятия по производству комбинированных плит или кистроплит требуют определенных затрат на модернизацию, а именно: организацию площадки для хранения костры, установку дополнительных сит на сортировщике щепы для сортировки костры. При этом снижается нагрузка на оборудование для переработки дров и на станках для измельчения технологической щепы, а в случае производства плит на основе костры без использования древесных частиц данные операции полностью исключаются из техпроцесса. Также следует отметить, что данная модернизация позволяет вывести из штата смены незадействованных станочников и машинистов рубительной машины, что позволяет экономить на фонде оплаты труда.

Костра льна может также эффективно применяться при производстве композици-



онной фанеры – материала, состоящего из взаимно перпендикулярных слоев лущеного шпона снаружи и клеевой композиции на основе костры льна в качестве внутреннего заполнения [2].

Организация такого производства позволит значительно снизить себестоимость продукции в основном за счет снижения затрат на сырье (фанерный кряж) и меньшего его расхода, уменьшить риск от простоев в периоды осложненных поставок фанкряжа, эффективно утилизировать отходы льнопроизводства, а также получать соизмеримую с доходом от реализации традиционной фанеры прибыль, так как физико-механические свойства композиционной фанеры достаточно высоки.

В рамках исследований возможных направлений реконструкции ОАО «Фанплит» была оценена экономическая эффективность организации частичного выпуска композиционной фанеры на одном из шести действующих клеильных прессов на участке производства квадратной фанеры марки ФК, что составило 25980 м<sup>3</sup> композиционной фанеры в год.

Для реализации технической части намеченного проекта потребуется провести реконструкцию клеильного отделения клеильно-обрезного цеха, установив в нем смесительный агрегат, формирующую машину, пресс для холодной подпрессовки. Для подготовки наполнителя композиционной фанеры необходима установка сортировки щепы, которая также может использоваться для сортировки костры льна; для сушки наполнителя потребуется сушильная установка (сушильный барабан); для отсеивания некондиционной фракции и пыли от кондиционного материала необходимо использовать сортировку стружки. Для создания межоперационных запасов следует предусмотреть установку накопительных и расходных бункеров. При транспортных задержках или отсутствии запаса костры планируется использовать для формирования внутреннего слоя измельченные отходы фанерного производства (шпонрванину и форматные обрезки).

Расчет обезличенной продукции выполнялся на основании себестоимости выпускаемой в настоящее время фанеры марки ФК. Следует отметить, что при производстве композиционной фанеры требуются дополнительные затраты на доставку костры льна с близлежащих льнозаводов области.

Также происходит некоторое увеличение количества связующего и прочих материалов, необходимых для подготовки внутреннего слоя. Однако данный перерасход окупается за счет экономии при снижении нормы расхода основного сырья – фанерного кряжа и изготовленного из него лущеного шпона.

Сводные технико-экономические показатели производства композиционной фанеры представлены в табл. 3.

Для предполагаемых изменений при выпуске композиционной фанеры потребуются затраты на приобретение оборудования и модернизацию зданий, демонтаж старого оборудования, создание дополнительных производственных запасов основных материалов, разработку технологической части. Эти затраты окупаются за 18 месяцев за счет увеличения рентабельности продукции, уменьшения себестоимости товарной продукции и увеличения чистой выручки.

Таким образом, комплексная модернизация предприятия на выпуск фанеры и плит с использованием костры льна позволяет выпускать новые виды конкурентоспособной плитной продукции, трудоемкость и себестоимость которой ниже традиционных древесных материалов. При этом снижается расход древесного сырья и риск от перебоев с его поставками при эффективной утилизации отходов переработки льна.

#### Библиографический список

1. Угрюмов, С.А. Применение костры льна в производстве клееных материалов / С.А. Угрюмов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2002. – № 2. – С. 186–188.
2. Угрюмов, С.А. Использование костры льна в производстве композиционной фанеры / С.А. Угрюмов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2005. – № 6. – С. 63–65.

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИБРО-ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТВЕРДЕНИИ

В.И. ЗАПРУДНОВ, проф. каф. геодезии и строительного дела МГУЛ, д-р. техн. наук,  
Е.Б. КОЗЛОВА, доц. каф. геодезии и строительного дела МГУЛ

zaprudnov@mgu.ac.ru

Помимо температурных и влажностных воздействий древесно-цементный материал (фибролит, ЦСП, арболит) в процессе твердения подвергается действию давления прессования, необходимого для получения изделий более однородной структуры и большей плотности. Воздействие давления начинается с некоторого момента твердения после образования определенной твердой фазы, когда древесно-цементная смесь приобретает слабо упругие свойства и ее можно рассматривать как вязкоупругую среду. По мере возрастания степени твердения ( $\eta$ ) увеличивается прочность и модуль упругости материала и уменьшается коэффициент Пуассона, причем на основании имеющихся экспериментальных данных можно принять линейную зависимость механических характеристик от твердости. Поскольку древесно-цементную смесь в течение процесса твердения можно рассматривать как однородный изотропный вязкоупругий материал, то на основании принципа Вольтерра, сформулируем сначала задачу о напряжениях в упругой бесконечной плите толщиной  $2h$  при неравномерном распределении температуры, влажности и действии давления  $P(t)$ , которое возникает вследствие подпрессовки пакета, например, фибро-цементных плит и веса вышележащих плит  $P_1(t)$ , причем давление  $P_1(t)$  изменяется в процессе твердения из-за испарения влаги и зависит от положения плиты в пакете. Очевидно, изменением давления по высоте одной плиты можно пренебречь и считать, что на обеих плоскостях плиты давление одинаковое (рис. 1).

Для решения задачи выбираем ортогональную систему координат  $X_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), причем начало координат помещаем на срединной плоскости, ось  $X_1$  направляем по нормали, а оси  $X_2, X_3$ , располагаем в ней. Согласно принятой расчетной схеме, граничное условие на поверхностях плиты имеет вид

$$\sigma_{11}(\pm h, t) = P(t). \quad (1)$$

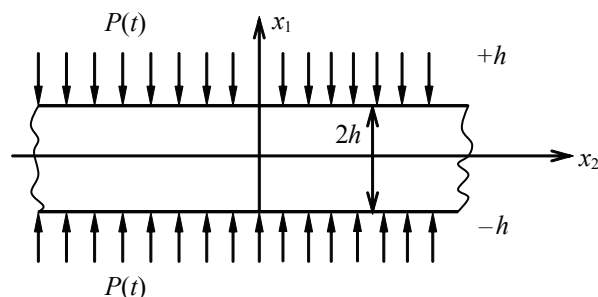


Рис. 1. Расчетная схема

Прежде чем записать дифференциальные уравнения равновесия, условимся, что перемещения в плоскости плиты будем пренебрегать, и, следовательно, перемещения в направлении координатных осей равны

$$u_1 = u_1(x_1, t), u_2 = u_3 = 0. \quad (2)$$

В этом случае, согласно соотношениям Коши, отличной от нуля будет только одна поперечная деформация

$$\varepsilon_{11} = \partial u_1 / \partial x_1. \quad (3)$$

Тогда относительное изменение объема и компоненты деватора деформаций определяются по соотношениям

$$\begin{aligned} \Theta_{11} = \varepsilon_{11}, \quad \Theta_{22} = \Theta_{33} = -(1/2)\varepsilon_{11} - (1/3)\varepsilon_{11}, \\ \Theta_{12} = \Theta_{31} = \Theta_{23} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

На основании закона Гука, взятого в форме

$$\sigma_{ij} = 2 \cdot G \cdot \varepsilon_{ij} + (\Delta / 3K) \delta_{ij}, \quad (5)$$

где  $\delta_{ij} = 1$  при  $i = j$  и  $\delta_{ij} = 0$  при  $i \neq j$  имеем

$$\sigma_{22} = \sigma_{33}; \sigma_{12} = \sigma_{13} = \sigma_{32} = 0. \quad (6)$$

Здесь

$G$  – модуль упругости при сдвиге,  
 $G = E / 2(1 + \nu)$ ;

$K$  – объемный модуль упругости,  
 $K = E / (1 - 2\nu)$ .

В рассматриваемом случае два дифференциальных уравнения равновесия удовлетворяются тождественно, а третье содержит всего одно слагаемое

$$\partial \sigma_{11} / \partial x_1 = 0, \quad (7)$$

из которого следует, что  $\sigma_{11}$  не зависит от координаты  $X_1$ , т.е. не изменяется по толщине плиты.

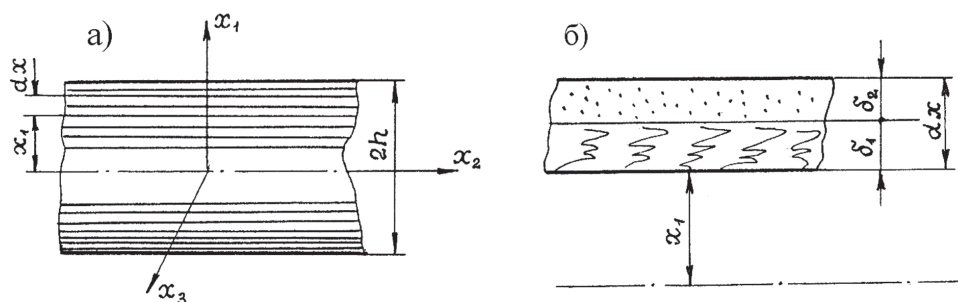


Рис. 2. Расчетная схема ЦСП в конечной стадии твердения: а – система координат; б – бесконечно малый элемент

На основании дифференциального уравнения (7) и граничного условия (1), имеем

$$\sigma_{11} = -P(t). \quad (8)$$

Определяем компоненты девиатора деформаций и напряжений

$$\begin{aligned} \Theta_{11} &= (2/3)\varepsilon_{11}; \sigma_{cp} = (1/3)[-P(t) + 2\sigma_{22}]; \\ S_{11} &= \sigma_{11} - \sigma_{cp} = -(2/3)[P(t) + \sigma_{22}]. \end{aligned} \quad (9)$$

В целях получения выражения для напряжений возьмем закон Гука в форме

$$\begin{aligned} \Theta_{ij} &= (1/2G)S_{ij}; \Delta = \\ &= 3(\sigma_{cp}/K) + 3(\alpha_{\Delta}T + \xi_{\Delta}W). \end{aligned} \quad (10)$$

На основании (9) и (10) получаем следующее соотношение

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= (1/2 \cdot G)[P(t) + \sigma_{22}] = \\ &= (1/K)[-P(t) + 2\sigma_{22} + 3(\alpha_{\Delta}T + \xi_{\Delta}W)], \end{aligned} \quad (11)$$

которое позволит исключить деформацию  $\varepsilon_{11}$  из (11) и получить выражение для компонентов напряжений

$$\sigma_{22} = \sigma_{33} = -P(t) - 3R(\alpha_{\Delta}T + \xi_{\Delta}W), \quad (12)$$

где  $R = E/3(1 - \nu)$ .

В том случае, когда коэффициент Пуассона не изменяется по времени и справедлива температурно-влажностно-временная аналогия, легко получить решение для вязкоупругой задачи путем применения трансформации Лапласа

$$\begin{aligned} \sigma_{22} = \sigma_{33} &= -P(t) \frac{\nu}{1-\nu} - \\ &- 3 \int_0^t R(\eta - \eta') \left( \alpha \frac{\partial_{\Delta} T}{\partial \tau} + \xi \frac{\partial_{\Delta} W}{\partial \tau} \right) d\tau, \end{aligned} \quad (13)$$

где  $\eta, \eta'$  – модифицированные времена;

$R$  – ядро релаксации,

$$\eta = \int_0^t \frac{dt}{\alpha_T \cdot \alpha_w}; \eta' = \int_0^{\tau} \frac{dt}{\alpha_T \cdot \alpha_w}, \quad (14)$$

где  $\alpha_T, \alpha_w$  – функции сдвига, зависящие только от температуры и влажности.

Все эти функции определяются экспериментально.

Однако в процессе твердения коэффициент Пуассона существенно изменяется, и поэтому применение трансформации Лапласа весьма затруднительно. Вследствие чего целесообразно оценку напряженного состояния производить, используя теорему Ильюшина–Быкова. На основании которой напряжения и деформации в вязкоупругом теле можно определить, если в упругом решении соответствующей краевой задачи заменить упругие константы временными, характеризующими механическое состояние материала в исследуемый момент времени. Решение (13) позволяет оценить влияние давления прессования на прочность плиты и дает возможность назначать такое давление, чтобы не разрушались адгезионные связи, прочность которых должна быть заранее установлена экспериментально. После распулочки основную роль играют влажностные и температурные деформации, особенно деформации усадки. Для оценки внутренних напряжений, возникающих в заключительной стадии твердения, выберем другую расчетную схему, позволяющую изучить особенности взаимодействия древесины и цемента при изменении температуры и влажности окружающей среды. Для этого рассмотрим цементно-стружечную плиту как симметричную по толщине многослойную пластину той же толщины  $2h$ , составленную из бесконечно большого числа чередующихся слоев древесины и цемента (рис. 2).

В дальнейшем все величины, характеризующие слои из древесины, будем брать с индексом «1», а цемента – с индексом «2». Толщину каждого древесного  $\delta_1$  и цементно-

го  $\delta_2$  слоя определим, исходя из следующих соотношений:

$$\frac{\gamma_1 \cdot \delta_1}{\gamma_2 \cdot \delta_2} = \frac{D}{C}, \quad \delta_1 + \delta_2 = dx. \quad (15)$$

Откуда приведенные толщины бесконечно тонких слоев равны

$$\delta_1 = \frac{dx}{1 + \frac{\gamma_1 \cdot C}{\gamma_2 \cdot D}}, \quad \delta_2 = \frac{dx}{1 + \frac{\gamma_2 \cdot D}{\gamma_1 \cdot C}}, \quad (16)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2$  – удельный вес древесины и цемента.

Соответственно, если влажность фибро-цементной плиты равна  $W$ , то имеет место равенство

$$W = \frac{W_1 \cdot D + W_2 \cdot C}{C + D}, \quad (17)$$

где  $W_1, W_2$  – влажность древесины и цемента.

Компоненты относительной деформации срединной плоскости обозначим через  $\varepsilon_i$ , где  $i = 2, 3$ , тогда стесненная деформация каждого слоя и внутренние напряжения при уменьшении влажности плиты определяются следующими выражениями

$$\varepsilon_{ik} = \varepsilon_i - \alpha_k T + \beta_k W_k, \quad (18)$$

$$\sigma_{ii}^{(k)} = \bar{E}_k [\varepsilon_i + \mu_k \varepsilon_j - (1 + \mu_k)(\alpha_k T - \beta_k W_k)], \quad (19)$$

где  $k = 1, 2$  означает слой древесины или цемента;

$E_1, E_2$  – эффективные модули упругости древесины и цемента;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона древесины и цемента;

$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$  – коэффициенты линейного расширения и усадки древесины и цемента.

Перейдем от напряжений к статически эквивалентной системе усилий:

$$Q_i = \int_{-h}^h (\sigma_{ii}^1 \delta_1 + \sigma_{ii}^2 \delta_2) \cdot dx. \quad (20)$$

После интегрирования выражения (20) для упругой фазы твердения получаем

$$Q_2 = B(\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_3) - \bar{Q}(t) + Q(W),$$

$$Q_1 = B(\varepsilon_3 + \mu \varepsilon_2) - \bar{Q}(t) + \bar{Q}(W). \quad (21)$$

В соотношения (21) введены следующие обозначения

$$B = 2h \frac{\bar{E}_1 \cdot \gamma \cdot D + \bar{E}_2 \cdot \gamma \cdot C}{\gamma_2 \cdot D + \gamma_1 \cdot C}$$

– приведенная жесткость плиты при растяжении;

$$\mu = \frac{\bar{E}_1 \cdot \mu_2 \cdot D + \bar{E}_2 \cdot \mu_1 \cdot C}{\bar{E}_1 \cdot \gamma_2 \cdot D + \bar{E}_2 \cdot \gamma_1 \cdot C}$$

– коэффициент поперечной деформации.

$$Q(t) = \int_{-h}^h \left[ \frac{E_1 \alpha_1}{1 - \mu_1} \delta_1 + \frac{E_2 \alpha_2}{1 - \mu_2} \delta_2 \right] T(x) \cdot dx,$$

$$Q(W) = \int_{-h}^h \left[ \frac{E_1 \beta_1 W_1 \delta_1}{1 - \mu_1} + \frac{E_2 \beta_2 W_2 \delta_2}{1 - \mu_2} \right] \cdot dx. \quad (22)$$

Поскольку в срединной плоскости не приложены никакие внешние силы, то из условия равновесия получаем

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon = \frac{\bar{Q}(t) - \bar{Q}(W)}{B(1 + \mu)}. \quad (23)$$

Таким образом, внутренние усадочные напряжения в древесном наполнителе и цементном вяжущем определяются следующим выражением

$$\sigma_{ii}^{(k)} = \frac{E_k}{1 - \mu_k} \left[ \frac{\bar{Q}(t) - \bar{Q}(W)}{B(1 + \mu)} - (\alpha_k T - \beta_k W_k) \right]. \quad (24)$$

Соотношение (24) позволяет оценить величину внутренних напряжений в конечной стадии твердения и влияние свойств древесины и цемента на их величину.

### Библиографический список

1. Запруднов, В.И. Трехслойные конструкции с древесно-цементными теплоизоляционными слоями: монография – 2-е изд. / В.И. Запруднов. – М: МГУЛ, 2006. – 322 с.

## ВЫБОР СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРЕБУЕМОГО МОМЕНТА ПРИ УСЛОВИИ МИНИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ РАБОЧЕГО ТЕЛА

И.С. ИЛЬЮЩЕНКО, инженер-математик, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева,  
А.П. СИЗОВ, студент 5 курса Московского физико-технического института

*ilivs@mail.ru; sizov.mipt@gmail.com*

В работе рассматривается задача нахождения уровней тяги ( $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n; \alpha_i \in [0;1]$ ) системой двигателей космического аппарата для создания требуемого управляющего момента при условии минимизации расхода рабочего тела.

Система двигателей создает управляющий момент

$$\vec{M}_0 = \sum_{i=1}^n \vec{M}_i \alpha_i, \quad (1)$$

где  $\vec{M}_0$  – управляющий момент, создаваемый двигателями космического аппарата (КА);

$\vec{M}_i$  – максимальный момент, создаваемый  $i$  двигателем.

Введем правую ортонормированную связанную с аппаратом систему координат (СК). В введенной СК уравнение (1) можно распisać по координатам

$$\begin{cases} M_{0x} = \sum_{i=1}^n M_{ix} \alpha_i, \\ M_{0y} = \sum_{i=1}^n M_{iy} \alpha_i, \\ M_{0z} = \sum_{i=1}^n M_{iz} \alpha_i. \end{cases} \quad (2)$$

Для суммарного расхода  $Q$  системой двигателей КА имеем

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{P_{y\partial.i}} \alpha_i, \quad (3)$$

где  $P_i$  – тяга  $i$  двигателя,

$P_{y\partial.i}$  – удельный импульс тяги  $i$  двигателя.

Таким образом, поставленная задача сводится к решению системы (2) относительно  $\alpha_i$  при условии, что  $Q \rightarrow \min$ . Исходя из вышеизложенного задача сводится к отысканию вектора  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ , максимизирующего линейную целевую функцию

$$J = -\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{P_{y\partial.i}} \alpha_i; \quad (4)$$

при следующих линейных ограничениях

$$\begin{cases} M_{0x} = \sum_{i=1}^n M_{ix} \alpha_i, \\ M_{0y} = \sum_{i=1}^n M_{iy} \alpha_i, \\ M_{0z} = \sum_{i=1}^n M_{iz} \alpha_i, \\ 0 \leq \alpha_i \leq 1, i=1..n. \end{cases} \quad (5)$$

Для решения данной задачи воспользуемся симплекс-методом. Для чего приведем систему к каноническому виду.

Перепишем условие  $\alpha_i \leq 1$  в следующем виде

$$\begin{cases} \alpha_1 + \alpha_{n+1} = 1, \\ \alpha_2 + \alpha_{n+2} = 1, \\ \dots\dots\dots \\ \alpha_n + \alpha_{2n} = 1, \end{cases} \quad (6)$$

где под  $\alpha_{n+1}, \alpha_{n+2}, \dots, \alpha_{2n}$  обозначаются некоторые балансовые переменные, удовлетворяющие условию  $0 \leq \alpha_i \leq 1, i=(n+1)..2n$ .

Объединив систему (5) с системой (6) в одну, получим

$$\begin{cases} M_{0x} = \sum_{i=1}^n M_{ix} \alpha_i, \\ M_{0y} = \sum_{i=1}^n M_{iy} \alpha_i, \\ M_{0z} = \sum_{i=1}^n M_{iz} \alpha_i, \\ \alpha_1 + \alpha_{n+1} = 1, \\ \alpha_2 + \alpha_{n+2} = 1, \\ \dots\dots\dots \\ \alpha_n + \alpha_{2n} = 1. \end{cases} \quad (7)$$

В целевую функцию балансовые переменные входят с нулевыми коэффициентами

$$J = -\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{P_{y\partial.i}} \alpha_i + \sum_{i=n+1}^{2n} 0 \cdot \alpha_i \text{ или } J = \sum_{i=1}^{2n} C_i \alpha_i. \quad (8)$$

Для решения системы (7) при условии максимизации функционала (8) воспользуемся симплекс-методом, который гарантирует неотрицательность найденных неизвестных  $\alpha_i (i=1..2n)$ .

### Алгоритм решения задачи

Рассмотрим подробнее систему (7), данная система содержит  $n + 3$  уравнений и  $2n$  неизвестных. Таким образом, фундаментальное решение этой системы имеет базис размерности  $n + 3$ . Определим базис:  $\alpha_i (i=1..(n+3))$ .

Симплекс-таблица

Базис	$C_b$	$C$	$-\frac{P_1}{P_{y0.1}}$	$-\frac{P_2}{P_{y0.2}}$	...	$-\frac{P_n}{P_{y0.n}}$	0	...	0
		$B$	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$	$A_{n+1}$	...	$A_{2n}$
$\alpha_1$	$-\frac{P_1}{P_{y0.1}}$	$M_{0x}$	$M_{1x}$	$M_{2x}$	...	$M_{nx}$	1	...	0
$\alpha_2$	$-\frac{P_2}{P_{y0.2}}$	$M_{0y}$	$M_{1y}$	$M_{2y}$	...	$M_{ny}$	0	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\alpha_{n+3}$	0	1	0	0	...	0	0	...	0
Симплекс разность			$\Delta_1$	$\Delta_2$	...	$\Delta_n$	$\Delta_{n+1}$	...	$\Delta_{2n}$

Для выставки начальных условий, согласно симплекс-методу приравняем нулю свободные переменные

$$\alpha_i = 0 (i = \overline{(n+4)..2n}).$$

Так как система (7) не вырождена для базисного вектора, получим решение:

$$\alpha_i = \alpha_i^* (i = \overline{1..(n+3)}).$$

Обозначим через  $A_k$  вектор, составленный из коэффициентов при переменной  $\alpha_k$ , через  $C_b$  – вектор, составленный из коэффициентов  $C_p$ , соответствующих базисным переменным, а через  $B$  – вектор, составленный из свободных членов уравнений системы (7).

Вычислим симплексные разности  $\Delta_i$  для полученного выше решения по формуле

$$\Delta_k = A_k C_b - C_k, \quad k = \overline{1..2n}.$$

Заполняется симплекс-таблица (таблица) по указанным выше правилам.

Если для данного решения все симплексные разности  $\Delta_i = \geq 0, (i = \overline{1..2n})$ , то это решение оптимальное. Конец решения.

В обратном случае находим  $k_0$  – направляющий столбец. Выбираем столбец, в котором самая минимальная симплексная разность среди отрицательных симплекс разностей

$$\min \Delta_k = \Delta_{k_0}, \quad \Delta_{k_0} < 0.$$

Направляющая строка  $i_0$  выбирается из условия

$$\min \left( \frac{b_i}{\alpha_{ik_0}} \right) = \frac{b_{i_0}}{\alpha_{i_0 k_0}}, \quad i = \overline{1..(n+3)}.$$

Таким образом, находим направляющий элемент  $\alpha_{i_0 k_0}$ . Заполняем таблицу, со-

ответствующую новому решению. Вводим в базис вектор  $A_{k_0}$  и выводим вектор, соответствующий переменной  $\alpha$  из направляющей строки  $i_0$ .

Для этого используются следующие соотношения:

– новые элементы направляющей строки находятся

$$\frac{\alpha_{ik_0}}{\alpha_{i_0 k_0}}, \quad k = \overline{1..2n};$$

– новые элементы направляющего столбца

$$\alpha_{ik_0} = 0, \quad i = \overline{1..(n+3)}, \quad \text{причем } i \neq i_0;$$

– новые значения остальных элементов матрицы

$$\alpha_{ij} - \frac{\alpha_{i_0 j}}{\alpha_{i_0 k_0}} \cdot \alpha_{ik_0}, \quad i \neq i_0, j \neq k_0;$$

– новые значения симплексных разностей

$$\Delta_j - \frac{\alpha_{i_0 j}}{\alpha_{i_0 k_0}} \cdot \Delta_{i_0};$$

Если все симплексные разности  $\Delta_i = \geq 0, (i = \overline{1..2n})$ ,

то решение новой системы оптимальное. Если нет, то построение симплекс таблиц продолжается до тех пор, пока не будет получено оптимальное решение.

**Библиографический список**

1. Карпевич, Ф.И. Элементы линейной алгебры и линейного программирования / Ф.И. Карпевич, Л.Е. Садовский. – М.: Наука, 1967.

## НЕЙРОМОДЕЛИ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.А. СКОРНЯКОВ, доц. каф. вычислительной техники МГУЛ, канд. техн. наук,  
Н.Н. ВАЛОВ, инженер ФГУП ЦНИИМаиш

caf-vt@mgul.ac.ru

Сложность космических аппаратов, увеличение числа задач, решаемых с их использованием, существенные расходы, связанные с разработкой космических систем и их управлением – все это определяет важность и актуальность задачи автоматизации процесса управления космического аппарата.

Современный космический аппарат представляется большой системой, включающей в себя сложный набор связанных между собой подсистем с различным функциональным назначением. Анализ состояния космического аппарата основывается на оценке значений телеметрических параметров, характеризующих режимы функционирования бортовых систем.

Особенность решения задачи автоматизации оперативного анализа состояния бортовых систем космического аппарата заключается в сложности описания протекающих на борту процессов, а также в невозможности представления модели космического аппарата в рамках выбранной какой-то единой математической структуры, поэтому для обеспечения адекватности отображения протекающих процессов требуется применение аппарата математической логики, классического анализа, теории алгоритмов и т.п. Существующие подходы к решению упомянутой задачи [1] базируются на предварительном описании множества образов «эталонного» состояния систем космического аппарата. При этом процедура анализа реализуется при помощи сопоставления этих «эталонных образов» с реальными значениями параметров процессов, полученных путем телеметрических измерений. По результатам сравнения выносится вердикт о работоспособности анализируемых систем. Исходя из такого принципа строятся методы «многоуровневого контроля», «матриц состояний», «деревьев поиска состояний» и т.д.

Такие методы характеризуются рядом существенных недостатков, к числу которых относятся сложность априорного описания

всех возможных состояний космического аппарата и его систем, тем более в нестандартных ситуациях, практически невозможность адаптации моделей при отклонении работы космического аппарата от заданных режимов, что ограничивает результативность машинных решений в оперативных условиях.

В настоящее время для решения задач подобного класса все более широкое применение находят методы, разработанные на основе «нейросетей». Суть таких методов заключается в декомпозиции структуры космического аппарата на отдельные составляющие элементы (нейроны) с последующим описанием протекающих в них процессов при помощи подходящих математических структур, адекватно отображающих функциональные свойства каждого моделируемого элемента.

Целостная (гибридная) модель космического аппарата строится согласно ассоциативным принципам, отображающим логику функциональных связей между отдельными элементами космического аппарата. При этом модуль-нейрон, представляющий отдельный элемент космического аппарата, описывается подмножеством уравнений  $\{f(x)\}$ , отображающих его функциональные свойства, подмножеством уникальных имен  $\{A\}$ , подмножеством входящих  $\{Y_{вх}\}$  и исходящих  $\{Y_{вых}\}$  адресов рассматриваемого элемента. Общая схема модуля-нейрона показана на рис. 1.

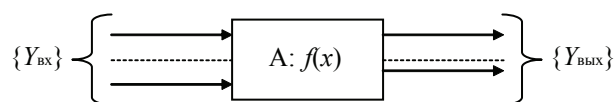


Рис. 1. Схема модуля-нейрона

На основе модуля-нейрона как базовой составляющей системы подмножеств названных входящих  $\{Y_{вх}\}$  и исходящих  $\{Y_{вых}\}$  адресов в соответствии с логикой работы системы в реализуемых режимах и строится гибридная «нейромодель» рассматриваемой системы и объекта в целом.

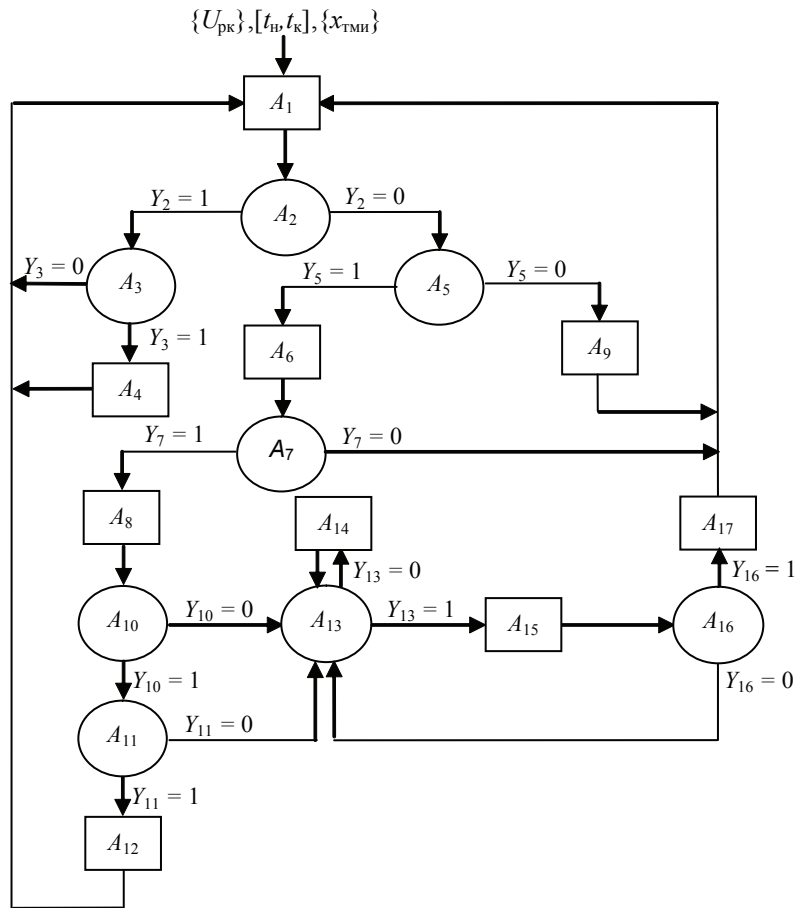


Рис. 2. Граф логической структуры анализа системы энергоснабжения КА «Коронас-Фотон»

В качестве примера приведем граф логической структуры анализа в применении к системе энергоснабжения космического аппарата «Коронас-Фотон» (рис. 2).

В данном случае  $A_1, A_2 \dots A_{17}$  – элементарные модули-нейроны, которые описывают логику работы системы,  $Y_1, Y_2 \dots Y_{16}$  – выходные адреса, при помощи которых осуществляется взаимосвязь между модулями-нейронами согласно результатам выполнения внутренних функций  $f_1(x), f_2(x) \dots f_{16}(x)$ , где в качестве аргументов  $\{x_{тми}\}$  рассматриваются соответствующие телеметрические параметры либо результаты решения функций, представленных в «теле» модуля-нейрона. Входными данными модели являются подмножество команд  $\{U_{рк}\}$ , задающих требуемый режим, интервал времени реализации режима  $[t_н, t_к]$  и подмножество значений телеметрических параметров анализируемой системы  $\{x_{тми}\}$ . При выходе эталонных значений параметров за границу допустимого диапазона, в соответствующем узле графа исходя из результатов решений уравнений, описыва-

ющих модуль-нейрон, полученный результат транслируется на терминал оператора по анализу и регистрируется в соответствующем разделе базы данных об анализируемой системе с необходимыми комментариями о характере отказа, его времени и месте.

Анализ исполнения режимов реализуется в нейронах  $A_2, A_3 \dots A_{16}$ , оценка допустимых значений параметров и результатов вычислений проводится в нейроне  $A_1$ .

В целях модельного описания модуля-нейрона используется математическая тройка {«имя», «внутренняя функция», «исходящий адрес»}. Приведем пример соотношений для представления упомянутого графа

$$A_1 : f_1(x) \wedge f_2(x) \wedge f_3(x) \rightarrow A_2,$$

где

$$f_1(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } \{x_i\}_{\min} \leq \{x_i\}_{\text{фактическое}} \leq \{x_i\}_{\max}; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$\{x_i\}_{\min}$  – минимально допустимая величина  $i$ -го элемента подмножества телеметрических параметров, принимающих значения физических величин:



температуры, давления, силы тока и т.д.;

$\{x_i\}_{\text{фактическое}}$  – значение  $i$ -го элемента, полученное в процессе сеанса связи с космическим аппаратом;

$\{x_i\}_{\text{макс}}$  – максимально допустимая величина  $i$ -го элемента подмножества телеметрических параметров, принимающих значения физических величин: температуры, давления, силы тока и т.д.;

$$f_2(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } \{x_j\}_{\text{эталонное}} \equiv \{x_j\}_{\text{фактическое}}; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$\{x_j\}_{\text{эталонное}}$  – требуемое значение  $j$ -го элемента из подмножества эталонных значений логических (символьных) параметров анализируемой системы;

$$f_3(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{T96}(t_n) \leq x_{T96}(t_{n+1})) \wedge \\ & \wedge (x_{T96}(t_p) \leq x_{T96}(t_{p+1})) \wedge (t_p - t_n < 35); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$n, p$  – моменты времени измерения значений параметров на борту космического аппарата;

$x_{T96}$  – значение параметра Т96;

$$A_2 : \begin{cases} Y_2 = 1 \rightarrow A_3, & \text{если } f_4(x) \wedge \overline{f_5(x)} = 1; \\ Y_2 = 0 \rightarrow A_5, & \text{если } f_4(x) \wedge \overline{f_5(x)} = 0; \end{cases}$$

$$f_4(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{HH} > 24,5) \wedge \\ & \wedge (x_{\{ПТЗП, ВТЗВ, ПТЗВ, ВТЗВ\}} > 0) \wedge (x_{T96}(t_1) < \\ & < x_{T96}(t_2)) \wedge (x_{HH}(t_1) < x_{HH}(t_2)); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$f_5(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{HH}(t_1) \geq x_{HH}(t_2)) \wedge \\ & \wedge (x_{\{ПТЗП, ВТЗВ, ПТЗВ, ВТЗВ\}} \approx 0); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$t_1$  и  $t_2$  – моменты времени измерения значений параметров на борту космического аппарата;

$x_{\{ПТЗП, ВТЗВ, ПТЗВ, ВТЗВ\}}$  – значения телеметрических параметров ПТЗП, ВТЗВ, ПТЗВ, ВТЗВ;

$$A_3 : \begin{cases} Y_3 = 1 \rightarrow A_4, & \text{если } f_6(x) = 1; \\ Y_3 = 0 \rightarrow A_1, & \text{если } f_6(x) = 0; \end{cases}$$

$$f_6(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{HH} < 36); \\ 0, & \text{если } (x_{HH} \geq 36); \end{cases}$$

$$A_4 : f_7(x) = Y_4 \rightarrow A_1;$$

$$f_7(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{HH}(t_1) < x_{HH}(t_2)) \wedge (x_{T96}(t_1) < \\ & < x_{T96}(t_2)) \wedge (x_{\{ПТЗП, ВТЗВ, ПТЗВ, ВТЗВ\}} > 0); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$A_5 : \begin{cases} Y_5 = 1 \rightarrow A_6, & \text{если } f_8(x) \wedge \overline{f_9(x)} = 1; \\ Y_5 = 0 \rightarrow A_9, & \text{если } f_8(x) \wedge \overline{f_9(x)} = 0; \end{cases}$$

$$f_8(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{HH} \leq 24,5); \\ 0, & \text{если } (x_{HH} > 24,5); \end{cases}$$

$$f_9(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (xxx_{HH} > 24,5) \wedge (x_{HH} < 36); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$A_6 : f_{10}(x) = Y_6 \rightarrow A_7;$$

$$f_{10}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{ПБА}(t_1) \neq x_{ПБА}(t_2)); \\ 0, & \text{если } (x_{ПБА}(t_1) = x_{ПБА}(t_2)); \end{cases}$$

$$A_7 : \begin{cases} Y_7 = 1 \rightarrow A_8, & \text{если } f_8(x) \wedge \overline{f_9(x)} = 1; \\ Y_7 = 0 \rightarrow A_1, & \text{если } f_8(x) \wedge \overline{f_9(x)} = 0; \end{cases}$$

$$A_8 : f_{11}(x) = Y_8 \rightarrow A_{10};$$

$$f_{11}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } f_{10}(x) \wedge (x_{usc} = 0); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$A_9 : f_5(x) = Y_9 \rightarrow A_1;$$

$$A_{10} : \begin{cases} Y_{10} = 1 \rightarrow A_{11}, & \text{если } f_8(x) \wedge \overline{f_9(x)} = 1; \\ Y_{10} = 0 \rightarrow A_{13}, & \text{если } f_8(x) \wedge \overline{f_9(x)} = 0; \end{cases}$$

$$A_{11} : \begin{cases} Y_{11} = 1 \rightarrow A_{12}, & \text{если } f_{12}(x) = 1; \\ Y_{11} = 0 \rightarrow A_{13}, & \text{если } f_{12}(x) = 0; \end{cases}$$

$$f_{12}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{СМКЗ} = 0) \vee (x_{СЗМТ} = 0) \vee \\ & \vee (x_{МСШ} = 0) \vee (x_{ДРШЗ} = 0) \vee (x_{КВЭ} = 0); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$A_{12} : f_{13}(x) = Y_{12} \rightarrow A_1;$$

$$f_{13}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{КГР1} = 1) \wedge (x_{КГР2} = 1) \wedge \\ & \wedge (x_{КГР3} = 1) \wedge (x_{КГР4} = 1) \wedge (x_{КГР5} = 1); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$A_{13} : \begin{cases} Y_{13} = 1 \rightarrow A_{15}, & \text{если } f_4(x) \wedge \overline{f_5(x)} = 1; \\ Y_{13} = 0 \rightarrow A_{14}, & \text{если } f_4(x) \wedge \overline{f_5(x)} = 0; \end{cases}$$

$$A_{14} : f_5(x) = Y_{14} \rightarrow A_{13};$$

$$A_{15} : f_7(x) = Y_{15} \rightarrow A_{16};$$

$$A_{16} : \begin{cases} Y_{16} = 1 \rightarrow A_{17}, & \text{если } f_{14}(x) \wedge \overline{f_{15}(x)} = 1; \\ Y_{16} = 0 \rightarrow A_{13}, & \text{если } f_{14}(x) \wedge \overline{f_{15}(x)} = 0; \end{cases}$$

$$f_{14}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{HH} \geq 33,6) \wedge (x_{HH} < 36); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$f_{15}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{HH} < 33,6) \wedge (x_{HH} > 24,5); \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$A_{17} : f_{16}(x) = Y_{17} \rightarrow A_1;$$

$$f_{16}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_{ШС} = 1); \\ 0, & \text{если } (x_{ШС} = 0); \end{cases}$$

Назначением функций  $f_1(x), f_2(x)$  и  $f_3(x)$  является контроль допусков для заданного количества телеметрических параметров, контроль комплектности бортовой аппаратуры анализируемой системы, а также оценка времени нахождения КА в тени. Функции  $f_4(x), f_5(x) \dots f_{16}(x)$  служат для описания остальных режимов работы системы. Исходящий адрес  $Y$  принимает логическое значение «истина» или «ложь», которое формируется посредством вычисления внутренних функций  $f(x)$ . Отсутствие исходящего адреса означает, что рассматриваемый «модуль-нейрон» имеет только один исходящий адрес, по умолчанию равный значению «истина», кроме тех случаев, когда на борту возникает нештатная ситуация и формируется сообщение об этой ситуации с возможностью последующей выдачи рекомендаций по ее устранению.

В целом предлагаемый метод характеризуется методологической универсальностью подхода к описанию различных космических аппаратов, при этом благодаря универсальности многих внутренних функ-

ций модулей обеспечивается значительная возможность их адаптации к изменяющимся условиям, в том числе и к нештатным ситуациям. Уровень такой адаптации определяется степенью детализации модели (модуля-нейрона). Полученная структура отображает в некотором роде искусственную нейросеть [2, 3], но с более расширенным представлением в функциональной интерпретации модуля-нейрона, на основе гибридной совокупности используемых математических конструкций. Такой подход обуславливает снижение трудозатрат на автоматизацию оперативного анализа и, как следствие, повышение оперативности и надежности принимаемых решений по управлению космического аппарата, что играет ключевую роль в решении данной задачи. При этом обеспечиваются предпосылки для последующего развития автоматизированного программно-математического комплекса, используемого при описании вновь создаваемых объектов рассматриваемого класса.

#### Библиографический список

1. Кравец, В.Г. Автоматизированные системы управления космическими полетами / В.Г. Кравец. – М.: Машиностроение, 1995.
2. Эндрю, А.М. Мозг и вычислительная машина. / А.М. Эндрю. – М.: Мир, 1966.
3. Эшби, М.Р. Конструкция мозга. / М.Р. Эшби. – М.: Мир, 1964.

## ОБЛЕГЧЕНИЕ КРИТЕРИЯ ХАФФМАНА ДЛЯ МОНОТОННЫХ САМОДВОЙСТВЕННЫХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

А.В. БУРДЕЛЕВ, науч. сотр. лаборатории ТВП

vgnikonov@mail.ru

Рассмотрим произвольное преобразование  $F_2^n$  пространства  $V_2^n$ , заданное системой координатных функций  $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ . В этом случае преобразование  $F_2^n : (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow (y_1, y_2, \dots, y_n)$  записывается в виде

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &\dots \\ y_n &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $f_i (i \in \overline{1, n})$  булевы функции  $n$  переменных.

Важнейшим прикладным требованием, предъявляемым к преобразованию  $F_2^n$  пространства  $V_2^n$ , является его биективность.

#### Определение 1

Система  $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  булевых функций от  $n$  переменных называется регулярной, если преобразование (1) является биективным.

Широко известен ряд критериев регулярности системы функций [5, 6].

**Теорема 1**

**(критерии регулярности).**

Пусть  $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  система булевых функций  $n$  переменных. Следующие утверждения эквивалентны:

1. система  $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  является регулярной;

2. для любого вектора  $(a_1, \dots, a_n)$  пространства  $Z_2^n$   $f_1^{a_1} \dots f_n^{a_n} \not\equiv 0$ ;

3. для любого вектора  $(a_1, \dots, a_n)$  пространства  $Z_2^n$   $\|f_1^{a_1} \dots f_n^{a_n}\| = 1$ ;

4. для всех  $1 \leq k \leq n$  и  $1 \leq i_1 < \dots < i_k \leq n$

$$(\|f_{i_1} \dots f_{i_k}\|) \bmod 2 = \begin{cases} 0, & \text{для } 1 \leq k < n \\ 1, & \text{для } k = n \end{cases}$$

5. для всех  $1 \leq k \leq n$  и  $1 \leq i_1 < \dots < i_k \leq n$  функция  $f_{i_1} \oplus f_{i_2} \oplus \dots \oplus f_{i_k}$  – равновероятна;

6. для всех  $1 \leq k \leq n-1$  и  $1 \leq i_1 < \dots < i_k \leq n$  произведение  $f_{i_1} f_{i_2} \dots f_{i_k}$  не содержит члена  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , а произведение  $f_1, f_2, \dots, f_n$  содержит такой член;

7. группа инерции системы  $F$  в группе  $S_{2^n}$  подстановок на  $Z_2^n$  тривиальна:  $I_{S_{2^n}}(F) = \{e\}$ ;

8. система функций  $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  обладает нормальным распределением весов, т.е. для всех  $1 \leq k \leq n$  и  $1 \leq i_1 < \dots < i_k \leq n$

$$\|f_{i_1} \dots f_{i_k}\| = 2^{n-k}.$$

В литературе [5] критерий 8 получил название критерия Хаффмана.

**Определение 2**

Булева функция  $f$  называется самодвойственной (обладает свойством «нечетности»), если

$$f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) = \bar{f}(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Отрицание в булевом случае задается по закону  $\bar{\bar{a}} = 1 - a$ .

**Замечание 1**

Самодвойственная булева функция является равновероятной.

**Определение 3**

Булева функция  $f$  называется монотонной, если для любого  $k \in \mathbb{N}$ , для любых  $i_1 < i_2 < \dots < i_k \in \overline{1, n}$ , для любых  $\varepsilon^1 = (\varepsilon_1^{(1)}, \dots, \varepsilon_k^{(1)})$ ,  $\varepsilon^2 = (\varepsilon_1^{(2)}, \dots, \varepsilon_k^{(2)}) \in V_2^k$  и для любых  $x^{(1)} = (x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_n^{(1)})$ ,  $x^{(2)} = (x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_n^{(2)}) \in V_2^n$  таких, что  $x_i^{(1)} = \varepsilon_1^{(1)}, \dots, x_{i_k}^{(1)} = \varepsilon_k^{(1)}$ ,  $x_i^{(2)} = \varepsilon_1^{(2)}, \dots, x_{i_k}^{(2)} = \varepsilon_k^{(2)}$  и  $x_j^{(1)} = x_j^{(2)}$ , где  $j \in \overline{1, n} \setminus \{i_1, \dots, i_k\}$ , выполняется нестрогое неравенство  $f(x^{(1)}) \leq f(x^{(2)})$ .

**Определение 4**

Булевы функции  $f_1, f_2, \dots, f_n$  будем называть  $k$ -независимыми, если для любых  $1 \leq i_1 < \dots < i_k \leq n$

$$\|f_{i_1} \dots f_{i_k}\| = 2^{n-k}.$$

В частности, булевы функции  $f_1, f_2, \dots, f_n$  будем называть попарно независимыми (2-независимыми), если для любых  $i, j \in \overline{1, n}$   $i \neq j$  выполняется

$$\|f_i f_j\| = 2^{n-2}$$

и независимыми в совокупности, если они  $k$ -независимы для любого  $1 \leq k \leq n$ .

В работе [7] был получен следующий результат для пороговых булевых функций.

**Теорема 2**

Если  $f_1, f_2, \dots, f_n$  пороговые равновероятные  $(k-1)$ -независимые функции и  $k$  нечетно, то они независимы в совокупности.

Легко показать, что теорема верна и для более широкого класса булевых функций – класса самодвойственных монотонных булевых функций, включающего в себя класс пороговых равновероятных булевых функций.

**Теорема 3**

Если  $f_1, f_2, \dots, f_n$  самодвойственные монотонные  $(k-1)$ -независимые функции и  $k$  нечетно, то они независимы в совокупности.

Покажем, что сумма независимых в совокупности самодвойственных монотонных булевых функций не может являться самодвойственной монотонной булевой функцией.

**Теорема 4**

Сумма независимых в совокупности самодвойственных монотонных булевых функций не может являться самодвойственной монотонной булевой функцией.

**Доказательство**

Сумма независимых в совокупности самодвойственных монотонных булевых функций по теореме 1 является равновероятной функцией. Необходимо показать, что она не может быть самодвойственной и монотонной.

Рассмотрим два случая: в первом случае будем предполагать, что у нас сумма четного числа функций; во втором – сумма нечетного числа функций.

В первом случае покажем, что сумма четного числа  $k$  независимых в совокупности

ти самодвойственных монотонных булевых функций не является самодвойственной функцией. С учетом того, что  $k$  четно, имеем

$$f_1(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \oplus f_2(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \oplus \dots \oplus f_k(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \oplus f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \oplus \dots \oplus f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \oplus k = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \oplus f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \oplus \dots \oplus f_k(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Рассмотрим случай суммы нечетного числа  $k$  независимых в совокупности самодвойственных монотонных булевых функций. Доказательство в этом случае проведем методом «от противного». Допустим, что функция  $\sum_{i=1}^k f_i$  является самодвойственной и монотонной. Рассмотрим сумму нечетного числа  $k$  независимых в совокупности самодвойственных монотонных булевых функций  $\sum_{i=1}^k f_i$  как сумму самодвойственной монотонной булевой функции  $f_1$  и суммы четного числа  $k - 1$  оставшихся функций  $\sum_{i=1}^k f_i$ . Множество  $V_2^n$  вершин  $n$ -мерного единичного куба разбивается значениями функции  $f_1$  на 2 подмножества (рис. 1): множество единичных и нулевых значений функции  $f_1$

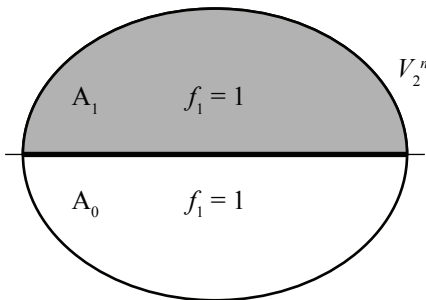


Рис. 1

$$V_2^n = A_0 \cup A_1$$

$$A_1 = \{\bar{x} \in V_2^n \mid f_1(\bar{x}) = 1\}$$

$$A_0 = \{\bar{x} \in V_2^n \mid f_1(\bar{x}) = 0\}$$

Так как  $f_1$  самодвойственная функция, то  $\bar{A}_1 = A_0$ ,

где

$$\bar{A} = \{(\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n) \mid (a_1, a_2, \dots, a_n) \in A, \bar{a}_i = 1 - a_i\}$$

Рассмотрим на этом разбиении значения функции  $\sum_{i=1}^k f_i$ . Сумма четного числа самодвойственных функций является антисамодвойственной функцией

$$\sum_{i=2}^k f_i(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) = \sum_{i=2}^k f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Таким образом, получаем следующее разбиение множества  $V_2^n$  (рис.2):

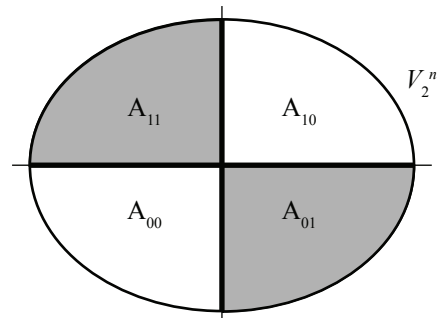


Рис. 2

$$V_2^n = A_{11} \cup A_{10} \cup A_{01} \cup A_{00}$$

$$A_{11} = \left\{ \bar{x} \in V_2^n \mid f_1(\bar{x}) = 1, \sum_{i=2}^k f_i = 1 \right\}$$

$$A_{10} = \left\{ \bar{x} \in V_2^n \mid f_1(\bar{x}) = 1, \sum_{i=2}^k f_i = 0 \right\}$$

$$A_{01} = \left\{ \bar{x} \in V_2^n \mid f_1(\bar{x}) = 0, \sum_{i=2}^k f_i = 1 \right\}$$

$$A_{00} = \left\{ \bar{x} \in V_2^n \mid f_1(\bar{x}) = 0, \sum_{i=2}^k f_i = 0 \right\}$$

$$\bar{A}_{00} = A_{11}$$

$$\bar{A}_{01} = A_{10}$$

Ввиду совокупной независимости функций  $f_1, f_2, \dots, f_k$  по критерию Хаффмана

$$|A_{00}| = |A_{10}| = |A_{01}| = |A_{11}| = 2^{n-2}$$

В то же время вся сумма  $\sum_{i=1}^k f_i$  на этих множествах принимает следующие значения

$$A_{11} \cup A_{00} = \left\{ \bar{x} \in V_2^n \mid \sum_{i=1}^k f_i = 0 \right\}$$

$$A_{01} \cup A_{10} = \left\{ \bar{x} \in V_2^n \mid \sum_{i=1}^k f_i = 1 \right\}$$

Покажем, что функции  $\sum_{i=1}^k f_i$  и  $f_1$  не могут одновременно являться монотонными.

Доказательство проведем методом «от противного».

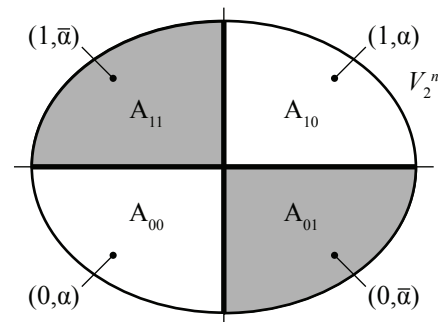


Рис. 3

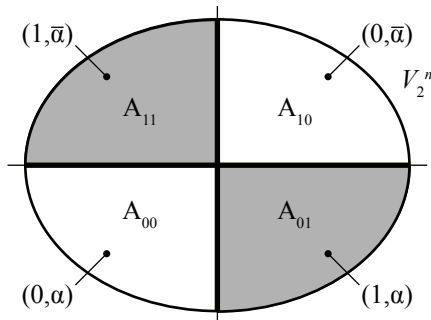


Рис. 4

Не ограничивая общности рассуждения, выберем из множества  $A_{00}$  вершину  $(0, \alpha)$ ,  $\alpha \in V_2^{n-1}$ . Из равенства  $\bar{A}_{11} = A_{00}$  получаем, что  $(1, \bar{\alpha}) \in A_{11}$ . Покажем, что вершина  $(1, \alpha)$  не может лежать во множестве  $A_{10} \cup A_{01}$ .

Допустим, что  $(1, \alpha) \in A_{10}$ . Тогда, так как  $\bar{A}_{10} = A_{01}$ ,  $(1, \bar{\alpha}) \in A_{01}$  (рис. 3).

В этом случае получаем противоречие с монотонностью функции  $\sum_{i=1}^k f_i$  по первому аргументу

$$0 = \sum_{i=1}^k f_i(1, \bar{\alpha}) < \sum_{i=1}^k f_i(0, \bar{\alpha}) = 1,$$

$$0 = \sum_{i=1}^k f_i(0, \alpha) < \sum_{i=1}^k f_i(1, \alpha) = 1.$$

Допустим, что  $(1, \alpha) \in A_{01}$ . Тогда, так как  $A_{01} = \bar{A}_{10}$ ,  $(1, \bar{\alpha}) \in A_{10}$  (рис.4).

В этом случае также получаем противоречие с монотонностью функции  $\sum_{i=1}^k f_i$

$$0 = \sum_{i=1}^k f_i(1, \bar{\alpha}) < \sum_{i=1}^k f_i(0, \bar{\alpha}) = 1,$$

$$0 = \sum_{i=1}^k f_i(0, \alpha) < \sum_{i=1}^k f_i(1, \alpha) = 1.$$

Таким образом  $(1, \alpha) \in A_{11} \cup A_{00}$ .

Это означает, что для любого  $i \in \bar{1}, n$  для любого  $\varepsilon \in \{0, 1\}$

$$((x_1, \dots, x_{i-1}, \varepsilon, x_{i+1}, \dots, x_n) \in A_{11} \cup A_{00}) \Rightarrow ((x_1, \dots, x_{i-1}, \bar{\varepsilon}, x_{i+1}, \dots, x_n) \in A_{11} \cup A_{00}).$$

Вершина  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$   $n$ -мерного единичного куба лежит во множестве  $A_{11} \cup A_{00}$  со всеми своими соседними вершинами  $\{(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \bar{\alpha}_i, \dots, \alpha_n) \mid i \in \bar{1}, n \quad \bar{\alpha}_i = 1 - \alpha_i\}$  – вершины, отличающиеся от нее в одной координате. Эти вершины, в свою очередь, также лежат во множестве  $A_{11} \cup A_{00}$  со всеми своими соседними вершинами. Рассуждая далее аналогичным образом, получим, что все множество  $V_2^n$  лежит во множестве  $A_{11} \cup A_{00}$ . Получаем противоречие с мощностями множеств

$|V_2^n| = 2^n$  и  $|A_{11} \cup A_{00}| = 2^{n-1}$ . Полученное противоречие показывает невозможность существования самодвойственной монотонной булевой функции, совпадающей с суммой нечетного числа независимых в совокупности самодвойственных монотонных булевых функций.

Конец доказательства.

Следующая теорема является облегчением критерия Хаффмана для случая самодвойственных монотонных булевых функций.

**Теорема 5**

*Пусть  $f_1, f_2, \dots, f_k$  самодвойственные монотонные булевы функции от  $k$  аргументов тогда в случае если  $k$  нечетно, то из  $(k - 1)$ -независимости следует независимость в совокупности; в случае если  $k$  четно, то из  $(k - 2)$ -независимости следует независимость в совокупности.*

**Доказательство**

Случай нечетного  $k$ .

Ранее было показано (теорема 3), что из  $(k - 1)$ -независимости самодвойственных монотонных функций при нечетном  $k$  следует  $k$ -независимость.

Случай четного  $k$ .

По теореме 3 из  $(k - 2)$ -независимости следует  $(k - 1)$ -независимость при четном  $k$ .

Покажем, что из  $(k - 1)$ -независимости функций  $f_1, f_2, \dots, f_k$  следует их независимость в совокупности при четном  $k$ .

Множество  $V_2^n$  разбивается значениями функций  $f_1, f_2, \dots, f_{k-1}$  на  $2^{k-1}$  равномошных подмножеств

$$V_2^n = X_{00\dots00} \cup X_{00\dots001} \cup X_{00\dots010} \cup X_{00\dots011} \cup \dots \cup X_{111\dots10} \cup X_{11\dots11},$$

где

$$X_{i_1 i_2 \dots i_{k-1}} = \{\bar{x} \in V_2^n \mid f_1(\bar{x}) = i_1, f_2(\bar{x}) = i_2, \dots, f_{k-1}(\bar{x}) = i_{k-1}\}, i_j \in \{0, 1\}, j \in \bar{1}, k.$$

По свойству самодвойственности функций имеем для любого  $(i_1, i_2, \dots, i_{k-1}) \in V_2^{k-1}$

$$X_{i_1 i_2 \dots i_{k-1}} = X_{\bar{i}_1 \bar{i}_2 \dots \bar{i}_{k-1}} = \{(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \mid (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_{i_1 i_2 \dots i_{k-1}}, \bar{x}_i = 1 - x_i, i \in \bar{1}, n\}.$$

Из  $(k - 1)$ -независимости функций  $f_1, f_2, \dots, f_{k-1}$  по критерию Хаффмана следует, что для любого  $(i_1, i_2, \dots, i_{k-1}) \in V_2^{k-1}$

$$|X_{i_1, i_2, \dots, i_{k-1}}| = 2^{k-(k-1)} = 2.$$

Выпишем значения функций  $f_1, f_2, \dots, f_k$  на этих множествах, упорядочив их по весу вектора значений  $(f_1, f_2, \dots, f_{k-1})$ :

$(x_1, x_2, \dots, x_k)$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	...	$f_{k-1}$
$X_{00\dots00}$	0	0	0	...	0
$X_{00\dots001}$	0	0	0	...	1
...	...	...	...	...	...
$X_{10\dots00}$	1	0	0	...	0
$X_{110\dots00}$	1	1	0	...	0
...	...	...	...	...	...
$\overline{X_{110\dots00}}$	0	0	1	...	1
$\overline{X_{10\dots00}}$	0	1	1	...	1
...	...	...	...	...	...
$\overline{X_{00\dots001}}$	1	1	1	...	0
$\overline{X_{00\dots00}}$	1	1	1	...	1

На множестве  $X_{00\dots0}$  функция  $f_k$  может принимать  $p \cdot 2$  единичных значений  $|\{(x_1, x_2, \dots, x_k) \in X_{00\dots0} | f_k(x_1, x_2, \dots, x_k) = 1\}| = p \cdot 2, p \in \{0, 1/2, 1\}$ .

Тогда, ввиду свойства самодвойственности функции  $f_k$ , на множестве  $\overline{X_{00\dots1}}$  функция  $f_k$  принимает  $(1 - p) \cdot 2$  единичных значений,  $p \in \{0, 1/2, 1\}$ .

Из  $(k - 1)$ -независимости функций  $f_1, f_2, \dots, f_k$  по критерию Хаффмана следует, что вес  $|f_1 f_2 f_3 \dots f_{k-2} f_k| = 2^{k-(k-1)} = 2$ .

Функция  $f_1 f_2 f_3 \dots f_{k-2} f_k$  может принимать единичные значения только на множестве  $X_{11\dots11} \cup X_{11\dots10}$ . Так как на множестве  $X_{11\dots11}$  функция  $f_k$  принимает  $(1 - p) \cdot 2$  единичных значений,  $p \in \{0, 1/2, 1\}$ , а вес ее равен 2, то на множестве  $\overline{X_{00\dots01}} = X_{11\dots10}$  функция  $f_k$  принимает  $2 - (1 - p) \cdot 2 = p \cdot 2, p \in \{0, 1/2, 1\}$  единичных значений.

Аналогично функция  $f_k$  принимает  $p \cdot 2$  единичных значений на всех множествах  $X_{10\dots00}, \dots, X_{00\dots010}$ , на которых вес вектора  $(f_1, f_2, \dots, f_{k-1})$  равен  $(k-2)$ .

Из  $(k - 1)$ -независимости функций  $f_1, f_2, \dots, f_k$  следует, что на множествах, на которых вес вектора  $(f_1, f_2, \dots, f_{k-1})$  равен  $(k - 3)$ , функция  $f_k$  принимает  $(1 - p) \cdot 2$  единичных значений.

Рассуждая далее аналогичным образом, получим чередование веса функции  $f_k$  на множествах  $X_{i_1, i_2, \dots, i_{k-1}}$  по закону:

функция  $f_k$  принимает  $p \cdot 2$  единичных значений на множестве  $X_{i_1, i_2, \dots, i_{k-1}}$ , если вес вектора  $(i_1, i_2, \dots, i_{k-1})$  нечетный;

функция  $f_k$  принимает  $(1 - p) \cdot 2$  единичных значений на множестве  $X_{i_1, i_2, \dots, i_{k-1}}$  если вес вектора  $(i_1, i_2, \dots, i_{k-1})$  четный;

Выпишем значения функций  $f_1, f_2, \dots, f_{k-1}$  и вес функции  $f_k$  на этих множествах, упорядочив их по весу вектора значений  $(f_1, f_2, \dots, f_{k-1})$ :

$(x_1, x_2, \dots, x_k)$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	...	$f_{k-1}$	вес функции $f_k$ на множестве
$X_{00\dots00}$	0	0	0	...	0	$p \cdot 2$
$X_{00\dots001}$	0	0	0	...	1	$(1 - p) \cdot 2$
...	...	...	...	...	...	
$X_{10\dots00}$	1	0	0	...		$(1 - p) \cdot 2$
$X_{110\dots00}$	1	1	0	...	0	$p \cdot 2$
...	...	...	...	...	...	
$\overline{X_{110\dots00}}$	0	0	1	...	1	$(1 - p) \cdot 2$
$\overline{X_{10\dots00}}$	0	1	1	...	1	$p \cdot 2$
...	...	...	...	...	...	
$\overline{X_{00\dots001}}$	1	1	1	...	0	$p \cdot 2$
$\overline{X_{00\dots00}}$	1	1	1	...	1	$(1 - p) \cdot 2$

В случае  $p = 0$  функция  $f_k$  совпадает с функцией  $\sum_{i=1}^{k-1} f_i$ , в случае  $p = 1$  функция  $f_k$  совпадает с функцией  $\sum_{i=1}^{k-1} f_i \oplus 1$ . В обоих случаях функция  $f_k$  совпадает с суммой независимых в совокупности самодвойственных монотонных булевых функций, что невозможно по теореме 4. Получаем  $p = 1/2$ , откуда по критерию Хаффмана следует независимость в совокупности функций  $f_1, f_2, \dots, f_k$ .

Таким образом, из  $(k - 2)$ -независимости самодвойственных монотонных булевых функций следует их  $(k - 1)$ -независимость, и из  $(k - 1)$ -независимости следует их независимость в совокупности при четном  $k$ .

Конец доказательства.

Таким образом, для класса самодвойственных монотонных булевых функций критерий Хаффмана облегчается на один порядок, в случае нечетного числа функций; и на два порядка для случая четного числа функций.

**Теорема 6**  
**Критерий Хаффмана**  
**для самодвойственных монотонных**  
**булевых функций**

Пусть  $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  система самодвойственных монотонных булевых функций  $n$  переменных. Следующие утверждения эквивалентны:

1. система  $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  является регулярной;

2. система функций  $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  обладает следующим распределением весов:

в случае нечетного  $n$  для всех  $1 \leq k \leq n - 1$  и  $1 \leq i_1 < \dots < i_k \leq n$

$$\|f_{i_1} \dots f_{i_k}\| = 2^{n-k};$$

в случае четного  $n$  для всех  $1 \leq k \leq n - 2$  и  $1 \leq i_1 < \dots < i_k \leq n$

$$\|f_{i_1} \dots f_{i_k}\| = 2^{n-k}.$$

Полученные результаты справедливы для более узкого, но практически значимого класса функций – класса равновероятных пороговых булевых функций.

### Библиографический список

1. Дертоузо, М. Пороговая логика / М. Дертоузо. – М.: Мир, 1960.
2. Зуев, Ю.А. Комбинаторно-вероятностные и геометрические методы в пороговой логике / Ю.А. Зуев // Дискретная математика. – 1991. – Вып. 2. – Т. 3. – С. 47–57.

3. Зуев, А.Ю. Пороговые функции и пороговые представления булевых функций / А.Ю. Зуев // Математические вопросы кибернетики. – 1994. – Вып. 5. – С. 5–61.
4. Зуев, А.Ю. Вероятностные методы в пороговой логике: автореф. дисс. ... д-ра физ.-мат. наук / А.Ю. Зуев. – М.: Вычислительный центр РАН, 1998.
5. Никонов, В.Г. Методы компактной реализации биективных отображений, заданных регулярными системами однопольных булевых функций / В.Г. Никонов, А.В. Саранцев // Вестник РУДН. Серия «Прикладная и промышленная математика». – 2003. – № 1. – Т. 2. – С. 94–105.
6. Носов, В.А. Основы комбинаторной теории для инженеров / В.А. Носов. – М., 1990. – С. 41–47.
7. Бурделев А.В. Вопросы независимости пороговых равновероятных булевых функций / А.В. Бурделев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 3(69).

## СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛА $P(1/x)$ В ПРОСТРАНСТВЕ ОБОБЩЕННЫХ ФУНКЦИЙ МЕДЛЕННОГО РОСТА

Н.В. ШИПОВ, доц. каф. высшей математики МГУЛ, канд. физ.-мат. наук

[caf-math@mgul.ac.ru](mailto:caf-math@mgul.ac.ru)

В теории обобщенных функций [1, 2] функционал  $D'$  возникает так же часто (например, при преобразованиях Фурье), как и другие общеизвестные универсальные функции, такие как функция Хевисайда (единичная ступенька), дельта-функция  $\delta(x)$ , функция знака  $sign(x)$  и ряд других [1, 3, 4]. В пространстве  $S'$  обобщенных функций медленного роста операция преобразования Фурье является линейным изоморфизмом, тогда как в пространстве  $D'$  обобщенных функций, определенных над множеством  $D$  финитных бесконечно дифференцируемых функций, эта операция (преобразование Фурье) таковой не является. В связи с этим преобразование Фурье в пространстве  $S'$  находит более широкое применение, в частности при решении задач математической физики. Поэтому представляется интересным более подробное изучение свойств функционала  $P(1/x)$  в пространстве  $S'$  обобщенных функций медленного роста. Пространство  $S$  основных функций состоит из бесконечно дифференцируемых функций, убывающих при  $|x| \rightarrow \infty$  вместе со

всеми производными быстрее любой степени  $1/|x|$ , причем пространство  $D$  плотно в пространстве  $S$  [2].

*Дифференциальные свойства функционала  $P(1/x)$  в пространстве  $S'$  обобщенных функций медленного роста.*

Производная от  $\ln(x)$  в пространстве  $D'$  обобщенных функций совпадает с  $P(1/x)$ ,

$$(\ln(x))', \varphi(x) = (P(1/x), \varphi(x)) =$$

$$= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left( \int_{-R}^{-\varepsilon} \frac{\varphi(x) dx}{x} + \int_{\varepsilon}^R \frac{\varphi(x) dx}{x} \right), \quad (1)$$

где пределы  $+R, -R$  интегрирования определяются размерами ограниченного носителя функции  $\varphi(x)$ , принадлежащей пространству  $D$  [2].

Пусть теперь функция  $\varphi(x)$  принадлежит пространству  $S$ , поэтому интегрирование необходимо проводить по всей числовой оси.

Функция  $f(x) = \ln(x)$  локально суммируема (интегрируема по Лебегу на любом ограниченном борелевском множестве), и на всей числовой оси для нее (при некотором  $n \leq 0$ ) выполнено неравенство

$$\int |f(x)|(1+|x|)^n dx < \infty. \quad (2)$$

Таким образом функция  $\ln(x)$  определяет регулярную обобщенную функцию медленного роста (линейный непрерывный функционал на множестве  $S$ ), причем из свойств этого функционала следует, что все производные этой функции (как обобщенные функции) существуют и непрерывны [2]. Для регулярных обобщенных функций, имеющих разрывы первого рода, существует универсальная формула, выражающая производную обобщенной функции через скачки в точках разрыва [2]. Для функций с разрывами второго рода универсальной формулы нет, так что вычисление производной от  $\ln(x)$  проводим исходя из общего определения производной обобщенной функции

$$(\ln(x)', \varphi(x)) = -(\ln|x|, \varphi'(x)) = \lim_{\delta \rightarrow 0, \varepsilon \rightarrow 0} (\varphi(\varepsilon) \ln \varepsilon - \varphi(-\delta) \ln \delta + \int_{-\infty}^{-\delta} \frac{\varphi(x) dx}{x} + \int_{\varepsilon}^{\infty} \frac{\varphi(x) dx}{x}), \quad (3)$$

где  $\varepsilon > 0, \delta > 0$ . Поскольку функционал в левой части существует, то конечное значение в правой части возможно только при  $\delta = \varepsilon$ . Отсюда получаем выражение

$$(\ln(x)', \varphi(x)) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left( \int_{-\infty}^{-\varepsilon} \frac{\varphi(x) dx}{x} + \int_{\varepsilon}^{\infty} \frac{\varphi(x) dx}{x} \right). \quad (4)$$

Выделяя на действительной оси симметричный интервал интегрирования  $(-R, R)$ , где  $R > 0$ , и переходя к пределу, получаем окончательное выражение

$$(P(1/x), \varphi(x)) = (\ln(x)', \varphi(x)) = \lim_{R \rightarrow \infty} \int_{-R}^R \frac{(\varphi(x) - \varphi(0)) dx}{x}. \quad (5)$$

Используя формулу (5), для производной  $P'(1/x)$  имеем

$$(P'(1/x), \varphi) = -(P(1/x), \varphi') = - \lim_{R \rightarrow \infty} \int_{-R}^R \frac{(\varphi'(x) - \varphi'(0)) dx}{x}.$$

Вводя функцию  $\psi(x) = \varphi(x) - x \varphi'(0) - \varphi(0)$ , после интегрирования по частям получаем

$$(P'(1/x), \varphi) = -(P(1/x^2), \varphi), \quad (6)$$

где

$$(P(1/x^2), \varphi) = \lim_{R \rightarrow \infty} \int_{-R}^R \frac{(\varphi(x) - \varphi(0) - x \varphi'(0)) dx}{x^2}. \quad (7)$$

Аналогичным образом продолжая процесс, приходим к окончательному выражению для функционала производной порядка  $n$  ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ )

$$(P^{(n)}(1/x), \varphi) = (-1)^n n! (P(1/x^{n+1}), \varphi), \quad (8)$$

$$(P(1/x^n), \varphi(x)) = \lim_{R \rightarrow \infty} \int_{-R}^R \frac{(\varphi(x) - \varphi(0) - x \varphi'(0) - \dots - \frac{x^{n-1} \varphi^{(n-1)}(0)}{(n-1)!}) dx}{x^n}. \quad (9)$$

Полученные выражения могут быть использованы в расчетах для оценок производных функционала, а также для установления и проверки различных соотношений между обобщенными функциями в пространстве  $S'$ . Например, функционал (8) удовлетворяет в  $S'$  уравнению

$$x^n P(1/x^n) = 1, \quad (10)$$

поскольку все производные от функции  $x^n \varphi(x)$  порядка не выше  $n - 1$  обращаются в ноль при  $x = 0$ .

Разложение функционала  $P(1/x)$  по ортонормальной системе функций Эрмита

Ортонормальные функции Эрмита (волновые функции гармонического осциллятора) принадлежат пространству  $S$  и могут быть представлены в виде [5]

$$H_{2K+1}(x) = \left( \frac{(2K+1)!}{2^{2K+1} \sqrt{\pi}} \right)^{\frac{1}{2}} \sum_{M=0}^K \frac{(-1)^M (2x)^{2K-2M+1}}{M!(2K-2M+1)!} \times \exp(-x^2/2). \quad (11)$$

Для произвольной обобщенной функции  $f$  из  $S'$  числа

$$a_n(f) = (f, H_n) \quad (12)$$

называются коэффициентами Фурье, а формальный ряд

$$\sum a_n(f) H_n(x) \quad (13)$$

называется рядом Фурье по ортонормальной системе функций Эрмита.

Для того, чтобы  $f$  принадлежала  $S'$ , необходимо и достаточно, чтобы ее коэффициенты Фурье удовлетворяли условию: существуют числа  $p \geq 0$  и  $C$  такие, что

$$|a_n(f)| \leq C (1+n)^p, \quad n = 0, 1, \dots \quad (14)$$

При этом ряд Фурье  $f$  единственен, сходится к  $f$  в  $S'$  (в смысле слабой сходимости) [2].

Как следует из формул (5), (12), при вычислении коэффициентов Фурье  $a_{2K+1}(f)$  для функции  $f(x) = P(1/x)$ , только нечетные степени будут обеспечивать ненулевой вклад в интеграл по действительной оси. По этой причине в (11) приведены только нечетные функции Эрмита, содержащие конечное число нечетных степеней  $x$ . Опуская детали интегрирования, приведем окончательный результат



$$a_{2K+1}(P(1/x)) = ((2K+1)\sqrt{\pi})^{\frac{1}{2}} \times \sum_{M=0}^K \frac{(-1)^M 2^{K-2M+1} (2K-2M-1)!!}{M!(2K-2M+1)!},$$

$$k = 0, 1, 2, \dots \quad (15)$$

где для унификации удобно считать  $(-1)! = 1$ .  
 Отметим, что число слагаемых в сумме для  $a_{2K+1}$  ограничено и не превышает индекс  $k$ .  
 Выражения (14), (15) могут быть использованы для вычисления коэффициентов Фурье по ортонормальной системе функций Эрмита для других обобщенных функций, связанных с  $P(1/x)$ , а также для установления принадлежности этих обобщенных функций пространству  $S'$ .

*Функционал  $Pf(1/|x|^3)$  для  $n = 3$  и его преобразование Фурье*

Введем для  $n = 3$  (по аналогии [2] с  $n = 2$ ) обобщенную функцию  $Pf(1/|x|^3)$  из  $S'$ , действующую по правилу

$$(Pf(1/|x|^3), \varphi) = \int_{|x| \leq 1} \frac{(\varphi(x) - \varphi(0))dx}{|x|^3} + \int_{|x| \geq 1} \frac{\varphi(x)dx}{|x|^3}. \quad (16)$$

Непосредственной проверкой убеждаемся, что эта обобщенная функция удовлетворяет уравнению

$$|x|^2 Pf(1/|x|^3) = 1/|x|. \quad (17)$$

Вычисляем преобразование Фурье от обобщенной функции  $Pf(1/|x|^3)$ , где основная функция  $\varphi(x)$  принадлежит  $S'$ :

$$(F(Pf(1/|x|^3)), \varphi) = (Pf(1/|x|^3), F(\varphi)) =$$

$$= 2\pi \int_0^1 \frac{dr}{r} \int \varphi(\xi) d\xi \int_{-1}^1 ((\exp(i|\xi|r\mu) - 1)d\mu) +$$

$$+ 2\pi \int_1^\infty \frac{dr}{r} \int \varphi(\xi) d\xi \int_{-1}^1 \exp(i|\xi|r\mu) d\mu =$$

$$= \int (c - 4\pi \ln|\xi|) \varphi(\xi) d\xi, \quad (18)$$

где

$$c = \int_1^\infty \frac{4\pi \sin u du}{u^2} + \int_0^1 \frac{4\pi(\sin u - u) du}{u^2}. \quad (19)$$

Таким образом, как следует из (18),  
 $F(Pf(1/|x|^3)) = c - 4\pi \ln|\xi|. \quad (20)$

Функция (20) не является неотрицательной. Таким образом, исходная обобщенная функция  $Pf(1/|x|^3)$  не является положительно определенной обобщенной функцией. Напомним, что согласно теореме Бохнера-Шварца [2] для этого необходимо и достаточно, чтобы она являлась преобразованием Фурье неотрицательной меры медленного роста.

Точно также обобщенная функция  $P(1/x)$  не является положительно определенной обобщенной функцией, поскольку ее преобразование известно [2], и является чисто мнимой функцией.

### Библиографический список

1. Колмогоров, А.Н. Элементы теории функций и Функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1976.
2. Владимиров, В.С. Обобщенные функции в математической физике В.С. Владимиров. – М.: Наука, 1979.
3. Полянин, А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики / А.Д. Полянин. – М.: Физико-математическая Литература, 2001.
4. Выск, Н.Д. Оптимальное восстановление решения волнового уравнения по неточным начальным данным / Н.Д. Выск, К.Ю. Осипенко // Математические Заметки. – 2007. – Т. 81. – Вып. 6. – С. 803–815.
5. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Г. Корн. – М.: Наука, 1980.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ИСПОЛНЯЕМОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ

А.В. ЧЕРЕДНИЧЕНКО, *каф. прикладной математики МГУЛ*

*a.cherednichenko@mail.ru*

Решение сложных задач обработки информации часто сводится к поэтапному решению более простых подзадач, которые, в свою очередь, уже решены с применением извест-

ных методов и средств обработки данных. Как правило, эти решения оформлены (или могут быть оформлены) в виде отдельных программных компонент. Конкретное реше-

ние сложной задачи сводится к созданию некой исполняемой среды (далее *ИС*), которая объединяет отдельные компоненты в единый программный продукт. Сложность заключается в том, что программных реализаций, решающих каждую подзадачу, может оказаться несколько, причем каждая из них обладает своими преимуществами и недостатками. В данной статье описывается технология создания *ИС*, которая позволяет с минимальными затратами на реализацию адаптировать к *ИС* большинство имеющихся компонентов, делая их доступными пользователю *ИС*. Эту технологию можно охарактеризовать следующими принципами:

1. Не требуется изменение компонента при подключении его к *ИС*.
2. *ИС* не изменяется при подключении очередного программного компонента.
3. Обмен данными между *ИС* и программными компонентами унифицирован.
4. Для каждого компонента создается библиотека-оболочка (*wrapper*), адаптирующая ввод-вывод программного компонента к унифицированному вводу-выводу *ИС*.
5. *ИС* предоставляет пользователям возможность создания сценариев использования подключенных компонентов.

Например, технология *CORBA* призвана решать задачи интеграции различных программных компонентов, но это лишь протокол (описание протокола и его реализация) для взаимодействия компонентов. Целью реализованного подхода является создание средства описания протокола, сам протокол и механизмы его использования.

В данной работе областью приложения описанного подхода является компьютерная лингвистика. Известно, что отдельные этапы задачи автоматизации обработки текстов на естественном языке (далее *ЕЯ*) уже решены различными способами многими коллективами. Конкретной задачей может являться автоматизация процесса документирования в какой-либо выбранной отрасли – создание специализированного лингвистического процессора (далее *ЛП*) для анализа и синтеза текстов на естественном языке (далее *ЕЯ-текстов*). Реализация описываемого подхода в рамках *ИС* для интеграции компонентов лингвистичес-

кого процессора (компонентами *ЛП* могут являться как анализаторы, так и синтезаторы информации на *ЕЯ*) позволяет использовать уже существующие компоненты для создания целевой системы автоматической обработки текстов. Также созданная *ИС* дает возможность сравнить уже подключенные компоненты на одинаковых наборах *ЕЯ-текстов*. После проведения сравнительного анализа можно определить точный состав компонентов и словарей, которые будут наиболее эффективно решать поставленную задачу.

### Введение

В настоящее время все более актуальным становится повторное использование уже существующих компонентов, причем это касается как программного обеспечения (*ПО*), так и приборов (под словом «компонент» в применении к приборам понимается не только элементная база прибора, но и алгоритмы его работы, и функционально выделенные части прибора, решающие конкретную подзадачу).

Если рассматривать разработку *ПО*, то будет понятно, что использование уже готовых библиотек позволяет получать конечный результат на порядок быстрее и с уже заранее известными характеристиками. К примеру, используя компонент *program options* библиотеки *boost* можно достаточно быстро и легко создать консольное приложение с развитым анализатором параметров командной строки. Также можно привести в качестве примера библиотеку *MFC*, использование которой практически незаменимо при создании приложений для ОС *Windows*. При создании приборов использование уже существующих компонентов является естественным решением. К примеру, создание приборов для детекции наличных денежных средств подразумевает использование единых алгоритмов для распознавания валидности предъявленных купюр.

Естественно, сама возможность использования готовых решений зависит от исходной задачи – может ли быть проведена ее декомпозиция с целью получения нескольких выделенных подзадач. Если это возможно – необходимо провести поиск существующих решений. Например, создание системы авто-

матической обработки текстов (АОТ-системы) можно разбить на следующие подзадачи (подобной подсистемой может быть, например, система машинного перевода, или поисковая система):

1. Разработка и ведение глоссария предметной области.

2. Разработка и использование ЛП для анализа существующих документов на основе формализованных (для генерации) и неформализованных или слабоформализованных (для анализа) источников данных по заданным правилам.

3. Разработка и использование ЛП для генерации документов по заданным правилам.

Как уже упоминалось в начале, необходимо разрабатывать ЛП, максимально используя существующие компоненты. Рассмотрим выделенные подзадачи на примере создания анализатора сообщений на естественном языке о дорожных пробках. Типичное предложение, описывающее пробку. На Дмитровском шоссе от 3-го Нижнелихоборского проезда до Бескудниковского бульвара в сторону центра, длина 1,2 км, длится уже 13 ч 4 мин.

#### **Разработка и ведение глоссария предметной области**

Для начала введем определение: *глоссарий* – словарь узкоспециализированных терминов в какой-либо отрасли знаний. В данном случае мы рассматриваем глоссарий конкретной предметной области – дорожные пробки. Введем объект *пробка* и несколько его атрибутов: *длина, направление, точка начала и точка окончания*.

#### **Разработка и использование ЛП**

ЛП существуют двух типов: модульные и интегральные. В силу особенностей разработанного подхода мы будем рассматривать ЛП модульного типа. В них, как правило, выделяют следующие компоненты: морфологический, синтаксический и семантический. Мы ограничимся рассмотрением ЛП для русского языка. Для решения поставленной задачи необходимо будет описать сценарий (суть программу), осуществляющий вызов определенных компонентов и обрабатывающий ре-

зультат их работы. Совокупность сценария и используемых компонентов будет считаться ЛП, анализирующим сообщения определенного вида на ЕЯ.

Считается, что задача, решаемая морфологическим компонентом ЛП, решена полностью (как анализ, так и синтез словоформ осуществляется автоматически на основе имеющихся словарей). Существующие реализации морфологического компонента ЛП могут отличаться средой исполнения и полнотой информации, предоставляемой об анализируемых лексемах. К описываемой ИС подключены три морфологических компонента, различающиеся лишь особенностями реализации (отличия в возвращаемых грамматических признаках можно считать несущественными – единственное, чем они отличаются, это наличием информации об ударении в слове). Наиболее удобным представляется использование компонента группы aot.ru [1] – он обладает наименьшим количеством ограничений и достаточно удобным программным интерфейсом.

Синтаксические компоненты ЛП, являются более сложными в реализации и применении. Результатом их работы при проведении анализа исходного текста является синтаксическая структура анализируемых предложений, представленная в виде дерева зависимостей. Рассмотрим основные принципиальные отличия двух алгоритмов синтаксического анализа, подключенных к системе.

Синтаксический компонент aot.ru [1] – анализатор, который не использует модели управления для построения дерева зависимостей исходного предложения. Компонент использует правила, закодированные его разработчиками. Это является проблемой в случае активного использования конструкций языка, не предусмотренных реализацией. С другой стороны, компонент GEngine [2] самостоятельно генерирует правила синтаксического анализа текстов (модели управления – далее МУ) на основе анализа корпуса текстов с применением базовых лингвистических знаний. Это позволяет получать МУ, построенные для конкретной предметной области. Также данный компонент учитывает частотные характеристики каждой МУ, полученной при ее автоматическом формировании.

Из сравнения видно, что в нашем примере анализа сообщений о пробках можно не проводить дополнительную работу, связанную с генерацией МУ для применения синтаксического компонента GEngine, и остановиться на использовании алгоритма от группы разработчиков aot.ru.

После выбора компонентов необходимо подключить их к ИС. Используя универсальный формат вызова (являющийся особенностью данной ИС), необходимо создать промежуточную интеграционную библиотеку (далее просто *библиотека*), осуществляющую вызов компонентов. Вызов этой библиотеки будет осуществляться ИС в процессе выполнения сценариев анализа. Программный интерфейс библиотеки является неизменным и единым для всех подключенных компонентов. Фиксированная сигнатура вызова библиотеки обеспечивает неизменность ИС при подключении новых компонентов либо при изменении реализации существующих. Единый универсальный набор входных и выходных параметров библиотеки: идентификатор компонента, к которому выполняется обращение; входные параметры для компонента в виде строки; результаты работы компонента в виде строки; описание произошедшей ошибки (если возникла). Семантика входных сообщений определяется сценарием анализа, который посредством ИС вызывает библиотеку. Таким образом, для указанных компонентов библиотека будет являться интеллектуальной оболочкой, принимающей и передающей текстовые строки. В нашем примере входным параметром будет являться предложение на естественном языке. Результат работы компонента (дерево зависимостей) библиотека должна будет сериализовать в текстовую строку вида (данная строка будет являться выходным параметром библиотеки):

ГЕНИТ\_ИГ = сторону центра  
 ГЕНИТ\_ИГ = ч 4 мин  
 ГЛ\_ЛИЧН = , длится уже 13 ч 4 мин.  
 ПГ = На Дмитровском шоссе  
 ПГ = в сторону центра  
 ПГ = до Бескудниковского бульвара  
 ПГ = от 3-го Нижнелихоборского проезда  
 ПРИЛ\_СУЩ = 3-го Нижнелихоборского проезда

ПРИЛ\_СУЩ = Бескудниковского бульвара  
 ПРИЛ\_СУЩ = Дмитровском шоссе  
 СЛОЖ\_ЧИСЛ = 1, 2  
 ТИРЕ = На Дмитровском шоссе от 3-го Нижнелихоборского проезда до Бескудниковского бульвара в сторону центра, длина – 1, 2 км  
 ЧИСЛ\_СУЩ = 1, 2 км  
 ЧИСЛ\_СУЩ = 4 мин

После применения морфологического и синтаксического компонентов к набору предложений (каждое предложение описывает одну дорожную пробку) в сценарии анализа необходимо описать правила, в результате которых из построенного дерева зависимостей будет выделена информация об интересующем нас объекте *пробка*. Такие правила достаточно просты, и они описываются как для объекта, так и для каждого его атрибута. Так, например, для выделения атрибута *длина* в дереве зависимостей ищется группа «ЧИСЛ\_СУЩ», в которой существительное является одним из набора «км,м» (без учета регистра).

### Выводы и заключение

Использование уже существующих компонентов позволило реализовать целевой ЛП достаточно быстро, без применения специальных знаний о грамматике используемого языка и без длительной реализации вспомогательных механизмов. Естественно, каждая задача требует в своем роде уникального решения. Однако имея в своем распоряжении уже готовые к использованию реализованные компоненты и механизмы для их использования, можно целиком сосредоточиться на исходной задаче. Причем, для ее решения не обязательно досконально изучать алгоритмы работы используемых компонентов и иметь какие-то специфические знания (в нашем примере – из области компьютерной лингвистики).

### Библиографический список

1. Сокирко, А. Семантические словари в автоматической обработке текста (по материалам системы ДИАЛИНГ: дисс. ... канд. техн. наук / А. Сокирко. – М., 2001.
2. Одинцев, Н.В. Адаптивный синтаксический анализатор русского языка: дисс. ... канд. физ.-мат. наук / Н.В. Одинцев. – М., 2003.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА

А.Н. САМОЛДИН, *проф. каф. стратегического маркетинга МГУЛ, канд. техн. наук,*  
С.Л. СЛАДКОВ, *соискатель каф. стратегического маркетинга МГУЛ*

*samoldin@mgul.ac.ru; ssls@list.ru*

**П**роблемы определения эффективности использования инновационного потенциала в России обусловлены во многом различными подходами в отечественной и зарубежной практике к самому определению «инновации». В российской практике инновация рассматривается как результат инновационной деятельности. В зарубежной практике под инновацией понимается деятельность, процесс изменений.

Инновационный потенциал компании нельзя ограничивать только внутренними ресурсами, а следует рассматривать его в совокупности с факторами внешней среды.

Рассмотрим исследовательские подходы к инновационному потенциалу. Исследователи, как правило, рассматривают потенциал предприятия в разрезе нескольких предметных составляющих – потенциалов. Соответственно оценка потенциала предприятия также осуществляется в разрезе каждой составляющей. В качестве иллюстрации сказанного можно привести позицию Г.С. Мерзликиной и Л.С. Шаховской, согласно которой к предметным составляющим потенциала предприятия можно отнести [1, с.63]:

- рыночный потенциал,
- производственный потенциал,
- финансовый потенциал.

Современные условия хозяйствования требуют к перечисленным добавить еще одну предметную составляющую – инновационный потенциал.

Формулируя определение «инновационный потенциал хозяйствующего субъекта», мы должны исходить из трех основных положений.

Во-первых, предприятие должно обладать ресурсами, достаточными для осуществления инновационной деятельности.

Во-вторых, предприятие должно быть готово (в смысле наличия желания) к осуществлению инновационной деятельности.

Если у предприятия есть необходимые ресурсы, но оно не вкладывает их в собственные научно-исследовательские разработки, то об инновационном потенциале говорить нельзя.

В-третьих, обладая необходимыми ресурсами и находясь в состоянии готовности к осуществлению инновационной деятельности, предприятие должно находиться в условиях, которые позволяют достичь желаемого эффекта от вложения ресурсов предприятия в инновационную сферу.

С учетом изложенного считаем возможным сформулировать следующее определение понятия «инновационный потенциал хозяйствующего субъекта». *Инновационный потенциал хозяйствующего субъекта – это совокупность ресурсов предприятия, предназначенных для их использования в инновационной деятельности самого обладателя ресурсов, либо другого хозяйствующего субъекта.*

Из представленного определения следует, что собственные ресурсы могут быть использованы предприятием как для собственных инновационных проектов, так и для инвестирования других предприятий. Это касается прежде всего субъектов венчурного финансирования. Мы определили ресурсы как «предназначенные для их использования в инновационной деятельности», так как это отражает важную черту предприятия – его готовность осуществлять инновационную деятельность. Из данного нами определения «инновационный потенциал хозяйствующего субъекта» мы можем вывести определение «инновационный потенциал малого предприятия», под которым наравне со сказанным понимается еще и такое качество малого предприятия, как инвестиционная привлекательность. То есть под *инновационным потенциалом малого предприятия мы можем понимать совокупность ресурсов малого предприятия, а также его инвестиционную привлекательность для инвесторов.*

Таким образом, содержание инновационного потенциала может зависеть еще и от того, осуществляет ли предприятие инновационную деятельность за счет собственных ресурсов, либо рассчитывает на привлечение внешних инвестиций. В последнем случае можно говорить о том, что предприятие обладает инновационным потенциалом, если оно привлекает своими будущими и текущими проектами инвесторов. При отсутствии собственных ресурсов возможности привлечь инвесторов, в том числе и государственные средства, говорить о наличии инновационного потенциала будет не совсем верно.

Среди исследователей не сложилось также единого мнения относительно методики оценки эффективности использования инновационного потенциала хозяйствующего субъекта. Так, некоторыми исследователями предлагается определять инновационный потенциал компании через инновационный потенциал производимых товаров (работ, услуг). Специалистами Российского общества развития инноваций и технологий [2] разработана методика оценки инновационного потенциала, которая заключается в следующем. Инновационный потенциал товара, услуги, группы товаров определяется по формуле

$$I = \Pi_{\text{Произв.}} \times \Pi_{\text{Потр.}}$$

где  $I$  – инновационный потенциал;

$\Pi_{\text{Произв.}}$  – возможный объем производства инновационного товара (услуги), измеряемый в рублях;

$\Pi_{\text{Потр.}}$  – возможный объем потребления инновационного товара (услуги), измеряемый в рублях.

В рамках этой методики инновационный потенциал определяется наличием производства или возможного производства инновационных товаров и услуг на территории данной области или региона. По мнению авторов данной методики, ее использование позволяет:

- определять наиболее перспективные направления инновационного развития относительно друг друга, в том числе и в сравнении с уже существующими товарами и услугами;

- определять приоритетные направления инновационной деятельности, а также

поддержки ее со стороны венчурных и государственных инвестиций по критерию потенциальных доходов, в том числе поступлений в бюджет;

- косвенно оценить бюджетные поступления от результатов инновационной деятельности по конкретному товару (услуге), а также по всей номенклатуре товаров и услуг – для региона.

Условной величиной измерения инновационного потенциала является инновационная единица, которая определяется по формуле

$$1 \text{ инновационная единица (1 ие)} = 1 \text{ руб.}^2.$$

Данная методика заслуживает внимания в случаях, когда целью исследования является определение инновационного потенциала не всего предприятия в целом, а производимой им продукции. Она не может использоваться для определения потенциала инновационной инфраструктуры.

Потенциал инновационной инфраструктуры складывается из ресурсных возможностей каждой организации инновационной инфраструктуры. Соответственно, чем большими ресурсами обладают эти организации, тем выше инновационный потенциал всей инновационной инфраструктуры. В связи с этим определение инновационного потенциала инновационной инфраструктуры без определения ресурсов организаций инновационной инфраструктуры невозможно. Назовем эти ресурсы *инновационными ресурсами*, то есть такими, которые позволяют определить организацию именно как организацию инновационной инфраструктуры. *Инновационными можно признать те кадровые, материальные, информационные и другие ресурсы, которые предназначены для создания условий осуществления инновационной деятельности хозяйствующими субъектами.*

По нашему мнению, в контексте исследования инновационного потенциала инновационную инфраструктуру необходимо исследовать с учетом следующих аспектов.

Во-первых, необходимо количественно оценить те инновационные ресурсы, которыми обладают предприятия инновационной инфраструктуры.

Во-вторых, необходимо оценить эффективность использования этих инновационных ресурсов, так как сам факт их наличия не всегда означает максимальную реализацию ресурсных возможностей. То есть стратегия развития инновационных предприятий должна формироваться с учетом эффективности использования инновационного потенциала инновационной инфраструктуры.

Можно сказать, что инновационный потенциал малого предприятия во многом определяется эффективностью использова-

ния инновационной инфраструктуры. В свою очередь эффективность использования инновационной инфраструктуры во многом определяется доступностью ресурсов самой инфраструктуры.

#### Библиографический список

1. Мерзликина, Г.С. Оценка экономической состоятельности предприятия: монография / Г.С. Мерзликина, Л.С. Шаховская. – Волгоград: ВолгГТУ, 1998.
2. Российское общество развития инноваций и технологий ООО «РОРИТ» // [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.rorit.ru>

## РОЛЬ КОНТРОЛЛИНГА В ФОРМИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛПК

В.И. КОНКОВ, доц. Архангельского ГТУ, канд. экон. наук

*konkov@atknet.ru*

Стратегия развития лесопромышленного комплекса РФ на период до 2020 г. предусматривает увеличение продукции глубокой переработки древесины, где ведущее место отводится целлюлозно-бумажной промышленности. Планируемая потребность в инвестициях в предварительной оценке на период 2008–2020 гг. на ЦБП составляет 635 млрд руб. Это может служить ориентиром для стратегического планирования на предприятиях лесопромышленного комплекса.

Рассматривая перспективы и основные факторы развития отрасли, нельзя не отметить, что предприятия ЛПК испытывают проблемы с обеспечением сырьем, производственными мощностями, спросом на продукцию, инвестициями. Все это должно быть учтено при разработке стратегических планов. Традиционно сложившиеся подходы в планировании здесь уже не срабатывают. В теории и практике все большее внимание уделяется балансовым моделям и методам. Обширный инструментарий для этого представляет контроллинг.

Контроллинг как поддерживающая функция управления все больше привлекает внимание современных руководителей предприятий. Неожиданные и быстрые изменения во внешней и внутренней среде требуют корректировки ранее разработанных планов. При

этом неизменными могут оставаться стратегические цели предприятия. Одной из проблем стратегического планирования является определение показателей достижения целей и измерителей этих показателей. Исследования показали, что на сегодня существует большое разнообразие показателей, используемых в системе контроллинга. Автором систематизировано более 90 аналитических показателей, используемых в системе показателей для целей оперативного и стратегического контроллинга. Большое количество показателей затрудняет их восприятие и интерпретацию. На практике рекомендуется использовать их не более 7–9. В данной статье рассмотрим систему показателей применительно к стратегическому контроллингу.

Стратегический контроллинг ориентирован на решение следующих проблем [1, с.162].

1. Проверка стратегических планов на их полноту и реализуемость.
2. Текущий контроль «критических» внутренних и внешних условий, лежащих в основе стратегических планов.
3. Контроль стратегически важных решений исходя из временных параметров.
4. Контроль важных этапных целей при реализации стратегически важных предпосылок исходя из периода времени.

5. Текущий контроль оперативных действий в отношении возможных стратегически вредных побочных и результативных действий.

6. Проверка стратегической ситуации организации на основе результатов анализа, предпринимаемая регулярно или в соответствии с индивидуально установленными промежутками времени.

7. Периодическая проверка разграничения стратегических единиц организации, а также используемых для этих целей критериев.

8. Периодический контроль определяющих для стратегических решений принципов деятельности организации.

На сегодня не существует единого устоявшегося определения термина контроллинг. Но все исследователи не исключают того, что это интегрированная система информационно-аналитической поддержки управления, нацеленная на достижение целевых показателей. Для практического применения стратегического контроллинга важно правильно выбрать систему показателей исходя из стратегических целей развития предприятия. В зарубежной практике накоплен большой опыт в разработке и применении систем показателей. Система показателей выстраивается под конкретное предприятие и позволяет выявить не только его стратегический потенциал, но и слабые места.

Анализ систем показателей, применяемых в зарубежной практике, выявил, что большая их часть ориентирована на монетарные цели предприятия. Для стратегического управления этого недостаточно, система показателей должна включать сбалансированный набор монетарных и немонетарных показателей. Сбалансированная система показателей (ССП), предложенная американскими учеными Нортоном и Капланом, направлена на увязку показателей в денежном выражении с операционными измерителями таких аспектов деятельности предприятия, как удовлетворенность клиентов, бизнес-процессы, инновационная активность, меры по улучшению финансовых результатов [2, с.57].

Стратегия развития предприятия с позиции СПП охватывает четыре проекции:

– финансовая проекция – определяет финансовые цели деятельности предприятия;

– проекция потребителей – описывает требования определенной группы потребителей, удовлетворение которых позволит достичь финансовых целей;

– проекция внутренних бизнес-процессов – описывает способ создания потребительской стоимости;

– проекция обучения и роста – обозначает необходимый для эффективного выполнения заданных бизнес-процессов уровень инфраструктуры предприятия.

На практике названия и содержание проекций могут варьироваться. Проекция СПП выстраиваются по цепочке причинно-следственных взаимосвязей. Причинно-следственные взаимосвязи измеряются при помощи системы показателей результатов (запаздывающие индикаторы) и драйверов результатов (лидирующие индикаторы).

ССП может быть использована для разработки системы показателей для управления предприятием, поскольку имеет ряд достоинств [2, с.155]:

– охватывает основные аспекты деятельности предприятия, успех в которых означает успешность развития в целом;

– в рамках одной системы объединяются монетарные и немонетарные показатели;

– позволяют наглядно представить структуру целей и их измерители;

– упрощает увязывание целей с целевыми показателями;

– позволяет построить цепочку целевых показателей по принципу причинно-следственных связей;

– позволяет соединить стратегические показатели с оперативными.

Отечественные теоретики и практики отмечают, что СПП является наиболее приемлемой для отечественных предприятий, но ее внедрение сопряжено с проблемами, обусловленными особенностями российских рыночных условий. На крупных предприятиях руководители структурных подразделений ориентированы на достижение одной из подцелей предприятия. Может сложиться ситуация, когда эти подцели не сбалансированы и не ориентированы на стратегическую цель в видении руководства предприятия.



**Аналитические показатели в стратегическом контроллинге**

Наименование показателя	Формула	Возможность расчета		Возможность сравнения	
		план	факт	план	факт
<b>Затраты</b>					
Цена капитала	$[\text{Доля заемных средств} \times \text{Цена (стоимость использования) заемных средств}] + [\text{Доля собственного капитала} \times \text{Цена (стоимость использования) собственного капитала}]$	+/-	+/-	+/-	+/-
Цена источника «Заемные средства»	Средняя процентная ставка $\times$ Средняя величина заемных средств	+/-	+/-	+/-	+/-
Цена собственного капитала	Безрисковая доходность + (Рыночная премия за риск $\times$ Бета-коэффициент)	-	-	-	-
<b>Прибыльность</b>					
Рост компании в сравнении с ростом рынка	$(\text{Рост компании} - \text{Рост рынка}) / \text{Рост рынка} \times 100$	-	+/-	-	+/-
Экономическая прибыль – Процент на капитал (калькуляционный процент)	Чистая производственная прибыль – (Средневзвешенная цена капитала $\times$ Капитал)	+/-	+/-	+/-	+/-
Экономическая прибыль – диапазон значений	Суммарный капитал $\times$ [(Чистая производственная прибыль/Суммарный капитал) – Цена капитала]	+/-	+/-	+/-	+/-
Экономическая добавленная стоимость – Процент на капитал	Чистая производственная прибыль – (Средневзвешенная цена капитала $\times$ Капитал)	+/-	+/-	+/-	+/-
Экономическая добавленная стоимость – Диапазон значений	Суммарный капитал $\times$ [(Чистая производственная прибыль/Суммарный капитал) – Цена капитала]	+/-	+/-	+/-	+/-
Ставка внутренней доходности	Интерполяция	+/-	+	+/-	+
<b>Рынок</b>					
Индекс доли рынка	Доля рынка в регионе (зоне, области)/Доля рынка в стране $\times 100$	+	+/-	+	+/-
Фактор рыночного успеха	Прибыльность/Индекс доли рынка	+	+/-	+	+/-
<b>Трудовые ресурсы</b>					
Индекс удовлетворенности работников	Экспертным путем	+/-	+/-	+/-	+/-

Условные обозначения: План – плановое значение; Факт – фактическое значение; Факт п.п. – фактическое значение прошлого периода; + – возможно, значение показателя может быть найдено или возможно его сравнение; +/- – возможно, но с ограничениями – может быть найдено приблизительно по причине недостаточной информации; – – невозможно – значение показателя не может быть найдено

Проблемы внедрения и использования ССП частично могут быть решены путем выделения ключевых показателей эффективности (КПЭ). КПЭ – это количественные показатели, отражающие наиболее важные параметры деятельности. В системе управления КПЭ отражают стратегические цели предприятия и распределяются по всем уровням управления в соответствии с полномочиями и зоной ответственности руководителей

структурных подразделений. Сбалансированность целей может быть достигнута путем последовательной декомпозиции стратегической цели и построения дерева подцелей. По каждой подцели определяется показатель, которым будет определяться достижение подцели. По каждому показателю устанавливается критериальное значение, определяющее успешность достижения подцели. Последние будут являться ключевыми показателями эф-

фективности как для структурных подразделений, так и для предприятия в целом.

При разработке перечня КПЭ и их критериальных значений необходимо учитывать взаимосвязь показателей и взаимосвязь их критериальных значений. Это исключит взаимоисключающие критериальные значения, которые не всегда видны при разработке дерева целей. Таким образом, система показателей будет сбалансирована.

В таблице приведены аналитические показатели по четырем направлениям, соответствующим классической ССП [2].

Исходя из особенностей конкретного предприятия, его масштабов, сформулированных стратегических целей количество показателей может быть уменьшено до 7–9.

Необходимо отметить, что ССП и КПЭ являются инструментами в координационно-

навигационной концепции контроллинга и применяются в оперативном и стратегическом контроллинге. В последнее время в контроллинге формируется концепция стратегической навигации, где больше внимания уделяется стратегическому управлению. Предполагается, что в перспективе решение задач оперативного контроллинга будет автоматизировано, и контроллеры смогут больше внимания уделять созданию и внедрению инструментов для количественного измерения стратегических целей и потенциала предприятия.

**Библиографический список**

1. Анискин, Ю.П. Планирование и контроллинг / Ю.П. Анискин. – М.: Омега-Л, 2005. – 280 с.
2. Дедов, О.А. Методология контроллинга и практика управления крупным промышленным предприятием: учеб. пособие / О.А. Дедов. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 248 с.

**КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ВЫПУСКНИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ВУЗОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

В.И. ИГНАТОВ, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ, канд. техн. наук

[igvatoww@inbokx.ru](mailto:igvatoww@inbokx.ru)

Технические дисциплины при подготовке специалистов нашего профиля формируют значительный объем интеллектуального потенциала, необходимого выпускникам для проектирования и эксплуатации машин.

Интеллектуальный потенциал – это основной багаж, который накапливает студент во время учебы, чтобы обеспечить себе конкурентоспособность на рынке труда в непростое время.

**Потребности** рынка труда в таких специалистах достаточно стабильны, однако **требования** к ним в последние годы существенно изменились.

При формировании содержания и технологии преподавания базовых технических дисциплин необходимо понимать новые тре-

бования рынка и опираться на определенные закономерности, позволяющие видеть изначальную суть.

Рассмотрим некую социальную систему.

В современном понятии **социальная система** – это целостная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих социальных субъектов и отношений при производстве, распределении, обмене и потреблении товаров и услуг.

**Вход** в систему будем рассматривать как **потребности П** этой системы, а **выход** – как ее **возможности В** (рис. 1).

Возможны три основных состояния системы по характеристикам **вход–выход**: 1)  $P = B$ ; 2)  $P > B$ ; 3)  $P < B$ .

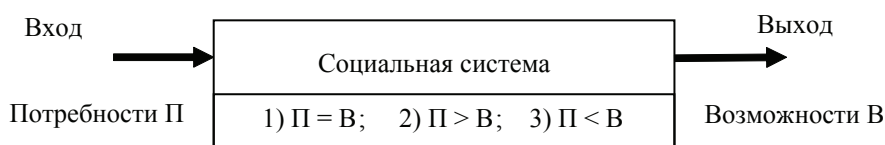


Рис. 1. Общая модель функционирования социальной системы

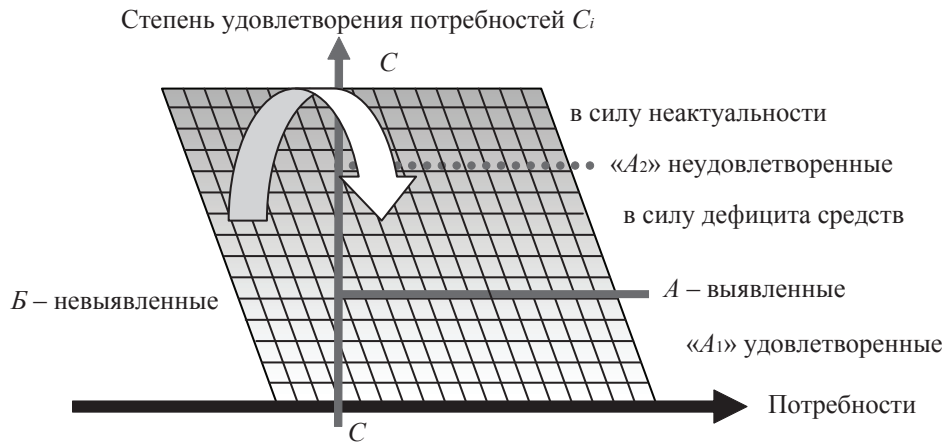


Рис. 2. Схема формирования матрицы потребностей системы

В первом случае система находится в равновесии, что затрудняет и даже тормозит ее *развитие*. Во втором случае прессинг **потребностей П** требует развития **возможностей В** и ведет к развитию системы.

Усечение (преднамеренное или непреднамеренное) потребностей П ведет к свертыванию даже имеющихся, но неостребованных возможностей и деградации системы в тех сферах, в которых происходит это усечение (состояние 3). Такие ситуации возникают при кризисах.

Тем не менее, по мере удовлетворения одних потребностей человек раскрывает другие. Это позволяет утверждать, что в общем потребности безграничны. Особенно активно расширение спектра потребностей происходит в последнее время (это развитие связи, нанотехнологий и др.).

Сами потребности бывают выявленные, невыявленные, удовлетворенные или неудовлетворенные по каким-либо причинам (рис. 2).

**Под матрицей потребностей** (запросов) определенной системы будем понимать отображение потребностей этой системы в производстве различных видов продукции (процессов, изделий, услуг, идей и т.п.) в определенный момент времени [1]. Ее можно представить в виде двухмерного или многомерного множества, каждая ячейка которого однозначно определяет вид и параметры конкретной потребности. Ось С–С характеризует степень удовлетворения выявленных *i*-х потребностей этой системы

**Выявленные потребности** – это потребности, которые выявлены и обеспечи-

ваются в рассматриваемый момент времени фактическими возможностями системы для их реализации. Именно в этом секторе происходит наиболее ожесточенная конкуренция. Конкурентоспособности (КС) в секторе добиваются в основном за счет повышения качества продукции различными методами. Это чаще всего выражается в ужесточении требований к технологиям, процессам производства, параметрам продукции.

**Невыявленные потребности** – это потребности, которые к рассматриваемому моменту времени не выявлены или не обеспечиваются возможностями системы. Как показывает практика, большие интеллектуальные потенциалы направлены на поиск новых, не известных до настоящего времени потребностей, а также на раскрытие потребностей недовыявленных. Выявление и реализация этих потребностей (производство абсолютно новой, никем ранее не производимой продукции или услуг) часто дает производителю большие конкурентные преимущества.

Производители в настоящее время используют два **основных** направления повышения КС, которые сейчас господствуют практически во всех сферах деятельности. Это работы по **повышению качества** традиционной продукции (выявленных потребностей) и **поиск новых ее видов**. Только следуя этим тенденциям, можно эффективно решать вопросы КС, в том числе и при подготовке специалистов в вузе.

Представим теперь динамику развития модели социальной системы, показан-

ной на рис 1. Рассмотрим эту модель для конкретного вида **выявленной** потребности (продукции) в течение периода времени  $T_0 - T_3$ . Мы уже выяснили, что основным направлением обеспечения *КС* такой потребности (продукции) является повышение уровня ее качества.

Входом будут служить **требуемый рынком уровень качества** (ТРУК) этой продукции (ось  $K_{тр}$ ), а выходом – возможности предприятия, т.е. **фактический уровень качества** (ФУК) выпускаемой этим предприятием продукции –  $K_{ф}$ .

В силу технического прогресса требования рынка изменяются и за период времени  $T_0 - T_4$  ТРУК увеличиваются. Отражением растущих требований рынка будет какая-то линия  $M-M$ , разделяющая все множество состояний на две области: область *КС* и область неконкурентоспособности *НКС* (рис.3).

Рассматривая поставленную задачу, мы не случайно затрагиваем вопрос о конкуренции и *КС*. В настоящее время эта проблема рассматривается во всех странах на всех уровнях социальных систем как одна из важнейших.

Впервые она явным образом была поставлена в послевоенной экономике Японии. Затем, когда Япония стала экономически «беспокоить» Америку, способствующую появлению «японского чуда», проблема стала выходить на первый план и в США. Американцы осознали важность этой проблемы, возвели ее в ранг национальной политики, а в 1986 г. был создан Совет по политике в области *КС* США на мировом рынке, задачей которого являлось разработка и реализация курса на **единоличное мировое лидерство США в вопросах *КС* во всех сферах деятельности**. Результаты развития этой страны говорят сами за себя.

Россия только недавно столкнулась с этой проблемой и существенно (на десятилетия) отстает в решении задач *КС*. «Программа развития конкуренции в Российской Федерации» была принята только в 2009 г. [4], причем, в отличие от американской, германской, японской программ большинство ее пунктов носят декларативный характер и «списаны» с них. По различным причинам Россия из

182 стран мира имеет относительно низкий рейтинг. По «индексу развития человеческого потенциала» Россия в 1992 г. занимала 52 место, в 1995 – 114, в 1998 – 72, в 2003 – 62 и в 2009 г. – 71.

Но мы будем говорить об этой проблеме только применительно к нашим задачам повышения *КС* выпускаемых специалистов. Эта проблема все чаще муссируется на различных уровнях начиная с правительственного.

Представим теперь **модель развития системы**, показанной на рис. 1, в несколько ином виде. Рассмотрим такую модель в динамике для конкретного вида **выявленной** потребности (продукции) в течение времени  $T_0 - T_3$ . Мы уже выяснили, основным направлением обеспечения *КС* такой потребности (продукции) является повышение уровня ее качества.

Входом будут служить **требуемый рынком уровень качества** (ТРУК) этой продукции (ось  $K_{тр}$ ), а выходом – возможности предприятия, т.е. **фактический уровень качества** (ФУК) выпускаемой этим предприятием продукции  $K_{кф}$ .

В силу технического прогресса требования рынка изменяются и за период времени  $T_0 - T_4$  ТРУК увеличиваются. Отражением растущих требований будет какая-то линия  $M-M$ , разделяющая все множество состояний на две области: область *КС* и область *НКС* (рис. 3). (Кстати говоря, расходы на образование на одного студента в США увеличиваются с 1967 по 1997 гг. в среднем на 3– 3,5 % в год).

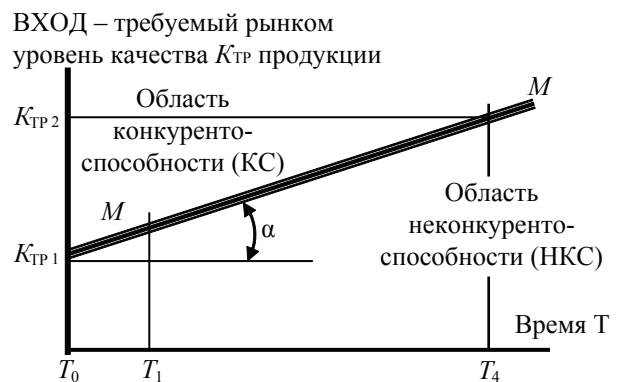


Рис. 3. Тренд изменения требуемого рынком уровня качества *i*-й выявленной потребности

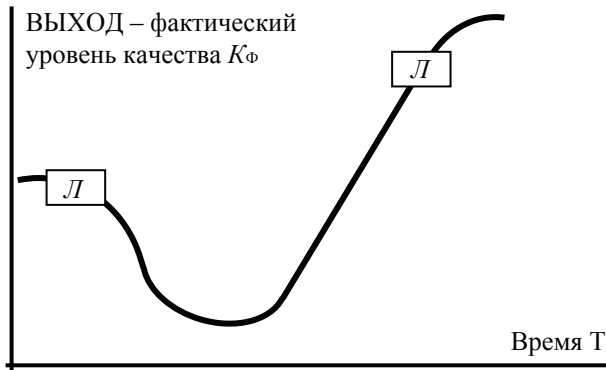


Рис. 4. Закономерность трансформации достигаемого системой фактического уровня качества  $i$ -й выявленной потребности

Если фиксировать параметры **выхода** рассматриваемой системы, т.е. величину  $Y_{K_{\Phi i}}$ , достигнутую этой системой в каждый  $i$ -й момент рассматриваемого периода времени (например затраты государства на эту систему), то получим закономерность ее изменения, которая описывается линией  $L-L$ , показанной на рис. 4.

Сравнение требований рынка и фактически достигнутых результатов дает возможность оценить эффективность системы, т.е. ее способность успешно функционировать в условиях конкуренции. В рассматриваемом случае такого сравнения можно достичь путем наложения входа и выхода системы на единую временную ось, т.е. наложением на эту ось линий  $M-M$  и  $L-L$  (рис. 5). *Знак разности  $K_{T_{Pi}} - K_{\Phi i}$  будет показывать состояние системы («+» – величину запаса качества, т.е. конкурентоспособность, например, в момент  $T_0$ ; «-» покажет величину дефицит качества в момент  $T_i$  (например, в %, и подтвердит тот факт, что система неконкурентоспособна).*

В данном случае смоделирован наиболее типичный случай, когда система в момент  $T_1$  теряет  $KC$  и, пройдя период неконкурентоспособности  $\Delta T$ , в момент  $T_3$  вновь становится конкурентоспособной. Линия  $L-L$  может отражать возможности любой системы. Например величину вложений России в образование. Уменьшение значения  $Y_{K_{\Phi}}$  в период  $T_1 - T_2$  отражает период с 1991 по 2003 г., когда объем финансовых ресурсов, поступающих в систему образования, сократился в сопоставимых ценах в 2–3 раза [3].

*Конечно, трудно сравнивать расходы на образование США ( $\$420,29$  млрд) и России ( $\$16,19$  млрд), поскольку они разнятся в 25 раз, но мы ограничимся рассмотрением не количественной характеристики, а анализом качественной стороны вопроса: основных закономерностей изменения  $KC$ .*

В первую очередь обратим внимание на то, что при выходе системы из зоны  $KC$  ей потребуется определенное время для поддержки более высокого темпа  $\beta$  повышения своих возможностей (интеллектуальных, технических, технологических, экономических и др. характеристик производства) по сравнению с темпом  $\alpha$  (рис. 3), который характеризует рост требований рынка. И чем скорее система планирует выйти в зону конкурентоспособности, тем выше должен быть темп  $\beta$ .

Теперь мы разложили все по полочкам. Теоретически мы знаем основные тенденции развития системы, знаем, когда система теряет  $KC$ , как и когда ее восстанавливает. При кажущейся простоте постановки задачи и общеизвестности базовых предпосылок здесь есть над чем подумать каждому из субъектов любой социальной системы.

Чаще всего любая теоретическая модель требует ответа на целый ряд непростых вопросов. Можно, конечно, применить тактику страуса и сделать вид, что никакой проблемы нет, т.к. ее не хочется видеть. Либо попытаться ответить на вопросы, которые возникают при анализе рассмотренной модели и по возможности найти пути их решения.

Во-первых, как определить требуемый рынком уровень качества и фактические возможности системы, а в нашем случае:

- на какой рынок ориентироваться при подготовке студентов: мировой, отечественный, отраслевой или какой-то еще;
- каков фактический уровень интеллектуального потенциала наших сегодняшних выпускников;
- каков дефицит качества, которое мы имеем на текущий момент.

Во-вторых, возможно ли в принципе повысить  $KC$  системы в целом и отдельных ее элементов (вуза, кафедры, выпускника).

В-третьих, сможем ли мы в ближайшее время выйти в зону  $KC$ .

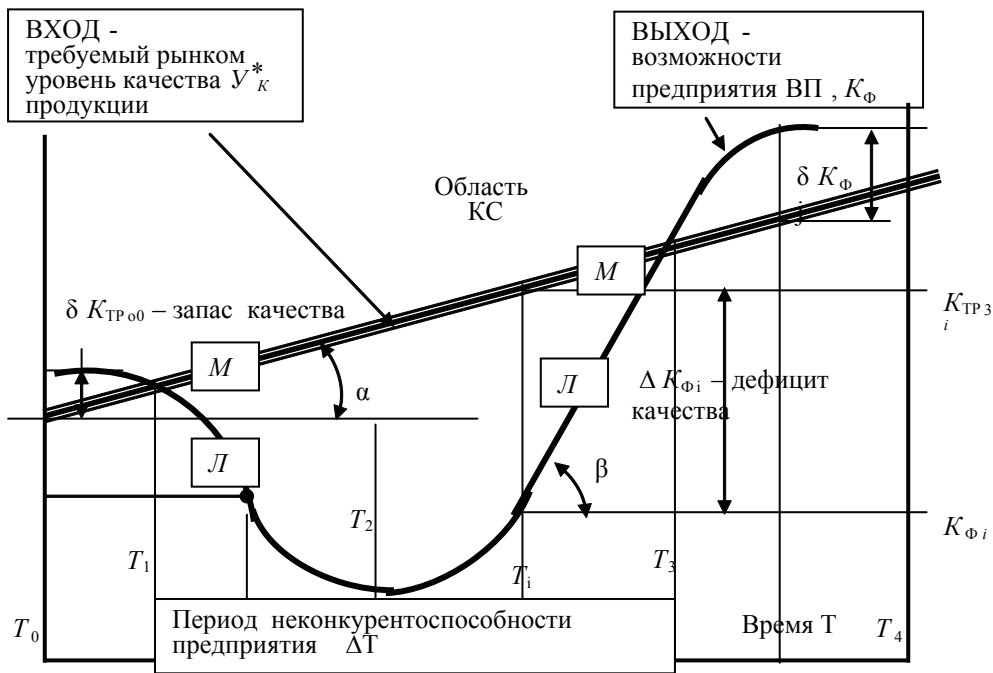


Рис. 5. Модель формирования и трансформации конкурентоспособности *i*-й выявленной потребности

Определить мировой уровень образования и его представителя можно по объемам государственных вложений США в систему образования и по определению программы «Америка 2000».

«У американского образования не должно быть равных в XXI веке. Образование – основа высокого качества нашей жизни. Образование – это ключ, который позволит обеспечить КС Америки на международном уровне» – так авторы программы «Америка 2000» сформулировали свое отношение к образованию. Такой им видится роль и значение образования в перспективе XXI века.

Если посмотреть историю развития российской системы образования, то можно отметить, что в последние 6–7 десятилетий она старается скопировать американскую и пока безуспешно. Так и в настоящее время приоритеты, озвученные Минобразованием России, практически те же, что и в американской программе. Разработана стратегия реформирования системы образования в трех вариантах [2]. Однако возможности, которыми располагают наши вузы, на несколько порядков ниже. Но на это смотрят как на привычное явление. В значительной мере это определяется различными подходами к потребностям системы и в том числе внешним и внутренним.

**Внешние потребности** – это те потребности и требования, которые предъявляет система к конечному продукту. Например, требования к номенклатуре и качеству определенной техники, составу и качеству подготовки специалистов в вузе и т.п.

**Внутренние потребности** – это потребности, необходимые для реализации потребностей внешних и производства определенной продукции. Например, постройка завода для производства машин, изготовление оборудования для проведения лекционных и практических занятий, подготовка и содержание обучающего персонала и т.п.

Разницу во внешних и внутренних потребностях легко можно понять из простого примера.

*Жена хочет «супермерс», суперквартиру и супердачу и еще кое-что. Это внешние потребности данной социальной системы (семьи). Для реализации этих внешних потребностей возникают внутренние потребности. Нужны средства для реализации этих потребностей, (покупки вышеперечисленных «штучек»), а также средства на их содержание в достойном состоянии: гараж, прислуга и т.п.*

*Или другой пример.*

**Внешние потребности:** стране нужны суперспециалисты, конкурентоспособ-

ные на мировом рынке по специальностям: 01, 01.....1704 и т.д. Для этого необходимо обеспечить **внутренние потребности**: оснастить суперлаборатории, подготовить суперпреподавателей, способных владеть супертехнологиями: информационными, нанотехнологиями и т.п., обеспечивать их суперзарплатой и т.д.

Понятно, что без обеспечения внутренних потребностей невозможно обеспечить потребности внешние. В любой системе, включая и систему образования, обеспечить растущие внутренние потребности невозможно без стабильного экономического обеспечения их в требуемом объеме.

Американцы, претворяющие в жизнь программу «Америка 2000», это давно поняли. Средняя зарплата у американского профессора примерно в 100 раз больше, чем у российского. В США, где живут и учатся четыре процента школьников и молодежи мира, сосредоточены 28 % мировых расходов на образование.

Образование в США трактуется как «сокрытое сокровище», обладание которым способно «раздвинуть пределы роста цивилизации и культуры».

Проблемы российского высшего системы образования, описанные во многих книгах, аналитических работах, Интернете, не новы.

*Вот только некоторые из этих проблем [2]:*

– увеличение технологического разрыва с экономически развитыми странами и снижение **КС** отечественного высшего образования;

– недостаточное государственное финансирование вузов, размер которого составляет 30–60 % от планового бюджета (хотя и планы непонятно по каким принципам составлены);

– слабая материально-техническая база, особенно в передовых и наукоемких отраслях (и тем более – для технических специальностей);

– недостаточная квалификация, низкая оплата преподавательского состава;

– старение преподавательского состава, снижение общественного статуса ученого-педагога

– низкое трудоустройство выпускников государственных вузов и др.

– отсутствие притока молодых кадров и многие другие проблемы, перечислять которые можно долго.

Но вернемся к нашим дисциплинам.

Теперь мы однозначно определили, что находимся в зоне **НКС**. К сожалению, мы не знаем величину дефицита фактического уровня качества  $\Delta U_K$  (рис. 3), поскольку методики подсчета ФУК образования практически нет. Однако, судя по сравнениям с другими передовыми странами (Америка, Япония, Великобритания и др.), эта величина существенная.

Как ясно видно из модели, попытка выхода в зону конкурентоспособности требует от России существенного повышения ее возможностей с темпом  $\beta$  (и в первую очередь – денежных ресурсов на оборудование, зарплату и пр. внутренние потребности). Для обеспечения выхода в зону **КС** этот темп должен существенно превышать мировой темп развития системы образования  $\alpha$ , т.е.  $\beta > \alpha$ . Возникают естественные вопросы: *как мы будем это делать и как долго* будет длиться этот процесс. Анализ статистических данных показывает, что большинство развитых стран прилагают огромные усилия для развития системы образования, вкладывая в это огромные средства.

Для сравнения по 1999 г.: США тратят на образование 5, 6 % ВВП, Дания – 8 % Великобритания – 5, 2 %, Германия – 4, 6 %, Израиль – 6, 9 %, Индия – 3, 8 %, Иран – 4, 7 %, Южной Корея и вовсе 23–25 %, Россия – около 4 % [ <http://upr.1september.ru/2005/14/8.htm>].

Это приводит к значительному увеличению их возможностей, увеличивает темп роста возможностей до значения  $\alpha^*$  (линия  $M-M^*$  на рис. 6), увеличивая дефицит ФУК до значения  $\Delta K_{\phi_i}^*$ .

Это еще больше усложняет российской системе образования выход в зону конкурентоспособности, которая, скорее всего, не в состоянии в ближайшем будущем обеспечить темп роста качества  $\beta^*$ , который течение многих лет (10 или более) должен в разы превышать мировой уровень качества подго-

товки специалистов. И это при фактическом отставании в затратах более чем в 25 раз! Т.е. для выхода в зону конкурентоспособности в течение ближайших 10 лет нужно увеличить расходы на образование минимум в 40–50 раз. Но нужно помнить один нюанс: до момента  $T_2$ , несмотря на такие затраты, мы все равно будем находиться в зоне неконкурентоспособности. Невозможно купить где-то в базарный день и раздать интеллект и знания. Их нужно долго подготавливать. Можно за 2–3 года разрушить систему образования, но нужно 10–15 лет, чтобы вырастить квалифицированного преподавателя. Особенно по техническим направлениям, где для получения теоретических знаний и практических навыков (и дальнейшей их депортации в головы студентов) нужна обширная материально-техническая база вуза.

Мы еще помним, что технические дисциплины преподавались в СССР на очень высоком уровне до конца 70-х – начала 80-х годов. Анализ современной учебной литературы для специальности инженер-механик и методики их преподавания показывает, все осталось практически на том же уровне. Более того, объем базовых технических дисциплин с годами уменьшается, не давая возможности студентам получить нужный запас знаний по специальности. Имеющее место общее отставание отечественных наукоемких технологий от технологий стран Запада и Японии стало реальностью, поэтому коренная переработка образовательных программ в сфере технических дисциплин представляется просто необходимой. Однако современное состояние материально-технической базы университета и выпускающих кафедр не позволяют этого сделать.

Надеяться на существенное увеличение инвестиций в образование в ближайшее время вряд ли можно.

При этом следует учитывать, что реализуемые мероприятия приоритетного национального проекта «Образование» [5] слабо ориентированы на решение проблемы сохранения и воспроизводства научно-педагогических кадров, они слишком раздроблены и бессистемны, имеют «точечное» применение.

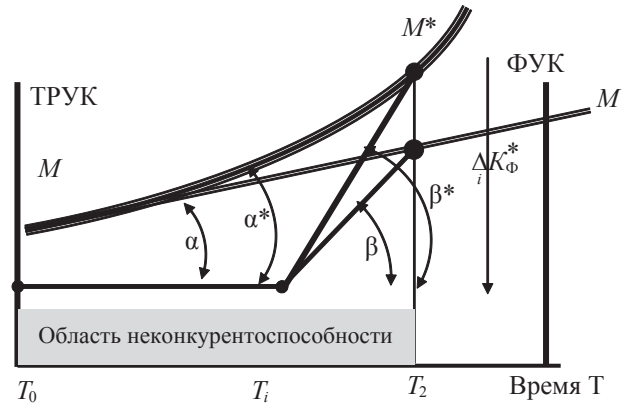


Рис. 6. Схема выхода в зону конкурентоспособности при изменении  $\alpha$

Основной акцент делается на инновационные образовательные программы и внедрение новых механизмов **управления** образованием. Да и то лишь для нескольких вузов. Причем, поддержка только деньгами (в небольшом количестве) без наличия высококвалифицированных кадров, потеря которых очень ощутима, едва ли обеспечит темп повышения возможностей ВУЗов до уровня  $\beta^*$ .

Повышение квалификации, на которое делается основной акцент в «Программе», не выполняло и едва ли будет выполнять возложенные на нее надежды, поскольку чаще всего результаты этих «повышений» практически нигде применять – нет условий. Получается как всегда «повышение для галочки».

Даже в документах Правительства и Министерства образования и науки Российской Федерации четко не определено понятие «Инновационные образовательные программы». Как правило, этот термин связывается с использованием информационно-коммуникационных технологий обучения, т.е. с внешним аспектом образовательного процесса, не затрагивая собственно его содержания.

Немного лучше ситуация с конкурсным отбором инновационных вузов, методика экспертизы в котором утверждена Рособразованием 11 апреля 2006 г. Данная методика содержит ряд конкретных показателей, характеризующих научный потенциал вуза, таких как объем финансирования научных исследований, численность докторов и кандидатов



наук, в т.ч. молодых, и др. Однако эти показатели имеют слабое отношение к критериям научной эффективности, используемым международным научным сообществом.

16 марта 2006 г. Совет при Президенте России по реализации приоритетных национальных проектов и демографической политике отмечал: «Чтобы не допустить утраты российским образованием своих преимуществ и одновременно усилить его инновационность, необходимо повышать и модернизировать **требования** к образованию. Наверное, члены этого совета, с одной стороны, до сих пор считают российскую систему образования конкурентоспособной, а с другой – считают по-прежнему, что главное – это процесс **управления**, а не **обеспечения**.

Учащаяся молодежь (студенты и аспиранты, демонстрирующие успехи в профессиональном становлении и исследовательской работе) также практически находится вне сферы действия приоритетного национального проекта «Образование». Это тоже говорит об «успешности» этого проекта и заботе о будущих кадрах.

Особенно «беспризорными» оказались технические направления высшего образования. Если посмотреть Федеральный образовательный портал, то там в основном дается информация, касающаяся областей экономики, социологии и менеджмента. Как будто техника – это какое-то «второстепенное» направление.

И в очередной раз мы задаем риторический вопрос «Что делать?».

Можно конечно, помня, что мы патриоты своей многострадальной Родины, молча

продолжать с фанатичным упрямством «сеять разумное, доброе, вечное».

Вся проблема-то в том, что «сеять» скоро будет некому.

Нас, пенсионеров, остается все меньше и меньше. Мы понимаем, что светлого будущего мы не дождемся. Молодежь, которая пока еще плохо видит горизонты нашего образования, тоже скоро поймет, что тут не совсем то, что ей надо и, получив образование и степени, найдет себе лучшие места, не оправдав ожиданий и вложенного в них труда. И это будет еще большей потерей, потому что упущенное время бесценно. Еще меньше станет наш интеллектуальный потенциал, еще глубже мы сядем в яму неконкурентоспособности, и выбраться из нее будет еще сложнее, чем сейчас.

#### Библиографический список

1. Еремеев, Н.С. Конкурентоспособность. Экономическая безопасность предприятий лесного машиностроения / Н.С. Еремеев, В.И. Игнатов, В.Н. Тинятов. – М., ЦНИИМЭ, 2003. – 299 с.
2. Егоршин, А.П. Перспективы развития образования России в XXI в. / А.П. Егоршин // Университетское управление. – 2000. – № 4(15). – С. 50–64.
3. Аналитический доклад по высшему образованию в РФ / Под редакцией М.В. Ларионовой, Т.А. Мешковой. – М.: Издательский дом ГУ ВШЭ, 2007.
4. Программа развития конкуренции в Российской Федерации. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 мая 2009 г. № 691-р.
5. Направления, основные мероприятия и параметры приоритетного национального проекта «Образование». Утверждены президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по реализации приоритетных национальных проектов (протокол № 2 от 21 декабря 2005 г.).

**Обыденников В.И., Тибуков А.В., Солнышкина Ю.М. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЗАРОСЛЕЙ ЯГОДНИКОВ В СВЯЗИ С РУБКАМИ.**

В статье рассматриваются некоторые методические вопросы проблемы восстановления ягодников после рубки главного пользования и рубок ухода. Показано, что характер изменения покрова ягодников после рубок устанавливается с большей определенностью при его изучении в рамках антропогенной динамики лесных биогеоценозов. Приведены реальные изменения покрова черники в связи с рубками, которые определяются типом леса, характером возобновления древесной растительности и степенью воздействия лесозаготовительных машин.

Ключевые слова: сплошные и постепенные рубки, ягодники черники и брусники, промысловые угодья, ельник черничный

**Obydennikov V.I., Tibukov A.V. METHODOICAL ASPECTS OF STUDYING AND ESTIMATION OF JUNGLES OF BERRY PATCHES IN CONNECTION WITH DECK-HOUSES.**

In article some methodical questions of a problem of restoration berry after cabin of the main using and leaving cabins are considered. It is shown that character of change of a cover ягодников after cabins is established with большей definiteness at its studying within the limits of anthropogenous dynamics of wood biogeocenoses. Real changes of a cover of a bilberry in connection with cabins which are defined by wood type, character of renewal of wood vegetation and influence degree of logging cars are resulted.

Key words: continuous and gradual cabins, bilberry and a cowberry, trade grounds, a fir grove bilberry.

**Макаров В.П. БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЛИСТВЕННИЦЫ ЧЕКАНОВСКОГО В ЮЖНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ.**

В статье изложены результаты исследования популяций лиственницы Чекановского в Южном Забайкалье. Исследования дополняют географически прежние работы по характеристике популяций лиственницы Чекановского в Южном Забайкалье. В работе приводятся характеристика морфологических и лесосоводственных признаков лиственницы. Выделены популяции, отличающиеся высокой изменчивостью ряда признаков.

Ключевые слова: лиственница, вид, популяция, изменчивость, признак.

**Makarov V.P. BIODIVERSITY OF LARCH (L. x CZEKANOWSKII SZAFER) IN EAST TRANSBAIKALIA.**

In article results of research of populations of larch Чекановского in Southern Transbaikalia are stated. Researches supplement geographically former works under the characteristic of populations of larch (Larix x czekanowskii Szafer) in Southern Transbaikalia. In work are resulted the characteristic morphological and forestry signs of a larch. The populations distinguished by high variability of some signs are allocated.

Key words: larch, species, population, variability, signs.

**Лебедев В.М., Лебедев Е.В. ВЛИЯНИЕ ФОРМ АЗОТА НА ФОТОСИНТЕЗ, МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ И ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ.**

В микрополевым опыте на серой лесной почве изучено влияние различных форм азота на фотосинтез, биологическую продуктивность, функциональную и физиологическую активность корневой системы и эффективность использования минеральных элементов при формировании биомассы.

Ключевые слова: лиственница сибирская, ель обыкновенная, формы азота, фотосинтез, минеральное питание, минеральная продуктивность, биологическая продуктивность, эффективность использования минеральных элементов.

**Lebedev V.M., Lebedev E.V. INFLUENCE OF FORMS OF NITROGEN ON PHOTOSYNTHESIS, A MINERAL NUTRITION AND BIOLOGICAL EFFICIENCY OF PLANTS OF THE SIBERIAN LARCH AND NORWAY SPRUCE.**

In microfield experience on grey forest soil influence of various forms of nitrogen on photosynthesis, biological efficiency, functional and physiological activity of root system and efficiency of use of mineral elements is studied at formation of a biomass of a siberian larch and norway spruce.

Key words: Siberian larch, Norway spruce, forms of nitrogen, photosynthesis, mineral nutrition, mineral productivity, biological productivity, efficiency of use of mineral elements.

**Сурсо М.В., Барзут О.С. ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ХВОЙНЫХ В БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЕ. МОЖЖЕВЕЛЬНИК В УРОЧИЩЕ ПЫМ-ВА-ШОР.**

В работе приводятся результаты исследований роста и морфологии генеративной и вегетативной сфер можжевельника (*Juniperus sibirica* Burgsd.) в урочище Пым-Ва-Шор, выполненных в рамках Полярной комплексной экспедиции, проведенной в ноябре 2009 года Институтом экологических проблем Севера УрО РАН.

Ключевые слова: Пым-Ва-Шор, тундра, можжевельник, радиальный прирост, хвоя.

**Surso M.V., Barzut O.S. THE GROWTH AND MORPHOLOGY PECULIARITIES OF CONIFEROUSES IN BOLSHEZEMELSKAYA TUNDRA. JUNIPER IN PYM-VA-SHOR AREA.**

The Pym-Va-Shor area is situated in Bolshezemelskaya tundra near polar circle. In such hard conditions the coniferous species life history investigations have some definite interest. The morphology and growth peculiarities of juniper (*Juniperus sibirica* Burgsd.) in Pym-Va-Shor area are studied by carrying out the Polar complex expedition in November 2009.

Key words: Pym-Va-Shor, tundra, juniper, radial gain, needles.

**Бессчетнова Н.Н. СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ПИГМЕНТОВ В ХВОЕ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ.**

Установлен устойчивый характер соотношения оценок содержания пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной.

Ключевые слова: хлорофилл, пигменты, плюсовые деревья, сосна обыкновенная.

**Besschetnova N.N. MAINTENANCE OF THE BASIC PIGMENTS IN NEEDLES OF THE PLUS-TREES OF A SCOTS PINE.**

Steady character of a parity of estimations of the maintenance of pigments in needles of the plus-trees of a Scots Pine is established.

Key words: a chlorophyll, pigments, plus-trees, Scots Pine.

**Амосова И.Б., Феклистов П.А. ВОДНЫЙ РЕЖИМ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA ROTH.*).**

Приведены исследования по изучению ассимиляционного аппарата березы повислой в некоторых направлениях. Изучена интенсивность транспирации у разных возрастных состояний. Установлено содержание воды и дефицит влажности листьев в разных возрастных состояниях. Приведен сравнительный анализ результатов по северной и средней подзонам тайги.

Ключевые слова: береза повислая, интенсивность транспирации, влажность листьев, дефицит влажности.

**Amosova I.B., Feklistov P.A. WATER MODE ASSIMILATION OF THE DEVICE SILVER BIRCH (BETULA PENDULA ROTH.).**

The researches on study assimilation of the device of a silver birch in some directions are given. The intensity transpiration at different age condition is investigated. The contents of water and deficiency of humidity leafs in different age condition is established. The comparative analysis of results on northern and average subzone of a taiga is given.

Key words: silver birch, intensity transpiration, humidity leafs, water deficit.

**Калугина О.В., Михайлова Т.А., Нестеренко О.И. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ В БАСЕЙНЕ РЕКИ ВЕРХНЕЙ АНГАРЫ.**

Исследован комплекс параметров, характеризующих состояние сосновых древостоев в бассейне крупного притока оз. Байкал – р. Верхней Ангары. Показано, что в приустьевом участке реки, где сказывается снижающее континентальность климата воздействие Байкала, сосновые древостои характеризуются более высокими показателями роста и состояния ассимилирующих органов. При продвижении в долину реки, с ужесточением условий произрастания, ростовые показатели древостоев снижаются. Сделан вывод, что при дополнительных стрессовых нагрузках этот вектор может усилиться, и рост еще больше снизится.

Ключевые слова: Республика Бурятия, бассейн Верхней Ангары, сосновые древостои, морфоструктурные параметры, содержание химических элементов.

**Kalugina O.V., Mikhailova T.A., Nesterenko O.I. ESTIMATION OF SCOTS PINE FORESTS CONDITION IN THE BASIN VERKHNAYA ANGARA RIVER.**

A complex of parameters characterizing pine tree-stands condition in the basin of Verkhnyaya Angara river (the large Baikal Lake tributary) has been investigated. It has been shown that tree-stands growing on the area near the river mouth are characterized with higher indicators of growth and assimilating organs condition because of influence of the Baikal Lake as a factor of decreasing climate continentality. With moving deeper into the river valley growth conditions are rougher, and tree-stands growing indicators decrease. It has been concluded that this vector may become more intensive when an additional stress will take place, and accordingly in this case growing may decrease even more.

Key words: Republic of Buryatia, basin Verkhnyaya Angara, pine tree-stands, morphostructural parameters, chemical elements contents.

**Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ФОРМ СОСНЫ НА БОЛОТНЫХ ВЕРХОВЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ПРИ АЭРОТЕХНОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ.**

Показаны уровни эндогенной и индивидуальной изменчивости отдельных биохимических признаков у желтопыльничковой и краснопыльничковой форм сосны на верховых торфяных почвах северной тайги при аэротехногенном загрязнении. Проиллюстрированы диапазоны нормы реакции в процессе онтогенеза разных деревьев (конкретных генотипов) на воздействии внешних факторов.

Ключевые слова: изменчивость, форма, сосна, пластидные пигменты, рН, активность пероксидазы.

**Tarhanov S.N., Biryukov S.Yu.. VARIABILITY OF BIOCHEMICAL INDICATORS OF DIFFERENT FORMS OF A PINE ON MARSH RIDING SOILS OF NORTHERN TAIGA AT AEROTECHNOGENIC POLLUTION.**

Levels endogenous are shown individual variability of separate biochemical signs at pine of the yellow anthers and pine of the red anthers forms on riding peat soils of northern taiga at

aerotechnogenic pollution. Ranges of norm of reaction in process ontogeny different trees (concrete genotypes) on influence of external factors are illustrated.

Key words: variability, the form, a pine, plastid pigments, pH, peroxidase activity.

**Байгалиев Б.Е., Шайхутдинова А.А. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.**

Статья посвящена проблеме определения экологических нагрузок загрязняющих веществ на территориях, прилегающих к источникам выброса. Проведена оценка качества территории по экологической нагрузке загрязняющего вещества и по суммарной экологической нагрузке всех веществ, выделяющихся из атмосферного воздуха.

Ключевые слова: экологическая нагрузка, суммарная экологическая нагрузка, дифференциальная и интегральная оценка.

**Vajgaliev B.E., Shajhutdinova A.A. ON METHOD OF POLLUTANT ENVIRONMENTAL STRESS ESTIMATION.**

The article in question considers the estimation of environmental stress on the areas, neighboring to emission sources. The quality assessment of the territory by the pollutant environmental stress and by the total environmental stress of substances from atmospheric air is suggested.

Key words: environmental stress, total environmental stress, different and integral estimation.

**Васильев С.Б., Леденев Д.А. ИНТРОДУКЦИЯ СОСНЫ БАНКСА ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА ЕГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ.**

В статье приведены данные исследований семян сосны Банка, собранных с деревьев, выросших в специфических условиях техногенных ландшафтов Егорьевского месторождения фосфоритов (ЕМФ).

Ключевые слова: сосна Банка, ЕМФ, энергия прорастания, всхожесть, масса 1000 штук семян, исследование семян.

**Vasil'ev S.B., Ledenev D.A. INTRODUCTION TO THE PINE BANKS REMEDIATION TECHNOGENIC LANDSCAPE EGORIEVSK PHOSPHORITE DEPOSITS.**

The article presents data from studies of pine seeds Banks collected from trees grown in specific conditions of Egorievsk phosphorite deposits (EPD) man-made landscapes.

Key words: Pine Banks, EPD, vigor, germination, weight of 1000 seeds, seed research.

**Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА И ВЗАИМОСВЯЗИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЗКО- И ШИРОКОКРОННОЙ ФОРМ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В СТРЕССОВЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ.**

Рассмотрены характер распределения частот морфометрических показателей и корреляционные связи между ними в условиях избыточного увлажнения почвы при загрязнении воздуха.

Ключевые слова: сосна, форма, стрессовые условия, морфометрические показатели, кривая распределения, корреляция.

**Tarhanov S.N., Biryukov S.Yu. COMPARATIVE EVALUATION AND THE RELATIONSHIP OF MORPHOMETRIC PARAMETERS NARROW AND THE BROAD-FORM OF PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) IN STRESSFUL CONDITIONS OF THE NORTHERN TAIGA.**

The character of the frequency distribution of morphometric parameters and correlations between them in terms of excess soil moisture in the air pollution.

Key words: a pine, the form, stressful conditions, morphometric parameters, curve distributions, correlation.

**Алексеев И.А., Гусева О.Н. ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ЧИСТЫХ И СМЕШАННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УЧАСТКОВ ЦЕЗИЕМ-137.**

Методом многократной лесопатологической таксации установлены возрастные тренды таксационных параметров и лесопатологические характеристики чистых и смешанных культур сосны, предложены эффективные способы выращивания устойчивых лесов.

Ключевые слова: корневая губка, отпад, прирост очагов, запасы.

**Alekseev I.A., Guseva O.N. GROWING SUSTAINABLE PURE AND MIXED CROPS IN CAESIUM-137-POLLUTED AREAS.**

There have been defined age trends of valuation parameters and forest pathology characteristics of pure and mixed pine plantations using the method of repeated forest pathology valuation. Effective techniques of sustainable forest growing have been proposed.

Key words: pine fungus, attritions, locus increment, deposits.

**Адамов М.Г., Гамзатова Х.М., Адамова Р.М., Багамаева А.Б. ИНТРОДУКЦИЯ ДЕНДРОФЛОРЫ, УСТОЙЧИВОЙ К МОРСКИМ БЕРЕГОВЫМ ПРОЦЕССАМ.**

В статье приведены результаты исследований по изучению биоразнообразия генетических ресурсов дендрофлоры на Западном побережье Каспия и их интродукция в Ботанический сад Дагестанского государственного университета вместе с грибокорнем.

Ключевые слова: интродукция, дендрофлора, биоразнообразие.

**Adamov M.G., Gamzatova Kh.M., Adamova R.M., Bagamaeva A.B. INTRODUCTION OF THE DENDRO-FLORA STEADY AGAINST SEA COASTAL PROCESSES.**

This article is about the results of investigations on study biovariety of genetic resources of dendroflora on the West Caspiy seaside and their introduction in Botanical Garden of Dagestan State University together with «mushoomroot».

Key words: introduction, dendroflora, biovariety.

**Федотов Г.Н., Шалаев В.С. МИКРОФАЗНОЕ РАССЛОЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ ГЕЛЕЙ И СВОЙСТВА ПОЧВ.**

В статье проведен анализ результатов, полученных при исследовании почв методом малоуглового рассеяния нейтронов, определения их температуропроводности и структурно-механических свойств.

Ключевые слова: микрофазное расслоение, почвенные гели, нейтроны.

**Fedotov G.N., Shalaev V.S. MICROPHASE SEPARATION OF SOIL GELS AND PROPERTY OF THE SOILS.**

In article the analysis of the results received at research of soils by method of small-angle neutron scattering, determination of their temperature conductivity and structurally-mechanical properties is carried out.

Key words: microphase separation, soil gels, neutron.

**Шалаев В.С. НАПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗА РУБЕЖОМ: ОТ БРИСБЕНА ДО СЕУЛА.**

Приведены направления лесных исследований по оценкам экспертов ИЮФРО в период от XXII до XXIII Мирового конгресса ИЮФРО, которые следует учитывать при планировании отечественных НИР, особенно во все значительнее развивающемся процессе интеграции российской науки в мировое научное пространство. Дается краткая информация о научных направлениях Седьмой рамочной программы Европейского Союза FP7. В качестве приложений

приведены итоговые документы XXIII Мирового конгресса ИЮФРО: Сеульская резолюция и Стратегия ИЮФРО 2010–2014.

Ключевые слова: ИЮФРО, лесные исследования, интеграция.

**Shalaev V.S. DIRECTIONS OF FOREST RESEARCHES: FROM BRISBANE UP TO SEOUL.**

The directions of the forest researches are considered in the article. They are given in accordance to the estimation of the IUFRO-experts for the period of time from XXII up to XXIII World Congress IUFRO. These researches priorities should be taken into account while planning the science development in our country. They are particularly important in the view of the increasingly accelerating integration of the Russian science into the global research area. The article provides the short information on research priorities stated by the EU Seventh Framework Programme. Hereinafter, as appendices the final documents of the XXIII World Congress IUFRO are attached: Seoul Resolution and IUFRO Strategy 2010–2014.

Key words: IUFRO, forest researches, integration.

**Обыдёнников В.И. ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ЛЕСОСЕКАХ С ПОДРОСТОМ.**

Приводится методика обоснования критериев лесоводственных требований к работе лесозаготовительных машин на лесосеках с подростом. Дается оценка работы машин и технологий на биогеоценозном и региональном уровнях.

Ключевые слова: лесоводственная оценка, биогеоценозные и региональные уровни.

**Obydennikov V.I. FORESTRIAL ESTIMATION OF FOREST STORAGE MACHINES WORK ON CLEAR - CUTTING WITH UNDERFOREST.**

The criteria's ground methodic of forestrial require to the work of forest storage machines on clear – cuttings with under forest is brought. The estimation of machines work and technologies on the biogeocooinosis and regional level is given.

Key words: forestrial estimation, biogeocooinosis and regional level.

**Заварзин В.В. ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВ.**

Рассматриваются вопросы роли лесоустройства и лесоустроительного проектирования для оптимизации возрастов рубок, оборотов рубок и использования лесов с целью заготовки спелого леса в современных условиях организации и управления лесным хозяйством для эффективного использования лесных ресурсов.

Ключевые слова: лесоустройство, возраст рубки, оборот рубки, расчетная лесосека.

**Zavarzin V.V. PROBLEMS OF FOREST USAGE OPTIMIZATION.**

The part of forest inventory and forest inventory designing for felling age, cutting period and forest usage optimization for mature wood harvesting in the conditions of forest sector modern organization, management and effective forest resources usage is being surveyed.

Key words: forest inventory, felling age, cutting period, prescribed cut.

**Прешкин Г.А. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ СОРТИМЕНТОВ НА ЛЕСНЫХ УЧАСТКАХ.**

Предлагается методика расчета технологически доступного объема круглых лесоматериалов на лесных участках. Эта методика использована успешно в Тюменской области и Республике Башкортостан в промышленных масштабах. Автор дает собственное понятие терминов: лесная недвижимость, технологически доступные ресурсы древесины и экономически доступные лесные ресурсы.

Ключевые слова: право постоянного пользования лесами, нормативы, ресурсы сортиментов, методика оценки, лесохозяйственный регламент.

**Preshkin H.A. EVALUATION OF THE TECHNOLOGICAL ROUNDWOOD RESOURCES ON THE FOREST PLOTS.**

The approach to calculate the technologically accessible volume of main round wood products on the forest plots is suggested. This method was used successfully in the industrial scales in the Tjumen region and Bashkortostan Republic. The author suggested his own concept of the terms to the state forest estate, the technologically accessible wood and economically available forest resources.

Key words: permanent forest usage rights, regional standards, round wood resources, evaluation method, forestry regulation.

**Афоничев Д.Н. РАЗМЕЩЕНИЕ ПЕТЛЕВЫХ РАЗВОРОТОВ НА ЛЕСОВОЗНЫХ УСАХ.**

Получены аналитические зависимости, которые позволяют рассчитать количество погрузочных пунктов между петлевыми разворотами, обеспечивающее минимум суммарных удельных дополнительных затрат на устройство петлевых разворотов и дополнительный пробег автопоездов.

Ключевые слова: петлевые развороты, аналитические зависимости, погрузочные пункты.

**Afonichev D.N. LOOP CURVES ALLOCATION ON THE SPUR ROAD.**

Analytical dependences making it possible to calculate the number of loading points between the loop curves with the minimized specific extra construction expenses and additional auto trucks run are presented.

Key words: loop curves, analytical dependences, loading points.

**Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А. ПРОГНОЗ ВСПЛЫВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ, ОСТАВЛЕННОЙ ПОД ЗАТОПЛЕНИЕ, В ЛОЖЕ ВОДОХРАНИЛИЩА БОГУЧАНСКОЙ ГЭС.**

Водохранилища ГЭС являются мощными источниками воздействия на окружающую природную среду. Затопленная и плавающая древесина не только представляет опасность для судоходства и гидротехнических сооружений как механический загрязнитель, но и ухудшает качество воды. В работе представлен прогноз всплывания древесно-кустарниковой растительности на акваторию водохранилища Богучанской ГЭС для различных сценариев проведения работ по лесосводке и лесочистке.

Ключевые слова: водохранилище, древесина, загрязнение, загрязняющие вещества, лесосводка, лесочистка, прогноз.

**Korpachyov V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. THE FORECAST OF EMERGING OF A WOOD PULP LEFT UNDER FLOODING IN A RESERVOIR FLOOR OF BOGUCHANSKY HYDROELECTRIC POWER STATION.**

Water basins of hydroelectric power stations are powerful sources of influence on environment. The flooded and swimming wood not only represents danger to navigation and hydraulic engineering constructions as mechanical pollutant, but also worsens quality of water. In article is presented the emerging forecast forest vegetation on water area of a water basin of Boguchansky hydroelectric power station for various scenarios of work on forest cutting and clearance.

Key words: a water basin, wood, the pollution, polluting substances, forest cutting, clearance, the forecast.



**Рукомойников К.П. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА ВАРИАНТОВ ПРОКЛАДКИ ТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЛЕКСА ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ С СОВМЕЩЕННЫМ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕМ.**

Предметом исследования статьи является разработка алгоритма прокладки транспортных путей в квартале при проведении на его территории работ по заготовке древесины и пересадки подроста который может быть поврежден при рубке, на уже освоенные участки. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности освоения участков лесного фонда.

Ключевые слова: лесной квартал, алгоритм, подрост, рубка леса, лесовосстановление, транспортировка, трелевка.

**Rukomojnikov K.P. DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF A CHOICE OF VARIANTS OF ACCOMMODATION OF TRANSPORT WAYS AT PERFORMANCE OF A COMPLEX OF CUTTING WORKS WITH COMBINED REFORESTATION.**

The subject-matter of the article is the development of algorithm of accommodation of transport ways in wood quarter at realization on its territory of cutting works and transplantation young growth which can be damaged in the already thin forest sites. The received results can be used for increase of efficiency of development of sites of wood fund.

Key words: wood quarter, algorithm, young growth, cutting, reforestation, transportation, skidding.

**Кручинин И.Н., Лебедев Ю.В., Булдаков С.И. СИСТЕМА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ ЛЕСА В УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ.**

Представленная работа предназначена для создания системы рационального управления лесотранспортными процессами в Уральском регионе с учетом эколого-экономической оценки воздействия лесотранспортной сети на лесную экосистему. Содержит описание процесса принятия оптимальных решений в условиях неопределенности и поиска рациональных вариантов управления путем назначения уступок.

Ключевые слова: лесотранспортная сеть, лесная экосистема, оптимизация, Уральский регион.

**Kruchinin I.N., Lebedev U.V., Buldakov S.I. THE SYSTEM OF EKOLOGO-ECONOMIC MANAGEMENT OF TIMBER TRANSPORT IN URALSK REGION.**

The Presented work is intended for creation of system of rational management timber transport by processes in Uralsk region taking into account an ekologo-economic estimation of influence timber transport to a network on a wood ecosystem. Contains the description of process of acceptance of optimum decisions in the conditions of uncertainty and search of rational variants of management by appointment of concessions.

Key words: timber transport to a network, wood ecosystem, optimum decisions, Uralsk region.

**Синицын В.Ф. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ДРЕВОСТОЕМ ФРЕЗЫ МАШИНЫ ДЛЯ СРЕЗКИ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТИПА ЭСЛ.**

Изложены основы математической (имитационной) модели процесса взаимодействия с древостоем фрезы машины для срезки древесной растительности типа ЭСЛ. Даны сведения о программном обеспечении, реализующем эту модель. Приведены результаты компьютерных экспериментов с использованием этого программного обеспечения.

Ключевые слова: имитационная модель, машина типа ЭСЛ, фрезерование древесной растительности.

**Sinicyn V.F. SIMULATION MODEL OF PROCESS OF INTERACTION WITH THE FOREST STAND OF THE MILLING CUTTER OF THE MACHINE OF TYPE ECL USED FOR LIGNEOUS VEGETATION MILLING.**

Bases of mathematical (simulation) model process of interaction with the forest stand of the milling cutter of the machine of type ECL are stated to ligneous vegetation milling. Data on the software realizing this model are given. Results of computer experiments with use of this software are presented.

Key words: imitation's modeling, machine of type ECL, ligneous vegetation milling.

**Драпалюк М.В., Батищев С.Н., Посметьев В.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВИБРОУДАРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ПНЕЙ.**

Разработана математическая модель виброударной машины удаления пней. В рамках модели механизм рассматривается как совокупность 22-х абсолютно твердых тел четырех различных типов, взаимодействующих между собой шарнирно или вязкоупругими силами. Компьютерные эксперименты свидетельствуют о высокой эффективности механизма для удаления пней.

Ключевые слова: удаление пней, рубящий орган, виброударный механизм, компьютерное моделирование, теоретическое исследование.

**Drapaluk M.V., Batishchev S.N., Posmetev V.V. MATHEMATICAL MODEL OF WORK OF THE VIBROIMPACT MACHINE FOR FOREST STUMPS REMOVAL.**

The mathematical model of vibroimpact machine for forest stumps removal has been developed. The mechanism is considered as 22 perfectly rigid bodies interacting by pinning or viscoelastic forces. Computer experiment shows high effectiveness of the mechanism.

Key words: forest stumps removal, vibroimpact mechanism, computer simulation, theoretical study.

**Клубничкин В.Е. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ.**

В статье описывается воздействие гусеничных и колесных машин на грунт, приводятся основные процессы, влияющие на конструкцию лесозаготовительных машин при их работе. Также в статье уделено внимание проблемам проходимости лесозаготовительных машин.

Ключевые слова: трансмиссия, лесозаготовительные машины, колеса, трактор, гусеница, двигатель, почва, проходимость, нагрузки, ходовая система, движение, мощность.

**Klubnichkin V.E. EVALUATION OF THE INFLUENCE OF EXTERNAL CONDITIONS ON FOREST MACHINES.**

The article describes the impact of tracked and wheeled vehicles on the ground, are the main processes influencing the design of forest machines in their work. Also in the article to the attention to cross-harvesting machines.

Key words: transmission, forest machines, wheel, tractor, caterpillar, engine, soil, passability, load, suspension system, movement, power.

**Дац Ф.А. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН ФИРМЫ ДЖОН ДИР В УСЛОВИЯХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ.**

Анализ данных с учетом требований к организации управления, технической готовности и состояния зарубежной лесозаготовительной техники Джон Дир в условиях Вологодской области показывает, что одним из важнейших резервов снижения затрат является информаци-

онное и диагностическое обеспечение. Получение фактических данных об изменении технического состояния машин позволяет принять оптимальное решение для получения положительных результатов.

Ключевые слова: периодичность, «Джон Дир», техническая готовность, управление, отказы, техника, оптимизация.

**Dac F.A. INCREASING TO TECHNICAL READINESS FOREIGN LESOZAGOTOVITELINOY TECHNOLOGY JOHN DIR ON THE GROUNDS OF CHOICE OF OPTIMUM PERIODICITY THAT AND R IN CONDITION VOLOGODSKOY AREA.**

The Analysis given with account of the requirements to organizations of management of technical readiness and condition foreign лесозаготовительной technology John Dir in condition Vologodskoy area shows that one of the the most most important reserve of the reduction of the expenseses is information and diagnostic provision. The Reception actual given about change the technical condition of the machines allows to take the optimum decision for reception positive result.

Key words: periodicity; «John Dir»; technical readiness; management; the refusals; the technology; the optimization.

**Донцов И.Е., Бартнев И.М. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КОМБИНИРОВАННЫХ МТА.**

Рассмотрены вопросы моделирования колебаний комбинированных МТА с фронтальными, боковыми и задними навесными орудиями. Получены и проанализированы дифференциальные уравнения вынужденных колебаний комбинированных МТА в горизонтальной плоскости. Это дает возможность на стадии проектирования, минуя полевые испытания, обосновать оптимальные параметры комбинированных МТА.

Ключевые слова: моделирование, колебания, устойчивость, движение, комбинированный, машинно-тракторный агрегат, навесное, орудие.

**Dontsov I.E, Bartnev, I.M. MATHEMATICAL MODEL COMBINED MACHINE-TRACTOR UNIT COMPELLED FLUCTUATIONS.**

The Considered questions of modeling of the combined machine-tractor unit fluctuations with frontal, lateral and back linkage implements. Differential equations of the compelled fluctuations of combined machine-tractor unit are received and analyzed in horizontal plane. This gives the opportunity at the design stage, bypassing the field tests, justify the optimal settings for combined machine-tractor unit.

Key words: modeling, fluctuations, stability of motion, combined, machine-tractor unit, linkage, implement.

**Донцов И.Е., Бартнев И.М. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МТА.**

В статье описана схема агрегатирования фронтальных и задних навесных орудий, обеспечивающая устойчивость движения комбинированных МТА.

Ключевые слова: моделирование, колебания, устойчивость, движение, комбинированный, машинно-тракторный агрегат, навесное, орудие.

**Dontsov I.E, Bartnev I.M. DEVICE FOR ENHANCING SUSTAINABILITY MOVEMENT COMBINED MACHINE-TRACTOR UNIT.**

Describes the connection diagram front-end and back linkage implements, providing stability combined machine-tractor unit.

Key words: modeling, fluctuations, stability, movement, combined, machine-tractor unit, linkage, implements.

**Прохоров В.Ю., Родионов А.И. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАПРЕССОВКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ОБОЙМУ.**

Ремонт транспортных и технологических машин является одной из основных составляющих технической эксплуатации. Ремонтное производство должно быть в достаточной степени обеспечено необходимыми запасными частями. Их недостаток является серьезным фактором снижения работоспособности, поэтому применение новых материалов является актуальным для улучшения технической готовности техники. В данной статье приведены основные технологические данные по запрессовке углерод-углеродных композиционных материалов в металлическую обойму, приведены основные расчетные формулы, позволяющие оценить прочность полученного прессового соединения.

Ключевые слова: УУКМ, прессовое соединение, шарнирное сопряжение.

**Prohoroff V.J., Rodionoff A.I. TECHNOLOGICAL ASPECTS OF PRESSING OF COMPOSITE MATERIALS IN THE METAL HOLDER.**

Repair of transport and technological machines is one of the basic components of technical operation. Repair manufacture should be sufficiently provided with necessary spare parts. Their lack is the serious factor of decrease in serviceability, therefore application of new materials is actual for improvement of technical readiness of technical equipment. In given article the basic technological data on pressing carbon-carbon of composite materials in a metal holder is cited, the basic settlement formulas are resulted, allowing to estimate durability received press connections.

Key words: carbon-carbon of composite materials, press connections.

**Алябьев А.Ф. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУГРАННОГО КЛИНА С ПОЧВОЙ.**

В статье рассмотрено изменение области предельного равновесия при образовании элемента пласта; влияние глубины резания на размеры элемента пласта и сил, возникающих при его образовании; зависимость размеров элемента пласта и сил, возникающих при его образовании, от угла резания и свойств почвы.

Ключевые слова: резание почвы, пласт, элемент пласта, двугранный клин, глубина резания, сила резания.

**Alyabiev A.F. RESULTS OF RESEARCH OF MODEL OF INTERACTION OF A TWO-SIDED WEDGE WITH SOIL.**

In article are considered change of area of limiting balance at formation of an element of a layer; influence of depth of cutting on the sizes of an element of a layer and force, I arise-shchih at its formation; dependence of the sizes of an element of a layer and the forces arising at its formation, from a corner of cutting and properties of soil.

Key words: soil cutting, a layer, a layer element, a two-sided wedge, depth of cutting, force of cutting.

**Бурмистрова О.Н., Шоль Н.Р., Травин Н.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ В СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ.**

В статье ставятся задачи экспериментальных исследований нагруженности валочно-пакетирующих машин (ВПМ) при разборе завалов леса после ветровалов. Выявлены реальные динамические характеристики нагруженности ВПМ в процессе разбора завалов леса после ветровалов. Разработаны рекомендации по применению математического моделирования в инженерных расчетах и даны рекомендации по использованию ВПМ на разборке завалов леса.

Ключевые слова: валочно-пакетирующая машина, динамические характеристики, завалы леса, математическое моделирование, инженерные расчеты.

**Burmistrova O.N, Shol N.R., Travin N.N. RESEARCH OF CONGESTION OF THE POWER-PLANT OF THE CAR FOR WOOD PREPARATION IN THE STATIONARY OPERATING MODE.**

In article problems of experimental researches of loading of the car for wood preparation at analysis of blockages of wood after hurricanes are put. Real dynamic characteristics of loading of the car for preparation of wood in the course of analysis of blockages of wood after hurricanes are revealed. Recommendations about application of mathematical modeling in engineering calculations are developed and recommendations about use of the car for wood preparation on dismantling of blockages of wood are made.

Key words: the car for wood preparation, dynamic characteristics, wood blockages, mathematical modeling, engineering calculations.

**Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В., Архипов А.С. ПРОЧНОСТЬ УГЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ ИЗ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ.**

Экспериментальными и расчетными методами исследована прочность угловых соединений на стяжках из древесно-стружечных плит. Получены сравнительные результаты прочности и распределения напряжений в зонах разрушения.

Ключевые слова: прочность, угловые соединения, стяжки, древесно-стружечные плиты.

**Lapshin U.G., Tuluzakov D.V., Arkhipov A.S. DURABILITY OF ANGULAR CONNECTIONS OF DETAILS OF CASE FURNITURE FROM PARTICALBOARDS.**

Experimental and settlement methods investigate durability of angular connections on couplers from particalboards. Comparative results of durability and distribution of pressure in destruction zones are received.

Key words: durability, angular connections, case furniture, particalboards.

**Воскобойников И.В., Константинова С.А., Коротков А.Н., Михайлов А.И., Никольский С.Н. ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ.**

В настоящем сообщении представлен метод получения гидрогелей нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) из различных видов волокнистых полуфабрикатов. В результате выполненных экспериментов выделены гидрогели, в которых частицы НКЦ имеют структуру стержнеобразных тонких тяжей со следующими геометрическими параметрами: длина 500–700 нм, ширина 50–80 нм.

Ключевые слова: нанокристаллическая целлюлоза, НКЦ, наноматериалы, нанокомпозиты, реология, механические свойства.

**Voskoboynikov I.V., Konstantinova S.A., Korotkov A.N., Mikhailov A.I., Nikolsky S.N. PREPARATION OF NANOCRYSTALLINE CELLULOSE FROM PLANT RAW MATERIALS.**

In the report is presented method of the preparation of nanocrystalline cellulose hydrogels (NCC) from different types of semi-fibrous. As a result of experiment were identified the hydrogels with NCC particles thin rods with the following geometric parameters: length 500–700 nm, width 50–80 nm

Key words: nanocrystalline cellulose, NCC, nanomaterials, nanocomposites, reinforcements, rheology, mechanical properties.

**Круглов Д.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВОВ НА КАЧЕСТВО ЛАМИНИРОВАННЫХ ПЛИТ.**

Для уточнения требований, которым должны отвечать пропиточные составы на основе синтетических полимеров и оценки их влияния на готовые ламинированные плиты, были

проведены исследования на отобранных видах катализаторов для каждого испытуемого пропиточного состава. Показано, как влияет вид катализатора на свойства готового материала. Предложено направить дальнейшие исследования на изучение целевых добавок, позволяющих повысить долговечность покрытия.

Ключевые слова: пропиточные составы, синтетические полимеры, готовые ламинированные плиты, отобранные виды катализаторов, свойства готового материала, целевые добавки, долговечность покрытия.

**Kruglov D.V. STUDY NEW TYPE IMPREGNATING COMPOUNDS AFFECT ON QUALITY LAMINBOARDS.**

For accurate definition objective, which have answer the impregnating compounds on basis of synthesized polymers and assessment they influence on finished laminboards, was carry out study on selected type catalysts for every test impregnating compound. It is shown what the type catalyst on characteristic ready material affects. It is offered to direct the further studies on study target additives, allowing raise longevity of the covering.

Key words: impregnating compounds, synthesized polymers, finished laminboards, selected type catalysts, ready material affects, target additives, longevity of the covering.

**Воронин И.А., Дирацунян А.А., Алашкевич Ю.Д. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА В РАЗМОЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ С ИНЕРЦИОННЫМИ ТЕЛАМИ.**

В статье представлена методика расчета основных технологических параметров процесса размола в размольной установке с инерционным движением рабочих тел, таких как секундная режущая длина и циклическая элементарная длина. Целью исследований является определение влияния различных углов скрещивания ножей размольного тела и барабана на качество размалываемого волокнистого полуфабриката.

Ключевые слова: размол, инерционные тела, волокнистая суспензия, углы скрещивания, секундная режущая длина, циклическая элементарная длина.

**Voronin I.A., Diratsujan A.A., Alashkevich J.D. CALCULATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETRES OF PROCESS BEATING IN РАЗМОЛЬНОЙ TO INSTALLATION WITH INERTIAL BODIES.**

In article the design procedure of the basic technological parametres of process beating in beating is presented installation with inertial movement of working bodies such as, second cutting length and cyclic elementary length. The purpose of researches is definition of influence of various corners of crossing of knives beating the body and a drum on quality of a ground fibrous half-finished product.

Key words: beating, inertial bodies, fibrous suspension, force of inertia, crossing corners, second cutting length, cyclic elementary length.

**Ерофеева А.А., Ковалев В.И., Алашкевич Ю.Д., Барановский В.П. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В РАЗМОЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ.**

В представленной работе поставлена задача определения количественной зависимости основных физических параметров водяной струи при контакте ее с неподвижной преградой в зависимости от изменения температуры.

Ключевые слова: динамическая вязкость, поверхностное натяжение, жидкость, волокнистая суспензия, скорость минимальной струи, давление истечения, давление при ударе.

**Erofeeva A.A., Kovalev V.I., Alashkevich J.D., Baranovsky V.P. INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE BASIC PHYSICAL PARAMETERS AT LIQUID CURRENT IN РАЗМОЛЬНОЙ TO INSTALLATION.**

In the submitted work the problem of definition of quantitative dependence of the basic physical parameters of a water jet is put at its contact to a motionless barrier depending on change of temperature.

Key words: dynamic viscosity, superficial tension, liquid, fibrous suspension, speed of the minimum stream, pressure of the expiration, pressure at blow.

**Угрюмов С.А., Свешников А.С. КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОЙ ФАНЕРЫ.**

Представлены результаты математической обработки результатов экспериментального плана второго порядка по оценке влияния некоторых технологических факторов на физико-механические характеристики композиционной фанеры с внутренним слоем на основе древесной стружки.

Ключевые слова: композиционная фанера, эксплуатационные характеристики, экспериментальный план второго порядка, управляемые факторы, уравнение регрессии.

**Ugryumov S.A., Svshnikov A.S. COMPLEX RESEARCH OF PROPERTIES OF COMPOSITE PLYWOOD.**

Results of mathematical processing of results of the experimental plan of the second order according to influence of some technology factors on physicomachanical characteristics of composite plywood with an inside layer on the basis of a wood shaving are presented.

Key words: composite plywood, operational characteristics, the experimental plan of the second order, operated factors, the regress equation.

**Боровков Е.А., Угрюмов С.А. К ВОПРОСУ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ И КОСТРЫ ЛЬНА.**

Рассмотрены основные направления модернизации производства древесных плит и фанеры на выпуск материалов с использованием костры льна, представлены технико-экономические показатели производства древесно-стружечных плит на основе совмещенных наполнителей (древесины и костры), кстроплит, композиционной фанеры.

Ключевые слова: древесный наполнитель, костра льна, композиционные материалы, кстроплита, композиционная фанера, экономическая эффективность.

**Borovkov E.A., Ugryumov S.A. TO THE QUESTION ON ECONOMIC EFFICIENCY OF MANUFACTURE OF PLATES ON THE BASIS OF WOOD AND FLAX FIRES.**

The basic directions of modernisation of manufacture of wood plates and plywood on release of materials with use flax fires are considered, technical and economic indicators of manufacture of wood plates on the basis of the combined particles (wood and fires), plates on a basis fires and composite plywood are presented.

Key words: wood particles, particles of a fire of flax, composite materials, a plate on a basis flax fires, composite plywood, economic efficiency.

**Запруднов В.И., Козлова Е.Б. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИБРО-ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТВЕРДЕНИИ.**

Рассмотрено влияние давления прессования на напряженно-деформированное состояние фибро-цементных плит. Приведена оценка внутренних напряжений в конечной стадии твердения фибро-цементной плиты и влияния свойств древесины и цемента на их величину.

Ключевые слова: фибро-цементные плиты, давление прессования, внутренние напряжения.

**Zaprudnov V.I., Kozlova E.B. STRESS-STRAIN STATE OF WOOD WOOL CEMENT MATERIALS IN HARDENING.**

The influence of compacting pressure on the stress-strain state of wood wool cement boards is analyzed. The estimation of internal stresses in the final hardening stage of wood wool cement board and the influence of wood properties and cement on their value is presented.

Key words: wood wool cement board, pressure of pressing, internal pressure.

**Ильющенко И.С., Сизов А.П. ВЫБОР СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРЕБУЕМОГО МОМЕНТА ПРИ УСЛОВИИ МИНИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ РАБОЧЕГО ТЕЛА.**

Современные космические аппараты, платформы обладают сложной двигательной установкой, в состав которой входит избыточное количество двигателей. В данной работе представлен алгоритм, позволяющий выбирать схему включения двигателей с целью создания требуемого управляющего воздействия при условии минимизации затрат рабочего тела. Одним из основных преимуществ является то, что он не зависит от количества двигателей космического аппарата, платформы, их типа, а также не накладывает ограничений на их конструктивное расположение, что делает его универсальным.

Ключевые слова: космический аппарат, рабочее тело, двигатель, алгоритм.

**Ilyushchenko I.S., Sizov A.P. SELECTION SCHEME FOR TURNING THE ENGINE OF THE SPACECRAFT TO CREATE THE REQUIRED MOMENT TO MINIMIZE THE COST OF THE WORKING MASS.**

Modern space vehicles, cosmic platforms have a complex propulsion system, which includes excessive engines. This research presents an algorithm to choose the scheme for turning the engine to generate the required control action, subject to minimizing the cost of a working mass. One of the main advantages is that it doesn't depend on the number of engines of the spacecraft, cosmic platforms, and their type, and does not impose any restrictions on their constructive position, which makes it universal.

Key words: spacecraft, working mass, engine, algorithm.

**Скорняков В.А., Валов Н.Н. НЕЙРОМОДЕЛИ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.**

Рассматриваются вопросы автоматизации оперативного анализа состояния космических аппаратов на основе принципов искусственного интеллекта с использованием в качестве базовой модели «модуля-нейрона», описанного с помощью гибридных математических конструкций и ассоциативных адресных связей. Описывается решение задач оперативного анализа полета космического аппарата в Центре управления полетами.

Ключевые слова: космический аппарат, телеметрическая информация, автоматизация оперативного анализа, нейромоделирование, системы искусственного интеллекта, гибридные математические модели, ассоциативные связи.

**Skornyakov V.A., Valov N.N. NEUROMODELS IN THE DECISION OF AUTOMATION STATE ANALYSIS OF SPACE VEHICLES.**

The review is given about the issues of operation state analysis's automation of space vehicles on the basis of artificial intelligence with the use of «neuron module» as a basic model described with the help of hybrid mathematical constructions and address associative links. The tasks of the operative analysis of a space vehicle's flight are described in the Mission control centre.

Key words: space vehicle, telemetry information, on-line analysis automation, neuromodelling, artificial intelligence, hybrid mathematical models, associative links.



### **Бурделев А.В. ОБЛЕГЧЕНИЕ КРИТЕРИЯ ХАФФМАНА ДЛЯ МОНОТОННЫХ САМОДВОЙСТВЕННЫХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ.**

В статье рассматривается класс регулярных систем самодвойственных монотонных булевых функций. Класс самодвойственных монотонных булевых функций включает в себя класс пороговых булевых функций; таким образом, полученные результаты верны для регулярных систем пороговых булевых функций. В статье показано, что сумма независимых в совокупности самодвойственных монотонных булевых функций не может являться самодвойственной монотонной булевой функцией. С помощью этого факта осуществлено облегчение критерия Хаффмана для класса регулярных систем монотонных булевых функций.

Ключевые слова: пороговая функция, регулярная система, самодвойственная функция.

### **Burdelev A.V. SIMPLIFICATION OF CRITERION HUFFMAN FOR MONOTONOUS SELF-DUAL BOOLEAN БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ.**

The article describes the class of regular systems of Boolean self-duality monotone functions. The class of Boolean self-duality monotone functions includes the class of Boolean threshold functions; thereby, these results are true for the regular systems of Boolean threshold functions. The article shows that the sum of independent in the aggregate self-duality monotone functions can not be the self-duality monotone function. With the help of this fact the Huffman's criterion is lightened for the class of regular systems of Boolean self-duality monotone functions.

Key words: threshold function, regular system, self-duality function.

### **Шипов Н.В. СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛА $P(1/x)$ В ПРОСТРАНСТВЕ ОБОБЩЕННЫХ ФУНКЦИЙ МЕДЛЕННОГО РОСТА.**

Найдена в явном виде альтернативная формула представления функционала – обобщенной функции  $P(1/x)$  (и всех его производных) в пространстве обобщенных функций медленного роста, что позволяет проводить в явном виде оценки функционалов всех производных, а также устанавливать новые соотношения этих функционалов с другими обобщенными функциями. Найдены нечетные коэффициенты Фурье  $a_{2k+1}$  разложения функционала  $P(1/x)$  по ортонормальной системе функций Эрмита, четные коэффициенты равны нулю. Отмечается, что число слагаемых в сумме для  $a_{2k+1}$  ограничено и не превышает индекс  $k$ . Отмечается, что рассмотренные функционалы не являются положительно определенными обобщенными функциями.

Ключевые слова: функционал функций медленного роста, коэффициенты Фурье.

### **Shipov N.V. PROPERTIES FUNCTIONAL $P(1/x)$ IN SPACE OF THE GENERALIZED FUNCTIONS OF SLOW GROWTH.**

Generalized function  $P(1/x)$  (and all its derivatives) the alternative formula of representation functional is found in space of the generalized functions of slow growth that allows to spend in an explicit form estimations functional of all derivatives in an explicit form, and also to establish new parities of these functional with other generalized functions. Odd factors of Fure  $a_{2k+1}$  decomposition functional  $P$  are found  $(1/x)$  on orthonormality system of functions of Ermita, even factors are equal to zero. It is noticed that the number composed in the sum for  $a_{2k+1}$  is limited and doesn't exceed an index  $k$ . It is noticed that considered functional aren't positively certain generalized functions.

Key words: functional functions of slow growth, factors of Fure.

### **Чердниченко А.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ИСПОЛНЯЕМОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ.**

Данная статья описывает реализацию механизмов интеграции отдельных модулей в единую исполняемую среду. В качестве конкретного приложения исполняемой среды приведена система для создания лингвистических процессоров путем объединения реализованных модулей.

Ключевые слова: лингвистические процессоры, модуль, автоматизация процесса документирования.

**Cherednichenko A.V. AUTOMATION OF DOCUMENTING PROCESS BY IMPLEMENTATION OF THE RUNTIME ENVIRONMENT FOR NATURAL LANGUAGE PROCESSORS CREATION**

This article describes implementation of mechanisms for integration of external modules in the common runtime. Concrete application of described runtime is runtime for creating language processors from different external separate modules.

Key words: language processors, modules, automation of documenting process.

**Самолдин А.Н., Сладков С.Л. МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА.**

В статье ставится вопрос о необходимости определения эффективности использования инновационного потенциала в России. Рассмотрены исследовательские подходы к определению инновационного потенциала предприятия, а также проанализированы основные составляющие инновационной инфраструктуры.

Ключевые слова: методики, эффективность, инновационный потенциал.

**Samoldin A.N., Sladkov S.L. TECHNIQUES OF DEFINITION OF EFFICIENCY OF USE OF INNOVATIVE POTENTIAL.**

In article the attention to the question on necessity of definition of efficiency of use of innovative potential in Russia is brought. Research approaches to definition of innovative potential of the enterprise are considered. Also the basic components of an innovative infrastructure are analysed.

Key words: methods, effectiveness, innovation potential.

**Конков В.И. РОЛЬ КОНТРОЛЛИНГА В ФОРМИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛПК.**

Была рассмотрена необходимость выбора системы показателей исходя из стратегических целей развития предприятия. Предложена система аналитических показателей для стратегического контроллинга.

Ключевые слова: стратегический контроллинг, сбалансированная система показателей, ключевые показатели эффективности.

**Konkov V.I. THE ROLE OF CONTROLLING FOR FORMING OF SYSTEM OF INDICATORS IN WORKING OF TIMBER INDUSTRY'S ENTERPRISES.**

The necessity of choosing the system of indicators due to strategic purposes for development of business was considered. System of analytical indicators for strategic controlling has been offered.

Key words: strategic controlling, balanced scorecard, key performance indicators.

**Игнатов В.И. КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ВЫПУСКНИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ВУЗОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.**

Дан анализ конкурентоспособности выпускников технических вузов, рассмотрены перспективы ее повышения.

Ключевые слова: анализ конкурентоспособности, выпускники.

**Ignatov V.I. COMPETITIVENESS OF GRADUATES OF TECHNICAL SPECIALITIES OF HIGH SCHOOLS IN MODERN CONDITIONS.**

The analysis of competitiveness of graduates of technical high schools is given, prospects of its increase are considered.

Key words: analysis of competitiveness, graduates.