

Вестник Московского  
государственного  
университета леса

# Лесной вестник

ISSN 1727-3749

2009 № 2 (65)

- *Анализ анатомического строения древесины березы*
- *Наноструктурная организация и пути улучшения структуры почв*
- *Классификация обрабатывающих транспортных систем заготовки*
- *Гибкие лесообрабатывающие процессы лесозаготовительных предприятий*
- *Об измельчении пней конической фрезой с жидкостным наполнителем*
- *Деформирование древесно-стружечных плит при изменении их влагосодержания*
- *Нагрев измельченной древесины в среде насыщенного пара*
- *О способе построения взаимно однозначных отображений при помощи квазидамаровых матриц*
- *Оценка риска столкновения при сближении МКС с наблюдаемыми космическими объектами*



## СОДЕРЖАНИЕ

### Лесное хозяйство

Егорова Н.Н., Кулагин А.А.	<i>Анатомическое строение ассимиляционного аппарата березы бородавчатой (Betula pendula roth.) и тополя бальзамического (Populus balsamifera l.) в экстремальных лесорастительных условиях</i> .....	4
Пономарев А.Г., Татарина Т.Д., Перк А.А., Бубякина В.В., Алексеев В.А.	<i>Физиолого-биохимические характеристики Betula platyphylla в связи с условиями произрастания на многолетней мерзлоте</i> .....	12
Амосова И.Б., Феклистов П.А.	<i>Анализ анатомического строения древесины березы</i> .....	16
Иванов А.В.	<i>Исследования роста провений ели в географических культурах южной подзоны тайги</i> .....	19
Биржов А.В., Шошин В.И.	<i>Общая фитомасса лесных культур сосны различной густоты посадки к возрасту спелости в Брянском лесном массиве</i> .....	24
Коннова Л.В., Любимов В.Б.	<i>Оценка степени загрязнения и состояния макрозообентоса реки Болвы в черте города Брянска</i> .....	27
Бессчетнова Н.Н.	<i>Оценка эффективности отбора плюсовых деревьев сосны обыкновенной в испытательных культурах в Нижегородской области</i> .....	31
Захарова Е.И.	<i>Сравнение эффективности семенного и вегетативного способов размножения интродуцированных в Нижегородскую область древесных представителей семейства бобовые</i> .....	37
Устинов М.М., Устинов М.В.	<i>Моделирование товарной структуры ели, выбираемой при рубках ухода</i> .....	43
Янгутов И.А., Филипчук А.Н.	<i>Невесомые полезности леса и лесоустройство (памяти М.М. Орлова посвящается)</i> .....	48
Климачева Т.В., Прокошева К.Ю.	<i>Рекреационный потенциал лесов Прикамья</i> .....	52
Федотов Г.Н., Путляев В.И., Рудометкина Т.Ф., Иткис Д.М., Шалаев В.С.	<i>Наноструктурная организация и пути улучшения структуры почв</i> .....	58

### Лесоинженерное дело

Якимович С.Б., Тетерина М.А.	<i>Классификация обрабатывающих транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины</i> .....	67
Борисов В.А.	<i>Исследование движения лесовозных автопоездов на горизонтальных кривых</i> .....	73
Борисов В.А.	<i>Учет параметров движения и анализ устойчивости лесовозных автопоездов при торможении</i> .....	80
Дац Ф.А., Назаренко А.С.	<i>Роль и значение человека-оператора в управлении техническим состоянием тракторов Джон Дир в условиях Вологодской области</i> .....	86
Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Допперт В.А.	<i>Обоснование стратегии стадийного повышения эксплуатационно-экологического уровня лесовозных автомобильных дорог</i> .....	91
Кириллов Ф.А.	<i>Повышение надежности дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог</i> .....	94
Подрубалов М.В.	<i>Анализ отечественных и международных стандартов по нормам и методам оценки вибрации на колесных мобильных машинах</i> .....	98
Романов Е.С., Лаврова И.В.	<i>Доступность ресурсов сырья для лесопиления в Архангельской области на современном этапе</i> .....	101

Шадрин А.А.	<i>Транспортное обслуживание станков в лесообрабатывающем цехе при их гибкой компоновке</i> .....	106
Шадрин А.А.	<i>Гибкие лесообрабатывающие процессы лесозаготовительных предприятий</i> .....	108
Пискунов М.А.	<i>К вопросу об исследовании свойств хворостяного настила на волокнах при проходах трелевочного трактора</i> .....	111
Цыплаков В.В., Фокин С.В.	<i>Об измельчении пней конической фрезой с жидкостным наполнителем</i> .....	115
Кондрашова Е.В.	<i>Поиск оптимального варианта лесовозной автомобильной дороги в системе автоматизированного проектирования</i> .....	117
Котов А.А.	<i>Процесс питания рабочего органа машины для химического ухода за лесными культурами</i> .....	121
Котов А.А.	<i>Исследование потерь препарата из покрытия рабочего органа контактной гербицидной машины</i> .....	124

### **Деревообработка**

Азаров В.И., Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Дроздова В.С.	<i>Влияние модификаторов на технологические параметры модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров</i> .....	129
Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В., Архипов А.С.	<i>Напряжения в элементах структуры древесно-стружечных плит</i> .....	133
Тулузаков Д.В., Спирин Б.Л.	<i>Деформирование древесно-стружечных плит при изменении их влагосодержания</i> .....	136
Сафин Р.Р., Петров В.И., Герасимов М.К., Разумов Е.Ю., Галяветдинов Н.Р.	<i>Разработка комбинированной технологии сушки оцилиндрованных бревен</i> .....	139
Байгильдеева Е.И., Рыбин Б.М., Рыкунин С.Н., Халитов Р.А., Разумов Е.Ю.	<i>Нагрев измельченной древесины в среде насыщенного пара</i> .....	143
Рябков В.М., Лапин А.С., Трофимов М.А., Карчин Ф.А.	<i>Автоматизация проектирования и производства в деревянном малоэтажном домостроении</i> .....	147

### **Математическое моделирование**

Антонец А.В.	<i>Конструктивные полиномиальные аппроксимации функций с кратными узлами</i> .....	152
Никонов В.Г., Сидоров Е.С.	<i>О способе построения взаимно однозначных отображений при помощи квазиадмаровых матриц</i> .....	155
Затенко С.И., Уткин Л.В.	<i>Новая дискретная байесовская модель надежности программного обеспечения с использованием интервальных вероятностей</i> .....	158
Козориз А.И., Скорняков В.А.	<i>Оценка риска столкновения при сближении МКС с наблюдаемыми космическими объектами</i> .....	164

### **Экономика**

Шестопалова Н.С.	<i>Конкурентоспособность на мировом рынке</i> .....	168
Кузнецов М.А.	<i>Оптимизация закупочной деятельности корпорации в условиях финансового кризиса</i> .....	171
Аляутдинов М.Р.	<i>Планирование и оперативное управление производством в MES-системе</i> .....	176
Петунин А.А.	<i>Институциональное окружение предприятий лесного сектора и их экономическая безопасность</i> .....	179

## АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА БЕРЕЗЫ БОРОДАВЧАТОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) И ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО (*POPULUS BALSAMIFERA* L.) В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Н.Н. ЕГОРОВА, науч. сотр. лаборатории лесоведения Института биологии УНЦ РАН,  
канд. биол. наук,

А.А. КУЛАГИН, вед. науч. сотр. лаборатории лесоведения Института биологии УНЦ РАН,  
д-р биол. наук

*smu @ anrb.ru; kulagin-aa@mail.ru*

Общеизвестно, что растения реагируют на различные стрессовые воздействия изменениями роста, биомассы, продолжительности жизни, темпов размножения, при этом путем сопоставления этих показателей по природным и техногенным экотопическим рядам можно с достаточной достоверностью оценить экологическую ситуацию, адаптивные возможности и степень их проявления у лесообразующих видов в тех или иных ситуациях [5].

Говоря об адаптациях растений к экстремальным факторам среды, мы должны признать эти факторы постоянно или периодически действующими в среде обитания и исключить из их числа различные по происхождению и содержанию эпизодические и кратковременные неблагоприятные влияния. Последнее не означает, что они экологически несущественны; их необходимо исследовать, но анализировать следует в связи с внеотборными формами приспособлений [2].

Термином «экстремальные условия или факторы» целесообразно обозначать гипо- и гиперпессимальные, вплоть до сублетальных, значения любых факторов среды, отрицательно влияющих на рост, размножение и расселение растений вследствие нарушения метаболизма, органогенеза и повреждения растений к постепенно нарастающим экстремальным условиям среды. Следует отметить особую актуальность определения сроков «исчерпания» имеющихся у растений адаптаций и создания новых адаптивных связей за счет преадаптаций и активации рудиментарных структур. Последнее относится к числу слабо изученных вопросов современной экологии. Без полной расшифровки адаптивного потенциала лесообразующего вида

нельзя обеспечить не только экологическое прогнозирование и органически связанные с ним долгосрочное планирование и проектирование новых технологий природопользования, но и даже провести ретроспективное объяснение причин и предпосылок возникновения дендроэкологических кризисных ситуаций [2].

Современная экологическая ситуация характеризуется интенсивностью воздействия техногенных факторов. Руководствуясь этими положениями, мы провели исследования по изучению анатомического строения листьев березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.) и тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) при произрастании в экстремальных лесорастительных условиях.

Целью работы являлось сравнительное изучение изменчивости и особенностей развития тканей ассимиляционного аппарата березы бородавчатой и тополя бальзамического, произрастающих в экстремальных условиях в течение вегетационного периода.

### Характеристика экотопов

Отвалы Башкирского медно-серного комбината (БМСК) (г. Сибай) расположены в подзоне южной лесостепи Зауралья. Леса представлены березовыми колками по понижениям рельефа и на теневых склонах возвышенностей. Широколиственные породы отсутствуют. Рельеф равнино-увалистый. Отвалы Башкирского медно-серного комбината находятся в районе Башкирского горнорудного промышленного узла [3].

Климат теплый, засушливый. Сумма эффективных температур в районе 2000–2200 °С. Продолжительность периода активной вегетации составляет 127–136 дней.

Безморозный период длится 100–120 дней. За период вегетации выпадает 150–200 мм осадков. Высота снежного покрова к концу февраля редко превышает 20 см. Гидротермический коэффициент (ГТК по Селянину) 0,8–1,0. В почвенном покрове преобладают южные черноземы, солонцеватые черноземы и солонцы. На выходах плотных пород – маломощные грубоскелетные почвы [14].

Отвалы Учалинского горно-обогатительного комбината (УГОК) расположены на юго-восточной границе подзоны предлесостепных сосново-березовых лесов. Преобладают сосновые и сосново-березовые леса, реже встречаются осиники, в заболоченных местах – березняки из березы пушистой (*Betula pubescens Ehrh.*). Рельеф низкогорный. Отвалы Учалинского горно-обогатительного комбината находятся на территории Белорецкого промышленного узла [3].

Климат переходный от умеренно-теплого к теплому, среднеувлажненный. Сумма эффективных температур в районе 1500–1800 °С. Продолжительность периода активной вегетации составляет 106–110 дней. Безморозный период длится 90–100 дней, в случае поздневесенних или раннеосенних заморозков сокращается на 30 дней. За период активной вегетации выпадает от 200 до 300 мм осадков. Максимальная высота снежного покрова около 50 см. Гидротермический коэффициент изменяется от 1,2–1,8. Почвенный покров образуют различные лесостепные почвы, участками встречаются горно-дерново-подзолистые, а на высоте – типичные высокогумусные обыкновенные черноземы [14].

Отвалы медноколчеданных месторождений Учалинского горно-обогатительного комбината и Башкирского медно-серного комбината (г. Сибай) сложены скальными плохо выветривающимися кварцитами, порфиритами, пиритами и глинами. Почвогрунты на этих отвалах (возраст отвала 15–20 лет) еще не имеют морфологической выраженности генетических горизонтов и характеризуются малым содержанием гумуса, слабощелочной реакцией среды и довольно высоким содержанием (особенно почвогрунты БМСК) поглощенных оснований. Почвогрунты бедны азотом и в большинстве случаев – фосфором [3, 5].

Отвалы буроугольных разработок расположены в г. Кумертау, который относится к району Стерлитамакского промышленного узла. Отвалы Кумертауского буроугольного разреза характеризуются большой неоднородностью состава отсыпных пород. Коренные породы представлены пермскими и третичными глинами, конгломератами, песчаниками, известняками, древнеаллювиальными песками и галечником. В связи с многообразием состава коренные породы различны и по реакции среды: кислые, слабокислые, щелочные (карбонатные). Техногенные почвогрунты и молодые почвы Кумертауских отвалов бедны азотом, подвижным фосфором и характеризуются сравнительно высоким количеством поглощенных оснований. Рельеф равнинный полого-возвышенно-холмистый на юге и востоке [3, 5].

Климат характеризуется континентальностью и умеренным увлажнением. Сумма активных температур в районе 2200–2300 °С. Безморозный период имеет продолжительность 116–124 дня. Осадков за период активной вегетации выпадает в среднем около 200 мм, максимальная высота снежного покрова не превышает 40 см. Гидротермический коэффициент около 1,0 [3, 14].

Стерлитамак (промышленная зона). Рельеф характеризуется обширными низменными террасовыми полого-увалистыми равнинами. Большая часть территории района занята обширными степными пространствами, ныне распаханнами, и лишь небольшие участки принадлежат широколиственным лесам. К поймам рек приурочены осокоревые и ольховые леса с примесью дуба, липы и вяза. Почвенный покров представлен типичными и выщелочными черноземами, местами темно-серыми и серыми лесными почвами [3].

Климат характеризуется континентальностью и недостаточным увлажнением, но самый теплый и плодородный. Сумма активных температур в районе 2300 °С. Продолжительность периода с температурами выше 10 °С составляет 139 дней, безморозного – 120–130 дней. Продолжительность вегетационного периода 170 дней с 21 апреля по 10 октября. Среднее годовое количество осадков 350–450 мм. Средняя мощность снежного

покрова к концу зимы достигает 25 см. ГТК составляет от 0,8 до 1,0 [3, 14].

Возникшее около 250 млн лет назад Уфимское плато, благодаря мощному кристаллическому фундаменту, не подвергалось перестройкам Уральской горной страны, а низкогорный характер приобрело исключительно за счет денудационных процессов. Плато сложено легкорастущими сакмаро-артинскими известняками и отчасти известковидными доломитами [9, 10]. Эти породы часто кремнистые [1], а на отдельных участках сильно фосфоритизированы, вплоть до пластовых фосфоритов [6]. Поверх этих пород в большинстве случаев развит маломощный элювио-делювий из хрящеватых глин и тяжелых суглинков, чаще всего сильно карбонатных, но в центральной части плато по правобережью р. Юрюзань во многих местах коренные породы перекрыты третичными (пермскими) бескарбонатными глинами, которые встречаются изредка и в других частях плато [6]. По днищам долин и логов мощные аллювиально-делювиальные отложения, древние карстовые депрессии заполнены континентальными осадками (глины, пески, галечники) олигоцена и неогена [9].

Многолетняя почвенная мерзлота открыта гидрогеологом А.Г. Лыкошиным в начале 50-х годов XX-го столетия при изыскательных работах на Павловском створе [11]. В 1971 г. мерзлотность грунтов была обнаружена на глубине 1–1,5 м при изучении зеленомошных ельников и сосняков сотрудниками лаборатории лесоведения Института биологии БФАН СССР под руководством Ю.З. Кулагина. В настоящее время многолетнее промерзание элювиально-делювиальной толщи известняка, нижних почвенных и подпочвенных слоев прослежено и ниже по течению от плотины Павловской ГЭС. Явление почвенной мерзлоты достаточно подробно охарактеризовано в фитоценотическом, почвенном, эколого-лесоведственном отношении в работах Ю.З. Кулагина (1976) и Ю.З. Кулагина с сотрудниками (1978).

По природным условиям район представляет собой северную лесостепь. Леса широколиственные и хвойные, на западе местами заболоченные. В растительном покрове

Уфимского плато преобладают елово-пихтовые леса 2–3 бонитетов со значительной примесью широколиственных пород. К вторичным лесам здесь относятся березовые, осиновые 2–3 бонитетов и липовые 4–5 бонитетов. Местами на склонах встречаются сосновые и лиственничные леса. Рельеф местности увалисто-равнинный. Почвы дерново-подзолистые, светло- и темно-серые, местами выщелочные и оподзоленные черноземы [3].

Сумма температур за период с температурами выше 10 °С изменяется в пределах 1800–2000 °С. Продолжительность его составляет 119–127 дней. Безморозный период составляет 90–100 дней. Среднее годовое количество осадков колеблется от 550 до 600 мм, за период с температурой выше 10 °С выпадает 225–250 мм осадков. ГТК изменяется в пределах 1,2–1,4. Средняя высота снежного покрова – достигает 45–60 см [3, 14].

### Методика

Эксперименты проводились с листовыми пластинками березы бородавчатой и тополя бальзамического. Выбор объекта обусловлен тем, что оба вида повсеместно встречаются в Республике Башкортостан, часто используются в качестве тест-объекта и служат хорошей моделью для разнообразных исследований.

Известно, что после окончания отсыпки участков отвала в составе поселяющихся растений появляются анемохорные виды растений, семена которых могут распространяться на значительные расстояния. К таким видам относятся тополь и береза [13].

Было заложено девять пробных площадей – пять в насаждениях березы бородавчатой и четыре в насаждениях тополя бальзамического (поскольку тополь бальзамический является интродуцентом и в естественных местообитаниях на Уфимском плато не встречается). Пробные площади располагаются в городе Сибее (на отвалах Башкирского медно-серного комбината), в городе Учалы (на отвалах Учалинского горно-обогачительного комбината), в городе Кумертау (на отвалах Кумертауского бурогольного разреза), в городе Стерлитамаке (промышленная зона) и на Уфимском плато (многолетняя почвенная

мерзлота). Возраст насаждений составлял 40–50 лет.

Отбирали листья березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.) и тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) из средней части кроны в течение вегетационного периода – июнь, июль, август. Для точного анализа листья отбирали со 100 растений из средней части кроны. После сбора материала образцы помещали в сосуды со спиртом. Из средней части листовой пластинки готовили поперечные срезы. Далее работы проводили опираясь на руководство по эксплуатации ОМТ-01.00.000РЭ. Образцы после фиксации помещали в водно-белковую смесь (тщательно перемешанная, отфильтрованная смесь белка куриного яйца с дистиллированной водой в соотношении 1:1); для дезинфицирования раствора добавляли тимол. Затем срез помещали на рабочую площадку столика охладителя микротомы электрического ОМТ – 28-02 «Е» в вертикальном направлении (для получения поперечных срезов). Для дополнительной фиксации на основание среза пипеткой добавляли несколько капель дистиллированной воды. Закрыв колпачком рабочую площадку замораживающего столика, срез промораживали в течение 1–3 минут. Срезы готовили при температуре – 18 °С. Далее производили резку материала, используя санный микротом (МС-2). Срезы готовили толщиной 20 мкм. Приготовив временный препарат, изучали форму клеток, толщину отдельных слоев. Все операции производили под микроскопом (JENAMED-2 Carl Zeiss) при 192-кратном увеличении. Всего было исследовано 130 листовых пластинок. Описательная статистическая обработка результатов проводилась общепринятыми методами с использованием статистического пакета MS Excel 2000 [8].

### Результаты и их обсуждение

Результаты настоящих исследований показывают изменения значений толщины отдельных слоев и приведены в табл. 1 и 2.

Нами изучался ассимиляционный аппарат листьев в течение вегетационного периода. Анализируя результаты исследований, следует отметить, что у березы бородавчатой толщина слоев листовых пластинок увеличивается в

городах Сибая, Учалы, Кумертау и на Уфимском плато, а у тополя бальзамического – во всех исследуемых экотопах, где он встречается (Сибай, Учалы, Кумертау, Стерлитамак).

В каждом варианте эксперимента было по пятьдесят повторностей, что обеспечило достаточную точность эксперимента. В результате анализа установлено, что ошибки средних параметров составили от 0 до 1,65 мкм. В условиях техногенного загрязнения окружающей среды клетки внешних слоев стали прилегать плотнее друг к другу и увеличиваться в размерах. Каждый месяц вегетационного периода отличается более значительным увеличением внешних слоев.

Средние значения толщины листовых пластинок за вегетационный сезон повышаются (табл. 1 и 2).

#### *Береза бородавчатая.*

Установлено, что у листовых пластинок березы верхняя кутикула изменяется в пределах от 0,74 до 1,19 мкм. У ряда образцов, собранных на отвалах Башкирского медно-серного комбината, на верхней кутикуле имелся восковой налет. За период вегетации верхняя кутикула постепенно увеличивается на 29 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения толщины верхней кутикулы варьируют в течение вегетационного периода от 28 до 18 %. На отвалах Кумертауского бурогольного разреза за период вегетации значения изменяются и увеличиваются к концу вегетации на 7 %. В городе Стерлитамаке (промышленная зона) верхняя кутикула за период вегетации постепенно уменьшается на 10 %. На Уфимском плато (многолетняя почвенная мерзлота) за период вегетации значения верхней кутикулы различаются по месяцам вегетации и к концу вегетационного периода уменьшаются на 1 %. При просмотре поперечного среза листовой пластинки четкой границы между верхней кутикулой и эпидермисом не прослеживается.

Верхний эпидермис изменяется в пределах от 0,81 до 2,10 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации значения верхнего эпидермиса возрастают в июле до 50 %, но к августу снижаются до исходных значений.

**Сезонная динамика изменчивости тканей ассимиляционного аппарата березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.)**

Пробная площадь	Сроки отбора образцов	Толщина отдельных слоев листовой пластинки					
		В.к. (мкм)	В.э. (мкм)	С.п. (мкм)	Г.п. (мкм)	Н.э. (мкм)	Н.к. (мкм)
БМСК	июнь	0,92±0,04	1,39±0,08	6,00±1,65	7,11±0,20	0,89±0,57	0,71±0,06
	июль	1,01±0,07	2,08±0,27	5,04±0,37	9,81±1,23	0,96±0,10	0,73±0,07
	август	<b>1,19±0,07</b>	1,44±0,14	4,79±0,14	9,36±0,53	0,84±0,03	<b>0,74±0,03</b>
УГОК	июнь	<b>0,74±0,06</b>	0,89±0,11	5,86±0,38	6,80±0,45	0,73±0,03	0,60±0,06
	июль	0,95±0,02	1,58±0,05	<b>4,05±0,20</b>	6,64±0,44	0,76±0,03	0,63±0,02
	август	0,87±0,03	<b>0,81±0,06</b>	<b>6,08±0,08</b>	<b>16,55±0,56</b>	<b>0,99±0,06</b>	0,66±0,56
КБУ	июнь	0,86±0,04	1,40±0,11	5,90±0,42	<b>5,83±0,53</b>	0,81±0,05	0,59±0,02
	июль	0,82±0,06	1,53±0,12	4,47±0,22	6,99±0,38	0,79±0,07	0,59±0,08
	август	0,92±0,04	1,92±0,04	4,62±0,16	7,90±0,54	<b>0,99±0,05</b>	0,71±0,04
СПЦ	июнь	0,86±0,06	1,43±0,06	5,27±0,55	8,06±0,26	0,74±0,05	0,63±0,02
	июль	0,84±0,04	1,23±0,06	4,32±0,36	6,42±0,70	0,81±0,08	0,52±0,03
	август	0,77±0,03	1,19±0,09	4,08±0,24	6,22±0,50	0,71±0,07	0,52±0,03
УП	июнь	0,79±0,02	1,58±0,05	5,02±0,16	6,67±0,18	<b>0,69±0,02</b>	<b>0,5±0,04</b>
	июль	0,87±0,10	1,60±0,08	4,42±1,56	9,16±0,29	0,76±0	0,8±0,05
	август	0,78±0,08	<b>2,10±0,10</b>	4,59±0,23	8,69±0,63	0,96±0,05	<b>0,74±0,09</b>

Примечание: ± показывает стандартную ошибку при проведении описательной статистики; В.к. – верхняя кутикула, В.э. – верхний эпидермис, С.п. – столбчатая паренхима, Г.п. – губчатая паренхима, Н.э. – нижний эпидермис, Н.к. – нижняя кутикула. БМСК – отвалы Башкирского медно-серного комбината (г. Сибай), УГОК – отвалы Учалинского горно-обогатительного комбината (г. Учалы), КБУ – отвалы Кумертауского бурогольного разреза (г. Кумертау), СПЦ – промышленная зона (г. Стерлитамак), УП – многолетняя почвенная мерзлота (Уфимское плато). Жирным шрифтом выделены максимальные и минимальные значения.

**Сезонная динамика изменчивости тканей ассимиляционного аппарата тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.).**

Пробная площадь	Сроки отбора образцов	Толщина отдельных слоев листовой пластинки					
		В.к. (мкм)	В.э. (мкм)	С.п. (мкм)	Г.п. (мкм)	Н.э. (мкм)	Н.к. (мкм)
БМСК	июнь	<b>0,54±0,06</b>	0,86±0,02	6,51±0,47	6,77±0,28	<b>0,66±0,05</b>	0,60±0,04
	июль	0,71±0,02	<b>0,72±0,04</b>	6,80±1,23	8,15±0,32	0,84±0,06	0,55±0,03
	август	0,71±0,06	0,82±0,05	7,58±0,48	8,95±0,45	0,86±0,03	0,66±0,05
УГОК	июнь	<b>0,54±0,06</b>	0,86±0,02	6,51±0,47	6,77±0,28	<b>0,66±0,05</b>	0,60±0,04
	июль	0,78±0,06	0,92±0,14	<b>8,59±0,43</b>	8,34±0,98	0,91±0,03	0,62±0,06
	август	<b>0,94±0,03</b>	<b>1,48±0,07</b>	5,28±0,36	7,27±0,18	0,92±0,04	0,69±0,04
КБУ	июнь	0,81±0,02	0,92±0,09	7,71±0,15	9,02±0,46	<b>1,02±0,06</b>	<b>1,53±0,67</b>
	июль	0,79±0,02	0,84±0,03	7,26±0,30	8,54±0,36	1,01±0,04	0,72±0,02
	август	0,71±0,04	0,97±0,08	7,91±0,26	<b>10,20±0,16</b>	0,99±0,05	0,72±0,03
СПЦ	июнь	<b>0,54±0,08</b>	<b>0,72±0,14</b>	5,11±0,50	<b>6,09±0,97</b>	0,82±0,08	0,63±0,02
	июль	0,67±0,08	0,83±0,04	7,11±0,57	8,84±0,50	0,95±0,06	0,59±0,06
	август	0,67±0	1,13±0,46	<b>4,28±0,17</b>	7,18±0,04	1,01±0,08	<b>0,42±0</b>

Примечание: см примечание табл. 1

Также можно отметить очень крупные размеры клеток в середине вегетационного периода. На отвалах Учалинского

горно-обогатительного комбината значения верхнего эпидермиса к середине вегетационного периода увеличиваются на 78 % и

к концу вегетации уменьшаются до 9 %. На отвалах Кумертауского буроугольного разреза за период вегетации значения увеличиваются до 37 %. В городе Стерлитамаке верхний эпидермис за период вегетации постепенно уменьшается на 17 %. На Уфимском плато значения верхнего эпидермиса к концу вегетации постепенно увеличиваются до 33 %. К концу вегетации размеры клеток увеличиваются.

Столбчатая паренхима изменяется в пределах от 4,05 до 6,08 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации размеры столбчатой паренхимы постепенно уменьшаются к концу вегетации на 20 %. В начале вегетационного периода клетки тоньше, чем в Учалах, структура зернистая с хлорофиллом. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения столбчатой паренхимы уменьшаются на 31 %, а к концу вегетации увеличиваются на 4 %. В июне форма клеток эллипсоидная, удлинённая на концах. На отвалах Кумертауского буроугольного разреза значения толщины столбчатой паренхимы к концу вегетации уменьшаются на 17 %. В городе Стерлитамаке столбчатая паренхима за период вегетации постепенно уменьшается на 23 %. На Уфимском плато значения столбчатой паренхимы к концу вегетации уменьшаются на 9 %. Наблюдаются изменения в столбчатой паренхиме – структура к концу вегетации делится на два яруса.

Губчатая паренхима изменяется в пределах от 5,83 до 16,55 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации размеры губчатой паренхимы увеличиваются к середине вегетации на 38 %, а к концу вегетационного периода увеличиваются на 32 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения губчатой паренхимы варьируют, в июле уменьшаются на 2 %, а к концу вегетации увеличиваются на 143 %. На отвалах Кумертауского буроугольного разреза за период вегетации значения толщины губчатой паренхимы плавно увеличиваются на 36 %. В городе Стерлитамаке значения губчатой паренхимы за период вегетации постепенно уменьшаются на 23 %. На Уфимском плато

значения губчатой паренхимы к середине вегетационного периода увеличиваются на 37 %, а к концу вегетации на 30 %. В начале вегетации клетки губчатой паренхимы располагаются очень «рыхло», образуя крупные газоносные межклетники. В середине вегетационного периода губчатая паренхима имеет больший размер, форма клеток округленная.

Нижний эпидермис изменяется в пределах от 0,69 до 0,99 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации значения толщины нижнего эпидермиса сильно варьируют, но к концу вегетации уменьшаются на 6 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения толщины нижнего эпидермиса резко увеличиваются до 36 %. В начале вегетационного периода стенки нижнего эпидермиса утолщены. На отвалах Кумертауского буроугольного разреза за период вегетации значения варьируют, но к концу вегетационного периода увеличиваются на 22 %. В начале вегетации границы нижних слоев четко не прослеживаются. В городе Стерлитамаке значения нижнего эпидермиса за период вегетации варьируют, но к концу вегетации уменьшаются на 4 %. На Уфимском плато значения нижнего эпидермиса к концу вегетации постепенно увеличиваются на 39 %. В начале вегетации границы нижнего эпидермиса четко не прослеживаются.

Нижняя кутикула изменяется в пределах от 0,50 до 0,74 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации нижняя кутикула постепенно увеличивается на 4 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения нижней кутикулы тоже постепенно увеличиваются на 10 %. Толщина нижней кутикулы очень незначительная. На отвалах Кумертауского буроугольного разреза за период вегетационного периода значения возрастают на 20 % (к концу вегетации). В начале вегетационного периода четких границ не прослеживается. В городе Стерлитамаке значения нижней кутикулы за период вегетации резко уменьшаются на 17 %. На Уфимском плато за период вегетации значения нижней кутикулы изменяются в течение вегетационных пери-

одов и к концу вегетации увеличиваются на 48 %. При просмотре поперечного среза четкой границы между нижней кутикулой и эпидермисом в начале вегетационного периода не прослеживается.

*Тополь бальзамический.*

На примере проб листовых пластинок тополя можно проследить, что верхняя кутикула изменяется в пределах от 0,54 до 0,94 мкм. У ряда образцов на верхней кутикуле имелся восковой налет (г. Учалы). На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации верхняя кутикула увеличивается на 31 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения размеров верхней кутикулы постепенно увеличиваются на 74 %. На отвалах Кумертауского бурогольного разреза за период вегетации толщина верхней кутикулы постепенно уменьшается на 12 %. В городе Стерлитамаке значения верхней кутикулы за период вегетации увеличиваются на 24 %.

Верхний эпидермис изменяется в пределах от 0,72 до 1,48 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации значения верхнего эпидермиса варьируют, но к концу вегетации уменьшаются на 5 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения размеров верхнего эпидермиса постепенно увеличиваются к концу вегетации на 72 %. На отвалах Кумертауского бурогольного разреза за период вегетации значения верхнего эпидермиса увеличиваются на 5 %. В городе Стерлитамаке верхний эпидермис за период вегетации постепенно увеличивается на 57 %.

Столбчатая паренхима изменяется в пределах от 4,28 до 8,59 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации размеры столбчатой паренхимы постепенно увеличиваются на 16 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения столбчатой паренхимы варьируют и к концу вегетации значения уменьшаются на 19 %. На отвалах Кумертауского бурогольного разреза за период вегетации значения столбчатой паренхимы варьируют, а к концу вегетации уве-

личиваются на 3 %. В городе Стерлитамаке столбчатая паренхима за период вегетации уменьшается на 16 %. Столбчатая паренхима зернистая, располагается двумя или более ярусами (первая пробная площадь – начало вегетации), кроме второй пробной площади – середина вегетации, третьей пробной площади – середина вегетации и четвертой пробной площади – конец вегетационного периода.

Губчатая паренхима изменяется в пределах от 6,09 до 10,20 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации размеры губчатой паренхимы постепенно увеличиваются на 32 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения губчатой паренхимы варьируют и к концу вегетации значения увеличиваются на 7 %. На отвалах Кумертауского бурогольного разреза за период вегетации значения губчатой паренхимы варьируют и к концу вегетации значения увеличиваются на 13 %. В городе Стерлитамаке губчатая паренхима за период вегетации скачкообразно увеличивается на 18 %. Клетки губчатой паренхимы крупные, располагаются очень «рыхло», образуя крупные газоносные межклетники.

Нижний эпидермис изменяется в пределах от 0,66 до 1,02 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации значения нижнего эпидермиса постепенно увеличиваются на 30 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения нижнего эпидермиса резко увеличиваются на 39 %. На отвалах Кумертауского бурогольного разреза за период вегетации значения постепенно уменьшаются на 3 %. В городе Стерлитамаке значения нижнего эпидермиса за период вегетации постепенно увеличиваются на 23 %.

Нижняя кутикула изменяется в пределах от 0,42 до 1,53 мкм. На отвалах Башкирского медно-серного комбината за период вегетации значения нижней кутикулы сильно варьируют, но к концу вегетационного периода увеличиваются на 10 %. На отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината значения нижней кутикулы постепенно увеличиваются на 15 %. На отвалах Кумертауского

буроугольного разреза за период вегетационного периода значения резко уменьшаются на 53 %. В городе Стерлитамаке нижняя кутикула за период вегетации постепенно уменьшается на 33 %.

На основании собственных и литературных данных нам представляется, что для получения выводов, имеющих более общее значение, необходим широкий подход, рассматривающий растение как часть сложной системы почва–растение–воздух. При этом следует исходить из фундаментальных свойств живых систем – способности адаптироваться к условиям внешней среды разнообразными способами. Поскольку характер адаптации растений зависит от ресурсов внешней среды, необходимо провести оценку особенностей климата. Следует отметить, что характерной особенностью анатомической организации листьев является их высокая изменчивость в зависимости от освещения, водообеспеченности и температурных режимов, а также интенсивности поступления техногенных эксгалатов в почву и окружающую среду [4].

Таким образом, мы определили, что в экстремальных условиях произрастания в течение вегетационного периода толщина отдельных слоев увеличивается и сильно варьирует, также наблюдается утолщение листовой пластинки на отвалах Башкирского медно-серного комбината (г. Сибай), Учалинского горно-обогатительного комбината (г. Учалы), Кумертауского буроугольного разреза (г. Кумертау) и на многолетней почвенной мерзлоте (Уфимское плато).

У тополя бальзамического наблюдается утолщение листовой пластинки на отвалах Башкирского медно-серного комбината (г. Сибай), Учалинского горно-обогатительного комбината (г. Учалы), Кумертауского буроугольного разреза (г. Кумертау) и на промышленной зоне (г. Стерлитамак). На пробных площадях Уфимского плато тополь бальзамический в естественных условиях не произрастает.

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

### Библиографический список

1. Абдрахманов, Р.Ф. Техногенез в подземной гидросфере Предуралья / Р.Ф. Абдрахманов. – Уфа: УНЦ РАН, 1993. – 208 с.
2. Адаптации по защите онтогенеза древесных растений / Ю.З. Кулагин // Адаптация древесных растений в экстремальных условиях среды. – Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1984. – С. 4–20.
3. Агроклиматические ресурсы Башкирской АССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 236 с.
4. Ахматов, К.А. Адаптация древесных растений к засухе (на примере предгорий Киргизского Алатау) / К.А. Ахматов. – Фрунзе: Изд-во «Илим», 1976. – С. 56–122.
5. Баталов, А.А. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала / А.А. Баталов, Н.А. Мартыянов, А.Ю. Кулагин и др. – Уфа: БНЦ УрО СССР, 1989. – 140 с.
6. Вахрушев, Г.В. Опыт геохимического районирования почвообразующих пород Западной Башкирии / Г.В. Вахрушев // Материалы по изучению почв Урала и Поволжья. – Уфа: ИБ БФАН СССР, 1960. – С. 53–60.
7. Жданова, Н.В. Климатическая характеристика лесорастительных районов Башкортостана / Н.В. Жданова, В.В. Лапиков // Биоценотическая характеристика хвойных лесов и мониторинг лесных экосистем Башкортостана. – Уфа: Гилем, 1998. – С. 60–69.
8. Зайцев, Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
9. Ишмурзина, Л.У. Уфимское таежное и Юрюзано-Айское лесостепное плато / Л.У. Ишмурзина, Е.С. Смирнова, Р.М. Абзалов // Проблемы природного районирования. – Уфа: БГУ, 1977. – С. 62–80.
10. Кадильникова, Е.И. Физико-географическое районирование Башкирской АССР / Е.И. Кадильникова // География Башкирии за 50 лет. Ученые записки БГУ. Вып. XXX. Сер. геогр. №2). – Уфа, 1967. – С. 122–135.
11. Лыкошин, А.Г. Многолетняя мерзлота в долине р. Уфы / А.Г. Лыкошин // Природа. – 1952. – № 1. – С. 115.
12. Мартыянов, Н.А. Широколиственно-хвойные леса Уфимского плато: фитоценотическая характеристика и возобновление / Н.А. Мартыянов, А.А. Баталов, А.Ю. Кулагин. – Уфа: Гилем, 2002. – 222 с.
13. Терехова, Э.В. Естественное зарастание отвалов Соколовского железнорудного карьера / Э.В. Терехова, Р.И. Лапина, Л.В. Фоменко // Растения и промышленная среда. – Свердловск, 1974. – Вып. 4. – С. 123–131.
14. Физико-географическое районирование Башкирской АССР (Репринтное издание). – Уфа, 2005. – 212 с.

## ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *BETULA PLATYPHYLLA* В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЕ

А.Г. ПОНОМАРЕВ, *ст. науч. сотр. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, канд. биол. наук,*

Т.Д. ТАТАРИНОВА, *ст. науч. сотр. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, канд. биол. наук,*

А.А. ПЕРК, *науч. сотр. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН,*

В.В. БУБЯКИНА, *ст. науч. сотр. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, канд. биол. наук,*

В.А. АЛЕКСЕЕВ, *асп. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН*

*a.g.ponomarev@ibpc.ysn.ru*

Проблемы, связанные с комплексным изучением условий формирования, функционирования бореальных лесных экосистем на фоне глобального изменения климата и процессов интенсивного ресурсного освоения Северной Евразии, требуют создания эффективных механизмов мониторинга исходного состояния биоразнообразия, выявления его адаптационного потенциала [3]. Обширная территория Якутии с многолетней мерзлотой является уникальной средой обитания, в которой растительные организмы подвергаются максимально контрастным температурным воздействиям от +35°C летом до -60°C зимой. Стратегия выживания древесных видов в таких условиях характеризуется ранними сроками вхождения в состояние глубокого покоя, относительной его краткостью и очень продолжительным периодом вынужденного покоя. Последний протекает в условиях значительного обезвоживания и полного подавления обмена веществ зимой на фоне экстремально низких температур. Конкретная степень морозостойкости определяется процессами холодовой акклимации и деакклимации, в ходе которых происходят структурные перестройки на тканевом, клеточном и молекулярном уровнях. В процессах холодовой акклимации одну из ведущих ролей отводят белкам. Среди них известны ферменты для синтеза совместимых осмолитов, для модификации липидов мембран, ряд белков со структурным сходством с белками позднего эмбриогенеза (*late embryogenesis abundant, LEA*), белками теплового шока (*heat shock proteins, HSP*) и белками, связанными с патогенезом (*pathogenesis-related, PR*) [6, 8].

В связи с этим интересным является изучение морозостойкости наиболее распространенной лесообразующей лиственной породы Якутии – березы плосколистной *Betula platyphylla* Sukacz., занимающий гигантский ареал в границах таежной зоны. Из общей площади лесов Республики Саха (Якутия) в 255631 тыс. га (28 % площади лесов России), представленных в основном лиственничниками и сосняками, на березняки приходится 1,5 % [4].

Для комплексной оценки морозостойкости и зимостойкости растений часто используют метод электролитов «*electrolyte leakage method*», который находит применение при исследованиях температурных, токсикологических и других стрессовых воздействий [1, 5]. Основным показателем в этом случае является величина утечки электролитов из тканей и органов растений, которая прямо пропорциональна повреждающему клеточные мембраны фактору. Можно предполагать, что качественный состав и содержание белков, синтезируемых в период осеннего закалывания и необходимых для успешной перезимовки древесных видов в условиях экстрареконтинентального климата Якутии, отличается от таковых растений более умеренных зон. Однако, насколько известно, подобные исследования до сих пор не проводились. Полученная таким образом информация в свою очередь может быть применена для целенаправленного поиска белкомаркеров морозостойкости древесных пород, пригодных для экспресс-отбора перспективных видов и сортов растений без многолетнего длительного тестирования.

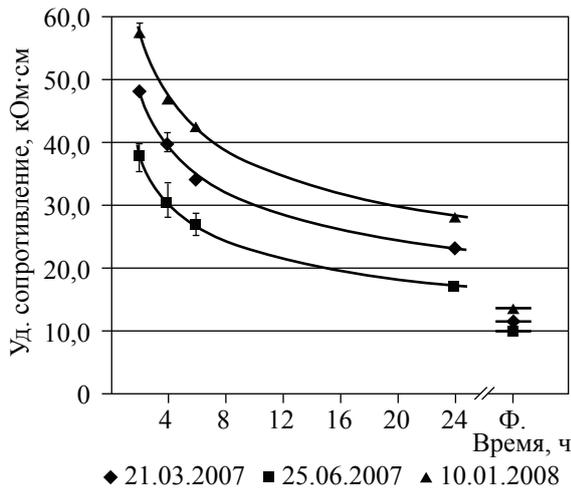


Рис. 1. Динамика удельного электрического сопротивления ( $r$ ) вытяжек из побегов *B. platyphylla* в разные сезоны года.;  $\Phi$  – фиксированное кипячением побеги

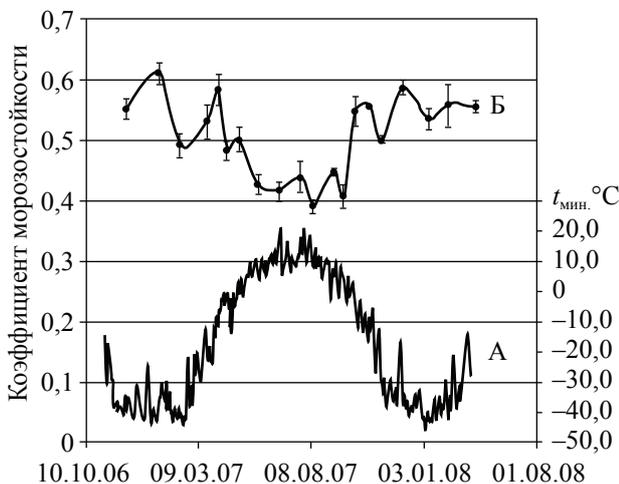


Рис. 2. Ход минимальной температуры воздуха (А) и изменения коэффициента морозостойкости *B. platyphylla* (Б) в течение анализируемого периода (конец 2006 г. – начало 2008 г.)

Целью настоящей работы являлась оценка степени сезонной морозостойкости центральноякутской популяции *B. platyphylla* с помощью метода электролитов, изучение изменений качественного состава и содержания белков, ассоциированных с формированием уникальной морозостойкости в условиях криолитозоны.

Пробы (одно- двухлетние побеги) *B. platyphylla* отбирали в лесопарковой зоне ботанического сада ИБПК СО РАН (окрестности г. Якутска, 62° 01' с.ш., 129° 36' в.д.) в течение декабря 2006 г.– марта 2008 г. не менее одного раза в месяц. Климатические параметры в годы наблюдений не выходили за стан-

дартные пределы, отмечаемые за последние десятилетия для Центральной Якутии.

Кондуктометрию проб проводили в день их сбора. Параллельно пробы фиксировали жидким азотом для анализа качественного и количественного состава тотальных белков. Для метода электролитов отрезки побегов массой в 1 г заливали 40 мл дистиллированной воды. Электрическое сопротивление вытяжек измеряли с помощью реохордного моста Р38 с кондуктометрическим датчиком (платинированные электроды) на переменном токе частотой 50 гц при постоянной температуре. Измерения проводили через 2, 4, 6 и 24 часа в 3-кратной повторности. Степень морозостойкости оценивали в виде коэффициента, выражаемого отношением электрического сопротивления исходной вытяжки ( $r_i$ ) через определенное время (в стандартном случае – 24 часа) к сопротивлению фиксированных кипячением этих же образцов ( $r_\phi$ ).

Для экстракции тотальных белков из побегов березы применяли метод Сарнигхаузена. Образцы измельчали в порошок. 300 мг порошка гомогенизировали в 3 мл экстракционного раствора (62,5 мМ трис-НСl, рН 6,8, 2 % додецилсульфат-Na, 5 % 2-меркаптоэтанол, 1 мМ PMSF) и кипятили 5 мин. После охлаждения экстракты центрифугировали при 11000 г н. Тотальные белки осаждали 5 объемами ацетона в течение ночи (-20 °С). Белковое содержание было определено с помощью сканирования нанесенных на PVDF-мембрану и окрашенных Кумасси R-250 белков [5]. Для определения молекулярных масс индивидуальных полипептидов и их количественных соотношений был выполнен гель-электрофорез в 12,5 % ПААГ в присутствии додецилсульфата-Na с последующим окрашиванием Кумасси R-250. В результатах приведены средние арифметические величины и их ошибки.

Динамика выхода электролитов по изменению электрического сопротивления вытяжек растений может быть представлена степенной (аллометрической) функцией:  $y_i = Ax_i^{-k}$  ( $R = 0,90-0,99$ ), где  $y_i$  – показатель электрического сопротивления вытяжки в момент измерения  $x_i$ ,  $A$  – константа начального сопротивления вытяжки,  $k$  – константа аллометрии (рис. 1).

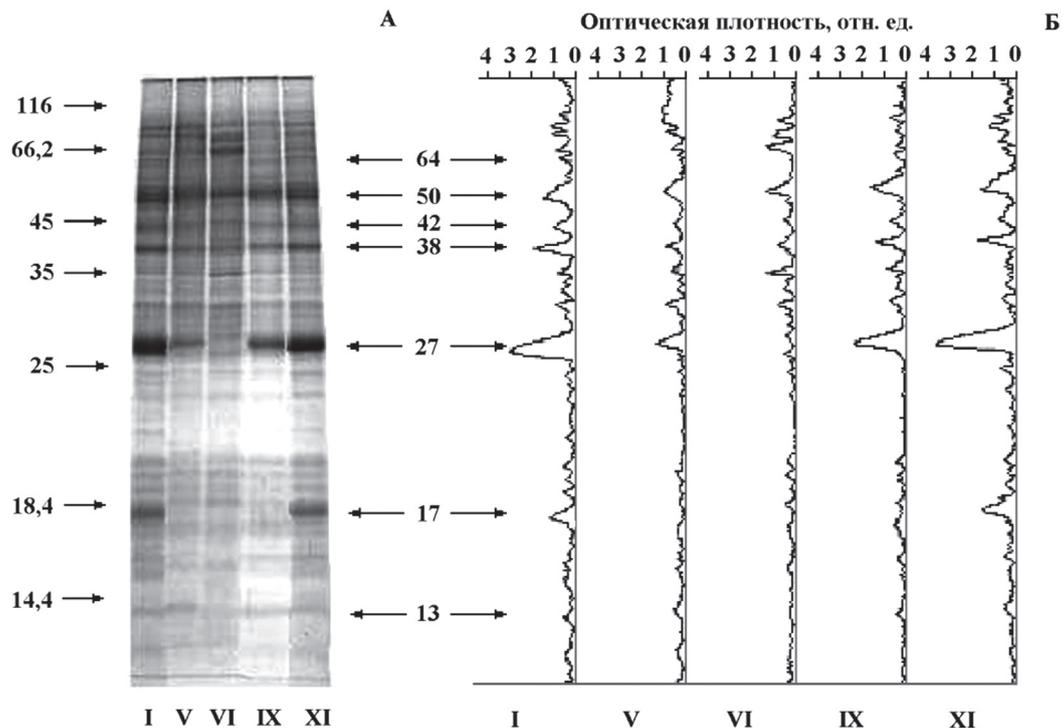


Рис. 3. Тотальные белки однолетних побегов *B. platyphylla* (показаны типовые месяцы 2007 г. по белковым спектрам). А – гель окрашен Кумасси; Б – денситограммы электрофоретических спектров полипептидов: I – январь, V – май, VI – июнь, IX – сентябрь, XI – ноябрь. В каждую лунку вносили 30 мкг белков. Слева приведены молекулярные массы белков-маркеров, кД; в центре – белков, ассоциированных с перезимовкой

Параметр  $A$  за время наблюдений по абсолютному значению варьировал от 43,2 до 89,9 кОм·см,  $k$  – от 0,18 до 0,34. После фиксации побегов кипячением удельное электрическое сопротивление водных вытяжек падало до уровня 7,8–18,0 кОм·см в зависимости от сезона года. Сравнение динамики выхода электролитов может дать предварительную оценку устойчивости растений в тот или иной период, но оно менее информативно, чем использование показателя относительного сопротивления, принятого нами за коэффициент морозостойкости.

Как и следовало ожидать, наибольшие значения коэффициента морозостойкости отмечались в зимние месяцы, наименьшие – летом (рис. 2).

Этот показатель для *B. platyphylla* изменялся в пределах 0,39 (начало августа) – 0,61 (середина января). Годовой ход коэффициента морозостойкости описывается асимметричной колоколообразной кривой с относительно быстрым подъемом с конца лета к середине зимы и постепенным спадом к началу вегетации. Такое уменьшение коэф-

фициента морозостойкости связано с повышением температуры воздуха от  $-47^{\circ}\text{C}$  в декабре-январе до  $+32^{\circ}\text{C}$  в начале июля 2007 г. Наблюдается сильная обратная корреляция ( $R = -0,71$ ) между морозостойкостью и температурой воздуха (особенно минимальной ночной).

Следует отметить, что побеги березы, взятые в середине зимы (январь-февраль) и находящиеся в состоянии вынужденного покоя, в условиях прогревания ( $t = 25^{\circ}\text{C}$ ) уже через 8–12 суток разворачивали листья. В результате деакклимации у них было отмечено снижение коэффициента морозостойкости в 1,5–2,0 раза по сравнению с контролем.

Проведенное нами ранее изучение видов и сортов черной смородины и некоторых других плодово-ягодных культур в условиях Якутии также показало, что в зимний период происходит резкое снижение уровня выхода электролитов у адаптированных образцов растений [2]. Причем, наблюдалась хорошая корреляция с прямым определением морозостойкости сортов по степени обмерзания побегов. Таким образом, метод электролитов

позволяет достаточно точно фиксировать картину физиологического состояния растений. Он отражает установившийся баланс между коллоидами, включая полипептиды, ионной и водной средой в клетках в зависимости от конкретных условий роста и развития.

Полученные нами электрофизиологические данные по степени морозостойкости изучаемых растений существенно дополняются показателями сезонных изменений качественного и количественного состава тотальных белков побегов березы (рис. 3).

В летний период отмечается значительное преобладание средне- и высокомолекулярных полипептидов с молекулярными массами 31, 36, 51, 73, 82 кД, которые, вероятно, связаны с ростом и развитием растений. Зимой, наоборот, в белковом спектре доминируют низко- и среднемолекулярные полипептиды. Они появляются в конце вегетационного периода, достигают максимума в ходе осенней адаптации растений (к концу сентября) и удерживаются на относительно постоянном уровне в течение всех месяцев с устойчивой отрицательной температурой. К ним относятся мажорные белки с молекулярными массами 17, 27, 38, 50 кД и также минорные – 13, 42, 64 кД. В период возобновления роста побегов (май) содержание этих полипептидов резко снижается при одновременном возрастании количества средне- и высокомолекулярных белков.

Идентифицированный нами в побегах березы 27 кД полипептид близок по молекулярной массе к таковой WAP 27, относящегося к группе III LEA белков, найденных в клетках кортикальной паренхимы шелковицы *Morus bombycis* (Хоккайдо, Япония) [8]. WAP 27, обладающий криопротекторной активностью, появляется в середине октября, достигает максимального уровня в середине зимы и затем постепенно исчезает. Другой близкий по молекулярной массе доминантный дегидрин с молекулярной массой 24 кД обнаружен у растений кизила *Cornus sericea* (США) и связан с клеточными стенками ксилемы. Он накапливается с конца августа, достигает пика содержания в середине зимы, уменьшается весной и исчезает в начале лета. Так же как и вышеназванные белки, 27 кД по-

липептид побегов березы накапливается осенью, стабильно присутствует в зимние месяцы и пропадает в мае.

Следующий заслуживающий внимания мажорный 17 кД-полипептид березы имеет молекулярную массу, близкую к таковой WAP18 из клеток кортикальной паренхимы шелковицы [8]. WAP18 проявляет криопротекторную активность *in vitro*, установлена его высокая гомология с PR-10/Bet v1. Его содержание увеличивается с сентября по декабрь и затем постепенно падает до июня. Идентифицированный нами полипептид с молекулярной массой 17 кД также обнаруживается в значительных количествах в осенне-зимний период, в мае он практически отсутствует.

В побегах якутской популяции березы плосколистной также найдены 38 и 50 кД-полипептиды, которые, насколько нам известно, не имеют аналогов, близких по своей молекулярной массе, среди белков, участвующих в формировании адаптационного ответа на холодное воздействие у деревьев умеренной зоны. Их синтез начинается в августе, в осенне-зимний период они содержатся в достаточных количествах, в мае они практически исчезают. Минорные белки, связанные с перезимовкой, представлены полипептидами с молекулярными массами 13, 42 и 64 кД. Наши опыты по деакклимации растений (зимние побеги, проращиваемые в тепле) также показали характерные изменения в составе тотальных белков, схожие с естественным весенним пробуждением.

Вероятно, что обнаруженные нами в побегах *B. platyphylla* мажорные и минорные белки, которые можно условно отнести к белкам, участвующим в формировании уникальной морозостойкости деревьев Якутии, после проведения иммунохимических исследований могут разделиться на два класса: уже известных полипептидов, например группы LEA-белков, и еще не идентифицированных пока полипептидов.

Накопление осенью и поддержание на относительно постоянном уровне зимой ряда мажорных полипептидов с молекулярными массами 17, 27, 38, 50 кД и минорных полипептидов с молекулярными массами 13, 42 и 64 кД

связано с высокой степенью морозостойкости местных популяций *B. platyphylla*, подтверждаемой с помощью метода электролитов. Предполагается, что обнаруженные нами, в том числе и впервые, белки выполняют защитные функции в клетке и отвечают за адаптацию данного вида древесных растений к условиям криолитозоны Центральной Якутии.

#### Библиографический список

1. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям : методическое руководство / С.Н. Дроздов, Г.В. Еремин, Э.Л. Климашевский и др. – Л.: ВИР, 1988. – 228 с.
2. Перк, А.А. Электрометрическое изучение морозоустойчивости плодово-ягодных растений / А.А. Перк, А.Я. Перк // Декоративные растения для озеленения населенных пунктов Якутии. – Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1980. – С. 33–43.
3. Разнообразие растительного мира Якутии / В.И. Захарова, Л.В. Кузнецова, Е.И. Иванова и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 328 с.
4. Уткин, А.И. Леса Республики Саха (Якутия) в ресурсном и функциональном отношениях / А.И. Уткин // Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы. Т. 1. Мерзлотное лесоведение и лесоводство. Лесная экология. – Якутск: Изд-во ЯГУ, 2006. – С. 17–24.
5. Ekramoddoullah, A.K.M. A method for the determination of conifer foliage protein extracted using sodium dodecyl sulphate and mercaptoethanol / A.K.M. Ekramoddoullah, J.J. Davidson // Phytochemical analysis. – 1995. – Vol. 6. – P. 20–24.
6. Ekramoddoullah, A.K.M. Current strategies studying proteins in forest tree–pathogen interaction / A. K. M. Ekramoddoullah // Recent Res. Devel. Biotech. Bioeng. – 2004. – Vol. 6. – P. 51–63.
7. Ekramoddoullah, A.K.M. Characterization of a fall protein of sugar pine and detection of its homologue associated with frost hardiness of western white pine needles / A.K.M. Ekramoddoullah, D. Taylor, B.J. Hawkins // Can. J. For. Res. – 1995. – Vol. 25. – P. 1137–1147.
8. Fujikawa, S. Functional role of winter-accumulating proteins from mulberry tree in adaptation to winter-induced stresses / S. Fujikawa, N. Ukaji, M. Nagao, K. Yamane // Cold hardiness in plants : Molecular genetics, Cell biology and Physiology. N.Y. : CAB International, 2005. – P. 181–202.

## АНАЛИЗ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ

И.Б. АМОСОВА, *асп. каф. экологии и защиты леса АГТУ,*

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

*pfeklistov@yandex.ru*

**Б**ерезовые леса занимают со временем все большие площади на Севере в целом и в Архангельской области в частности. В то же время данных о строении и особенностях водопроводящей ткани – ксилемы недостаточно.

Береза относится к рассеяннопоровой, заболонной породе с древесиной белого цвета и небольшим желтоватым или красноватым оттенком. Годичные слои плохо заметны. Сосуды равномерно распределены по годичному слою группами, редко – одиночно. В группах, состоящих из 2–6 сосудов, сосуды располагаются радиально. Многочисленные сердцевидные лучи достаточно хорошо заметны в виде узких блестящих темных коротких черточек. Сердцевидные лучи узкие, состоят из 1–4 рядов клеток. Они служат для проведения воды и воздуха в горизонтальном направлении по стволу дерева и для откладывания питательных веществ [2, 3].

Анализ особенностей анатомического строения древесины березы в северной и средней подзонах тайги выполнен в 2007 г. на территории Архангельской области. В ходе исследований заложено две временные пробные площади (ВПП) в березняках черничных.

Первая ВПП заложена в Приморском районе в условиях северной, а вторая в Ленском районе в условиях средней подзоны тайги. Популяция березы являлась доминантным компонентом в лесном сообществе, как на первой, так и на второй ВПП, с примесью ели, сосны и осины.

Средний возраст насаждений березы на пробной площади в условиях северной тайги – 43 года, а в условиях средней тайги – 51 год. Максимальный возраст учетного дерева 73 года в средней тайге и 61 год в северной тайге (табл. 1).

Характеристика древостоя

№ пробной площади	Тип леса	Состав	Средние значения		Возр., лет	Породы	Полнота, м <sup>3</sup> /га	Бонитет	Запас, м <sup>3</sup> /га
			D, см	H, м					
1. Северная подзона	Березняк черничный	6Б3Е1СедОс	22	17	43	Б	14,5	I	123,7
						Е	6,0		51,2
						С	3,4		29,0
						Ос	0,5		3,5
2. Средняя подзона	Березняк черничный	6Б2Е2Ос	24	23	51	Б	24,0	Ia	257,8
						Е	7,0		75,2
						Ос	6,0		64,5

Для исследования были подобраны по 15 учетных деревьев в каждой подзоне тайги (на каждой пробной площади) по сходным морфологическим показателям (высота и толщина). На кервах, изъятых на высоте 1,3 м, выполнялись срезы, на которых и производились исследования. Выполнены измерения сечения сосудов, толщины стенок сосудов, сечения волокон, толщины стенок волокон, толщины сердцевинных лучей, расстояния между сердцевинными лучами. Измерения выполнены в 10-кратной повторности для каждого элемента древесины. С помощью программы Logitech QuickCam сканировались изображения срезов. В программе Paint проводились измерения в пикселях, а затем переводились в микрометры (мкм) (1 пиксель = 0,953 мкм). Всего было сделано более 4800 измерений.

Сравнивали анатомическое строение древесины в периферической части (по последним годичным кольцам) и в области около сердцевины.

Анализируя данные, полученные в условиях северной подзоны тайги, выявили, что размеры элементов древесины березы в периферической части и около сердцевины различаются мало. Различия обнаружены только в сечении сосудов и древесных волокон. Наблюдается тенденция к укрупнению сосудов и волокон от сердцевины к периферии. Сечение сосудов в периферической части max – 38,98 мкм, min – 32,10 мкм, а центральной части max – 29,97 мкм, min – 22,43 мкм. Сечение древесных волокон в периферической части max – 8,34 мкм, min – 6,33 мкм, а центральной части max – 7,23 мкм, min – 5,41 мкм.

Данные, полученные в условиях средней подзоны тайги, показывают схожие ре-

зультаты с данными северной подзоны. Резко различаются сечения сосудов в периферической части: max – 43,79 мкм, min – 35,42 мкм, и в центральной части древесины: max – 33,84 мкм, min – 25,54 мкм.

Также наблюдается увеличение сечения древесных волокон от сердцевины к периферии. При укрупнении сосудов и древесных волокон толщина их стенок практически не изменяется.

При сравнении показателей анатомических элементов, северной и средней подзоны тайги выявлено, что наблюдаются различия только в сечении сосудов и древесных волокон. Немного крупнее сосуды в средней подзоне тайги, чем в северной, толщина сердцевинных лучей выше в северной подзоне тайги. Эти различия были подтверждены расчетами. Статистические показатели по полученным данным и достоверность представлены в табл. 2.

Как отмечалось выше, толщина стенок сосудов и древесных волокон не изменялась от сердцевины к периферии. В среднем у сосудов и древесных волокон толщина стенок 4 мкм.

По данным Штауффера, который проводил исследования в Германии, у березы с возрастом повышается вес древесины от сердцевины к периферии, так как толщина стенок древесных волокон с каждым годом увеличивается, а объем, занимаемый сосудами, уменьшается [1]. Изменения толщины стенок сосудов Штауффером не указаны.

При сравнении толщины стенок древесных волокон в северной и средней подзонах тайги выявлено, что толщина стенок больше в северной подзоне.

**Статистические показатели анатомических элементов древесины березы  
(пороговое значение критерия Стьюдента принимали за 3 при вероятности 0,99)**

Статистические показатели	D сосудов		Толщина стенок сосудов	Сечение волокон		Толщина волокон	Расстоян. между ср. лучами	Толщина серд. лучей
	max	min		max	min			
северная подзона тайги								
периферическая часть								
Ср. значен., мкм	43,79	35,42	3,86	7,61	5,56	3,77	36,26	5,54
Ошибка	0,95	1,12	0,16	0,15	0,16	0,1	2,05	0,23
Ср. квадр. отклонение	3,69	4,32	0,61	0,58	0,64	0,40	7,93	0,89
Коэфф. изменчивости, %	8,44	12,19	15,70	7,68	11,43	10,66	21,88	16,19
Точность опыта, %	2,18	3,15	4,05	1,98	2,95	2,75	5,65	4,18
Достоверность ср. знач.	46	32	25	50	34	36	18	24
центральная часть								
Ср. значен., мкм	33,84	25,54	3,70	6,26	4,88	3,34	31,40	5,15
Ошибка	1,07	0,78	0,09	0,19	0,16	0,10	1,65	0,23
Ср. квадр. отклонение	4,13	3,02	0,34	0,74	0,61	0,39	6,39	0,88
Коэфф. измен-ти, %	12,19	11,82	9,29	11,75	12,52	11,52	20,38	17,13
Точность опыта, %	3,15	3,05	2,40	3,03	3,23	2,98	5,26	4,42
Достоверность ср. знач.	32	32	5	33	31	34	19	23
достоверность различий центральной и периферической части								
	<b>5,3</b>	<b>4,0</b>	0,7	<b>2,9</b>	2,6	0,2	1,3	1,3
средняя подзона тайги								
периферическая часть								
Ср. значен., мкм	38,98	32,10	4,07	8,34	6,33	4,02	43,76	7,35
Ошибка	0,82	2,09	0,15	0,27	0,24	0,09	3,17	0,39
Ср. квадр. отклонение	9,17	8,11	0,57	1,04	0,99	0,34	12,26	1,49
Коэфф. измен-ти, %	8,13	25,27	14,14	12,48	14,57	8,43	28,02	20,30
Точность опыта, %	2,09	6,53	3,65	3,22	3,76	2,17	7,23	5,24
Достоверность ср. знач.	48	15	27	31	27	46	14	19
центральная часть								
Ср. значен., мкм	29,97	22,43	3,93	7,22	5,41	3,98	38,36	6,59
Ошибка	1,49	1,21	0,14	0,33	0,26	0,16	2,77	0,43
Ср. квадр. отклонение	5,78	4,68	0,56	1,26	1,01	0,61	10,72	1,68
Коэфф. измен-ти, %	19,28	20,88	14,25	17,45	18,61	15,37	27,94	25,55
Точность опыта, %	4,98	5,39	3,68	4,51	4,81	3,97	7,21	6,59
Достоверность ср. знач.	20,09	18,55	27,18	22,81	20,81	25,20	13,86	15,16
достоверность различий центральной и периферической части								
	<b>7,1</b>	<b>7,3</b>	0,8	<b>5,6</b>	<b>2,8</b>	<b>3,1</b>	1,9	1,2
достоверность различий между северной и средней подзонами тайги (Критерий Стьюдента (t))								
Периферия	<b>3,9</b>	1,4	1	2,4	2,7	1,8	2,0	<b>4,0</b>
Центральная	2,1	2,2	1,4	2,5	1,7	<b>3,2</b>	2,2	<b>2,9</b>

\* – жирным шрифтом выделены достоверные значения

Средняя толщина стенок в северной подзоне 4,0 мкм, а в средней подзоне – 3,4 мкм. Наиболее верное объяснение – это различные климатические условия в данных подзонах.

Измерения расстояния между сердцевинными лучами не показали каких-либо закономерностей различий в центре и на периферии ствола, а также в северной и сред-

ней подзонах тайги. Среднее расстояние на периферии – 36,26 мкм, в центре – 31,40 мкм в северной подзоне, в средней подзоне на периферии – 43,76 мкм, в центре – 38,36 мкм. Различия недостоверны.

Последний показатель, который учитывался при изучении анатомического строения древесины березы – толщина сердцевинных лучей. От сердцевины к периферии

толщина сердцевинных лучей не изменялась, средние значения практически совпадают: периферия – 7,35 мкм, центральная часть – 6,59 мкм (северная подзона); периферия – 5,54 мкм, центральная часть – 5,15 мкм (средняя подзона). В северной подзоне тайги толщина сердцевинных лучей значительно превышает толщину лучей в средней подзоне. На наш взгляд, это связано с тем, что березам в северной подзоне требуется больший запас питательных веществ. Климатические условия в северной подзоне тайги более суровые, и чтобы пройти все фенологические фазы вовремя, требуется больше энергии, то есть больше питательных веществ.

Таким образом, можно сделать выводы, что анатомическое строение древесины березы от сердцевины к периферии изменя-

ется. Происходит укрупнение сосудов от сердцевины к периферии, также увеличивается сечение древесных волокон.

При сравнении показателей двух подзон тайги (северная и средняя) выявлено: сосуды крупнее в средней подзоне; толщина стенок древесных волокон и толщина сердцевинных лучей больше в северной подзоне.

#### Библиографический список

1. Бюсген, М. Строение и жизнь наших лесных деревьев / М. Бюсген. – М.: Гослесбумиздат, 1961. – 424 с.
2. Вихров, В.Е. Альбом микрофотографий древесных хвойных и лиственных пород СССР / В.Е. Вихров; под общ. ред. В.П. Мальчевского. – Л., 1939. – 86 с.
3. Эзау, К. Анатомия семенных растений. Книга 1 / К. Эзау; под общ. ред. акад. А.Л. Тахтаджяна. – М.: «Мир», 1980. – 218 с.

## ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА ПРОВЕНИЕНЦИЙ ЕЛИ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ ЮЖНОЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ

А.В. ИВАНОВ, *асп. каф. лесных культур МГУЛ*

*aleksandr86@mail.ru*

Одной из основных проблем в лесном хозяйстве было и остается преодоление времени. Рост потребления древесины в мире и ужесточение экологических требований в природопользовании остро ставят вопрос о наискорейшем восстановлении лесных ресурсов. Одним из возможных путей повышения продуктивности и качества лесов, а также углубления знаний о взаимоотношениях индивида и среды является изучение и использование в лесном семеноводстве внутривидовой изменчивости древесных пород на объектах географических лесных культур.

В целях решения вопроса о допустимых перебросках инорайонных семян в 1965–1968 гг. в нашей стране заложена сеть из нескольких объектов по изучению географической изменчивости лесных пород. В эту сеть входят и культуры ели в Сущевском участковом лесничестве Костромской области.

Культуры заложены в выделе 20 квартала 128 на площади, вышедшей из-под сельскохозяйственного использования в условиях С<sub>3</sub>; коренной тип леса – ельник кисличник;

почва супесчаная, свежая, рельеф ровный. Испытанию подвергнуто 20 провениенций ели. Культуры создавались ручной посадкой трехлетних сеянцев. Корневая система при выкопке обрабатывалась раствором глины с торфом в отношении 2:1. Посадка проводилась 10–13 мая в устойчивую жаркую погоду. Растения каждого климатипа высаживались в блоки размерами 30×40 м с размещением посадочных мест 1,5×1,5 м. Общая площадь объекта 3,5 га. В течение лета за культурами проводился 2-кратный механизированный уход.

Летом 2007 г. нами проведено обследование культур по методикам кафедры лесных культур МГУЛ [1]. Цель исследований – выявить наиболее перспективные по росту климатипы ели для воспроизводства лесов в условиях Костромской области. Согласно методическим предписаниям в каждом блоке учету подлежало не менее 200 деревьев. Исходя из этого закладывались пробные площади. У каждого дерева на пробных площадях фиксировались следующие параметры:

– диаметр на высоте 1,3 м;

**Сравнительные биометрические характеристики средних диаметров и высот провениенций**

Происхождение	Средний диаметр									
	<i>N</i> , шт.	<i>M</i> , см	$\pm m$ , см	<i>P</i> , %	$\sigma$ , см	<i>C<sub>v</sub></i> , %	<i>t</i>	tst	<i>t</i>	tst
Татарстан	201	11,85	0,212	1,8	3,08	26	3,4	1,97	1,67	1,97
Брестская область	160	11,9	0,274	2,3	3,9	33	2,5	1,97	1,47	1,97
Брестская область	79	14,74	0,379	2,6	3,77	26	5,58	1,97	0,82	1,97
Гродненская область	58	14,9	0,381	2,6	3,45	23	5,96	1,97	0,08	1,97
Костромская область	178	12,59	0,245	1,9	3,48	28	0	1,97	0	1,97
Витебская область	165	12,69	0,268	2,1	3,77	30	0,33	1,97	1,05	1,97
Латвия	142	14,06	0,283	2	3,84	27	5,05	1,97	1,23	1,97
Новгородская область	156	13,31	0,297	2,2	3,89	29	2,34	1,97	1,43	1,97
Ленинградская область	189	12,92	0,233	1,8	3,35	26	1,33	1,97	0,52	1,97
Псковская область	183	12,86	0,254	2	3,66	28	1	1,97	0,68	1,97
Тверская область	80	15,53	0,417	2,7	3,89	25	6,95	1,97	1,14	1,97
Коми	152	10,82	0,229	2,1	3,18	29	7,52	1,97	1,16	1,97
Карелия	182	12,68	0,254	2	3,62	29	0,31	1,97	0,53	1,97
Костромская область	186	14,13	0,238	1,7	3,41	24	6,23	1,97	0,27	1,97
Литва	71	14,89	0,451	3	4,13	28	5,03	1,97	1,66	1,97
Пермская область	172	13,59	0,321	2,4	4,64	34	3,03	1,97	3,73	1,97
Тернопольская область	167	13,91	0,323	2,3	4,65	33	3,99	1,97	3,72	1,97
Эстония	51	17,23	0,529	3,1	3,96	23	8,7	1,97	1,11	1,97
Удмуртия	92	16,33	0,471	2,9	4,73	29	7,86	1,97	3,17	1,97
Марий Эл	158	15,36	0,32	2,1	4,37	28	8,48	1,97	2,9	1,97
Татарстан	25	13,18	0,54	4,1	2,7	20	2,33	2,01	0,36	2,01
Брестская область	25	13,37	0,444	3,3	2,22	17	2,28	2,01	0,61	2,01
Брестская область	25	15,5	0,568	3,7	2,84	18	0,79	2,01	0,62	2,01
Гродненская область	25	15	0,574	3,8	2,87	19	0,13	2,01	0,67	2,01
Костромская область	25	14,9	0,502	3,4	2,51	17	0	2,01	0	2,01
Витебская область	25	15,51	0,584	3,8	2,92	19	0,79	2,01	0,75	2,01
Латвия	25	15,93	0,712	4,5	3,56	22	1,18	2,01	1,7	2,01
Новгородская область	25	15,56	0,582	3,7	2,91	19	0,86	2,01	0,74	2,01
Ленинградская область	25	14,97	0,634	4,2	3,17	21	0,09	2,01	1,15	2,01
Псковская область	25	15,69	0,624	4	3,12	20	0,99	2,01	1,08	2,01
Тверская область	25	17,64	0,596	3,4	2,98	17	3,52	2,01	0,85	2,01
Коми	25	11,81	0,474	4	2,37	20	4,48	2,01	0,29	2,01
Карелия	25	13,61	0,556	4,1	2,78	20	1,72	2,01	0,51	2,01
Костромская область	25	16,07	0,586	3,6	2,93	18	1,52	2,01	0,77	2,01
Литва	25	16,29	0,686	4,2	3,43	21	1,64	2,01	1,53	2,01
Пермская область	25	13,7	0,472	3,4	2,36	17	1,74	2,01	0,31	2,01
Тернопольская область	25	14,89	0,698	4,7	3,49	23	0,01	2,01	1,61	2,01
Эстония	25	17,78	0,67	3,8	3,35	19	3,44	2,01	1,42	2,01
Удмуртия	25	16,16	0,524	3,2	2,62	16	1,74	2,01	0,21	2,01
Марий Эл	25	18,52	0,076	0,4	0,38	2	7,13	2,01	5,93	2,01

– диаметр кроны;  
 – состояние по шкале Крафта;  
 – состояние по классам качества: прямоствольные (а), с незначительными дефектами формы ствола (б), с сильно выраженными дефектами (с).

У каждого пятого дерева высоотомером определялась высота и балл плодоношения по шкале Каппера.

Для достоверного определения влияния генотипа на рост провениенций проведено сравнение средних диаметров и средних высот инорайонных происхождений с местным. Для этого был использован параметрический критерий различия Стьюдента (табл. 1). Полученные результаты вычислений свидетельствуют о том, что величина относительной ошибки Р не превышает 5 %, следовательно,

все выборки являются репрезентативными [2]. Критерий Стьюдента подтверждает достоверность различий в средних значениях диаметров инорайонных происхождений в сравнении с местным для большинства провениенций при пятипроцентном уровне существенности, в то время как в среднеквадратичных отклонениях достоверных различий нет, за исключением пермской, тернопольской, удмуртской и марийской провениенций. Таким образом, в исследуемых провениенциях генотипические особенности главным образом сказываются на изменчивости средних значений диаметра, но в перечисленных климатипах влияние генотипа достоверно отражается и на характере изменчивости самого признака (диаметра) внутри климатипа.

Достоверные различия в средних высотах между инорайонными и местным климатипами выявлены у татарского, брестского (ганцевичского), тверского, коми, эстонского и марийского климатипов. Отсутствие различий в среднеквадратичных отклонениях установлено для всех климатипов, кроме марийского. Следовательно, различия в средних значениях высот более четко выражены, чем

различия в характере варьирования признака внутри выборок.

Проведенный сравнительный анализ показывает, что диаметр ели на ее ареале находится под большим генетическим контролем, чем высота.

Исследуемые климатипы отличаются также по степени дифференциации деревьев по росту, об этом информирует распределение деревьев в блоках по классам Крафта (табл. 3). Так, в блоках с наиболее развитыми древостоями (эстонском, марийском, тверском) доля деревьев господствующего и согосподствующего классов в три раза выше, чем у брестского климатипа. Процент деревьев с дефектами формы ствола особенно высок в удмуртском климатипе (табл. 2). У большинства же происхождений эта величина не превышает 10 %. Для более полного представления о состоянии провениенций ели составлена сводная таблица 4, где представлены следующие показатели: густота стояния культур ( $N$ ), средний диаметр ( $d$ ), средняя высота ( $H$ ), сумма площадей сечений ( $G$ ), видовое число ( $f$ ), запас ( $M$ ), коэффициент продуктивности кроны ( $k$ ), сомкнутость полога ( $C$ ), средний балл плодоношения одного дерева ( $B$ ).

Т а б л и ц а 2

**Распределение деревьев по классам качества**

Происхождение	Лесхоз	Распределение по классам качества					
		a		b		c	
		шт.	%	шт.	%	шт.	%
Татарстан	Зеленодольский	191	90	17	8	4	2
Брестская область	Гонцевичский	182	90	17	8	4	2
Брестская область	Ляховичский	91	92	2	2	6	6
Гродненская область	Слонимский	79	96	0	0	3	4
Костромская область	Сушевский	195	97	4	2	2	1
Витебская область	Поставский	190	96	6	3	2	1
Латвия	Даугавпилский	181	98	1	1	2	1
Новгородская область	Молвятицкий	162	95	6	3	3	2
Ленинградская область	Гатчинский	192	93	11	5	4	2
Псковская область	Псковский	184	88	22	11	2	1
Тверская область	Торопеский	82	94	4	5	1	1
Коми	Устьвымьский	179	93	10	5	3	2
Карелия	Сортавальский	168	83	28	14	7	3
Костромская область	Судиславский	188	92	16	8	1	0
Литва	Тракайский	73	87	7	8	4	5
Пермская область	Березниковский	187	89	21	11	1	0
Тернопольская область	Кременецкий	188	91	15	7	4	2
Эстония	Вырусский	52	93	3	5	1	2
Удмуртия	Болезинский	59	58	39	39	3	3
Марий Эл	Сернурский	171	92	12	6	3	2

Распределение деревьев по классам Крафта

Происхождение	Распределение по классам Крафта													
	I		II		III		IVa		IVб		Va		Vб	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Татарстан	21	10	29	14	48	23	59	28	33	15	11	5	11	5
Брестская область	12	6	21	10	55	27	41	20	21	11	10	5	43	21
Брестская область	19	20	18	18	17	17	14	14	4	4	7	7	20	20
Гродненская область	12	15	19	23	19	23	7	9	0	0	1	1	24	29
Костромская область	33	16	34	17	50	25	36	18	17	9	7	4	23	11
Витебская область	27	14	36	18	35	17	40	20	22	11	5	3	33	17
Латвия	24	13	43	23	32	17	27	15	11	6	5	3	42	23
Новгородская область	33	19	47	28	36	21	21	12	9	5	10	6	15	9
Ленинградская область	19	9	41	20	64	31	42	20	12	6	11	5	18	9
Псковская область	37	18	28	13	44	21	41	20	22	11	11	5	25	12
Тверская область	17	20	30	34	18	21	9	10	5	6	1	1	7	8
Коми	21	11	50	26	29	15	31	16	11	6	9	5	40	21
Карелия	17	8	38	19	47	23	53	26	18	9	9	5	21	10
Костромская область	24	12	47	23	50	24	44	21	16	8	5	3	19	9
Литва	19	23	19	23	17	20	9	11	7	8	0	0	13	15
Пермская область	16	8	49	23	49	23	31	15	15	7	12	6	37	18
Тернопольская область	22	11	38	18	53	26	26	13	18	9	9	4	40	19
Эстония	20	36	23	41	5	9	1	2	1	2	1	2	5	9
Удмуртия	16	16	25	25	23	23	18	18	6	6	4	4	9	9
Марий Эл	66	35	53	29	26	14	6	3	7	4	0	0	28	15

Т а б л и ц а 4

Расчетные таксационные показатели и плодоношение в блоках

Происхождение	<i>N</i> , шт.	<i>d</i> , см	<i>G</i> , м <sup>3</sup> /га	<i>H</i> , м	<i>f</i>	<i>M</i> , м <sup>3</sup> /га	<i>k</i> , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	<i>C</i>	В, балл Каппера
Татарстан	2209	11,85	27,38	13,18	0,527	190,1	0,025	0,83	0,8
Брестская область	1584	11,9	24,89	13,37	0,525	174,8	0,028	0,61	1,4
Брестская область	1580	14,74	35,7	15,5	0,512	283	0,03	0,86	1,7
Гродненская область	773	14,9	20,09	15	0,514	155	0,028	0,46	1,6
Костромская область	2472	12,59	37,42	14,9	0,515	287,1	0,019	1,57	0,6
Витебская область	1774	12,69	29,2	15,51	0,511	231,6	0,02	1,12	1,6
Латвия	1379	14,06	29,92	15,93	0,509	242,7	0,034	0,64	1,1
Новгородская область	2080	13,31	34,43	15,56	0,511	273,9	0,033	0,91	1,6
Ленинградская область	2054	12,92	31,54	14,97	0,515	243	0,023	1,12	1,1
Псковская область	2440	12,86	39,1	15,69	0,51	313,2	0,023	1,45	1
Тверская область	1667	15,53	36,48	17,64	0,501	322,4	0,037	0,86	1,3
Коми	2764	10,82	34,89	11,81	0,539	221,9	0,027	0,82	0
Карелия	2022	12,68	30,81	13,61	0,524	219,5	0,019	1,2	0,6
Костромская область	2514	14,13	46,1	16,07	0,508	376,7	0,022	1,8	0,7
Литва	947	14,89	21,01	16,29	0,507	173,6	0,042	0,42	1,7
Пермская область	1849	13,59	34,64	13,7	0,523	248,1	0,026	1,02	0,4
Тернопольская область	1392	13,91	29,16	14,89	0,515	223,6	0,038	0,59	1,2
Эстония	680	17,23	18,33	17,78	0,5	163,1	0,042	0,4	1,6
Удмуртия	1314	16,33	32,75	16,16	0,508	268,8	0,036	0,78	1,2
Марий Эл	1795	15,36	42,58	18,52	0,497	392,2	0,055	0,73	0,8

Наибольшей густотой стояния характеризуются культуры, выращенные из семян республики Коми и местного климатипа; в гродненском, эстонском и литовском клима-

типах наблюдается наибольший отпад деревьев. Запас древесины варьирует значительно: от 155 м<sup>3</sup>/га у гродненского до 392 м<sup>3</sup>/га у марийского климатипа.

Расчет обобщенного показателя успешности

Происхождения	$d$ , см	$U_d$	$G_d$	$H$ , м	$U_h$	$G_h$	$M$ , м <sup>3</sup>	$U_M$	$G_M$	$g$
Татарстан	11,85	-0,74	-0,47	13,18	-1,72	-1,1	190,09	-97,05	-1,61	<b>-1,06</b>
Брестская область	11,9	-0,69	-0,44	13,37	-1,53	-0,98	174,81	-112,33	-1,86	<b>-1,09</b>
Брестская область	14,74	2,15	1,37	15,5	0,6	0,39	283,05	-4,09	-0,07	<b>0,56</b>
Гродненская область	14,9	2,31	1,47	15	0,1	0,06	155,01	-132,13	-2,19	<b>-0,22</b>
Костромская область	12,59	0	0	14,9	0	0	287,14	0	0	<b>0</b>
Витебская область	12,69	0,1	0,06	15,51	0,61	0,39	231,64	-55,5	-0,92	<b>-0,16</b>
Латвия	14,06	1,47	0,94	15,93	1,03	0,66	242,69	-44,45	-0,74	<b>0,29</b>
Новгородская область	13,31	0,72	0,46	15,56	0,66	0,42	273,86	-13,28	-0,22	<b>0,22</b>
Ленинградская область	12,92	0,33	0,21	14,97	0,07	0,04	242,96	-44,18	-0,73	<b>-0,16</b>
Псковская область	12,86	0,27	0,17	15,69	0,79	0,51	313,16	26,02	0,43	<b>0,37</b>
Тверская область	15,53	2,94	1,88	17,64	2,74	1,76	322,41	35,27	0,58	<b>1,41</b>
Коми	10,82	-1,77	-1,13	11,81	-3,09	-1,98	221,91	-65,23	-1,08	<b>-1,4</b>
Карелия	12,68	0,09	0,06	13,61	-1,29	-0,83	219,53	-67,61	-1,12	<b>-0,63</b>
Костромская область	14,13	1,54	0,98	16,07	1,17	0,75	376,67	89,53	1,48	<b>1,07</b>
Литва	14,89	2,3	1,47	16,29	1,39	0,89	173,63	-113,51	-1,88	<b>0,16</b>
Пермская область	13,59	1	0,64	13,7	-1,2	-0,77	248,14	-39	-0,65	<b>-0,26</b>
Тернопольская область	13,91	1,32	0,84	14,89	-0,01	-0,01	223,64	-63,5	-1,05	<b>-0,07</b>
Эстония	17,23	4,64	2,96	17,78	2,88	1,85	163,09	-124,05	-2,05	<b>0,92</b>
Удмуртия	16,33	3,74	2,39	16,16	1,26	0,81	268,84	-18,3	-0,3	<b>0,97</b>
Марий Эл	15,36	2,77	1,77	18,52	3,62	2,32	392,25	105,11	1,74	<b>1,94</b>

Коэффициент продуктивности кроны показывает количество произведенной древесиной стволовой древесины, приходящееся на единицу площади проекции кроны [3]. Наиболее прогрессивным по этому показателю являются марийский, эстонский и литовский климатипы. По величине урожая лидируют культуры западных и прибалтийских происхождений. Для ели из республики Коми условия Костромской области настолько неблагоприятны, что она в возрасте 43 года еще не вступила в фазу плодоношения.

Для окончательной оценки роста провениенций ели нами был использован обобщенный показатель целесообразности внедрения климатипа  $g$ , определяемый в долях стандартного отклонения, предложенный М.Д. Мерзленко и П.Г. Мельником (табл. 5) [4].

Таким образом, по итогам анализа данных можно заключить, что наиболее успешными для воспроизводства лесов в условиях подзоны южной тайги Костромской области являются следующие происхождения: местное, восточное (республики Марий Эл и Удмуртия), западное (Брестская и Тверская области), страны Прибалтики. Такая полярность объясняется тем, что Костромская область располагается в зоне итрогрессивной

гибридизации ели. Худшим ростом характеризуются коми, татарская, карельская, витебская, ленинградская провениенции. Полученный результат лишь частично согласуется с существующим лесосеменным районированием ели обыкновенной [5], а по ряду предписаний противоречит ему. Следовательно, районирование перебросок семян ели на территории нашей страны нуждается в совершенствовании. Этому, в частности, может послужить проделанная нами работа.

#### Библиографический список

1. Александров, А.И. Исследование искусственных молодняков / А.И. Александров, И.И. Дроздов. – М.: Изд-во МЛТИ, 1985. – 32 с.
2. Шмидт, В.М. Математические методы в ботанике : учеб. пособие / В.М. Шмидт. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 288 с.
3. Багаев, Е.С. Особенности признаков роста и развития ели разного географического происхождения в Костромской области / Е.С. Багаев, С.Н. Багаев // Информационный листок № 60-79 Костромского ЦНТИ. – 1979. – 4 с.
4. Мерзленко, М.Д. Итог тридцати вегетаций в географических культурах ели Сергиево-Посадского опытного лесхоза / М.Д. Мерзленко, П.Г. Мельник // Научные труды МГУЛ. – 1995. – Вып. 274. – 213 с.
5. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР / Ред. И.И. Михайлова. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 368. с

## ОБЩАЯ ФИТОМАССА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ РАЗЛИЧНОЙ ГУСТОТЫ ПОСАДКИ К ВОЗРАСТУ СПЕЛОСТИ В БРЯНСКОМ ЛЕСНОМ МАССИВЕ

А.В. БИРЖОВ, *асп. каф. лесных культур и почвоведения БГИТА,*

В.И. ШОШИН, *проф. каф. лесных культур и почвоведения БГИТА, канд. с.-х. наук*

*ula23.81@mail.ru*

**Б**иологическая продуктивность лесов рассматривается сейчас как их основная характеристика [8]. Продуктивность и фитомасса древостоев в значительной степени зависят от первоначальной густоты посадки. Густота древостоев оказывает существенное влияние на накопление всей фитомассы и ее фракций, вызывает перестройку морфоструктуры кроны, определяет продуктивность работы ассимиляционного аппарата и общую биологическую продуктивность древостоев.

Биологическая продуктивность формаций сосны, в частности культурных фитocenozов Брянского лесного массива, практически не изучена. Имеются только данные по запасу надземной фитомассы сосновых культур на почвах двучленных отложений в возрасте 41–55 лет для I<sup>a</sup> (146,55–197,10 т/га) и I<sup>b</sup> (189,62 т/га) классов бонитета [6]. Определена структура надземной фитомассы подроста сосны обыкновенной в возрасте 4–8 лет [5]. Исследованиями в сосняках Урала, Казахстана, Европейского Севера, Восточной Сибири, Центрально-Черноземной области и в лесостепной зоне РФ установлено влияние первоначальной густоты на запас фитомассы в молодняках и средневозрастных насаждениях [1–4, 9]. Данных по запасам фитомассы спелых искусственных насаждений, отличающихся первоначальной густотой посадки, нами не обнаружено. Данная работа должна заполнить имеющийся пробел.

Определение запаса фитомассы проведено по методикам В.А. Усольцева и А.И. Уткина с некоторыми дополнениями [8, 10]. На каждом участке отбирали по 9 модельных деревьев методом пропорционально-ступенчатого представительства. Модельные деревья в период с 15 июля по 20 августа спиливали на уровне корневой шейки. Из ствола дерева брали выпилены толщиной 2–3 см вблизи корневой шейки, на высоте 1 м и далее через 2 м до

вершинки дерева. Каждый выпил сразу обмеряли по диаметру в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с точностью до 0,1 см в коре и без коры. Объем ствола модельного дерева определяли по сложной формуле срединного сечения в коре и без коры. Для определения плотности древесины брали образцы в нижней, средней и верхней части ствола. Фитомассу ветвей устанавливали по трехметровым секциям. В каждой секции отбирали по три модельные ветви, на которых брали по 1 образцу для определения массы коры и древесины ветвей. Образцы модельных ветвей и хвои разного возраста после отбора упаковывали в полиэтиленовые пакеты. В лабораторных условиях сушку образцов проводили при температуре 100–102 °С до достижения ими постоянного веса. При обработке экспериментального материала применяли регрессионный метод [8], с использованием аллометрической функции, которая имела вид

$$P = ad^b, \quad (1)$$

где  $P$  – общая фитомасса модельного дерева, кг;

$d$  – диаметр модельного дерева на высоте груди, см;

$a, b$  – коэффициенты уравнений.

Расчеты производились при помощи электронной таблицы Excel. Лесоводственно-таксационные показатели установлены по общепринятым методикам.

Объектами исследования являлись четыре постоянные пробные площади культур сосны обыкновенной, заложенные в Брянском опытном лесничестве В.П. Тимофеевым в 1924 г. с первоначальной густотой посадки от 14,1 до 25,7 тыс. шт./га. Теперь это 41 квартал Опытного лесничества Учебно-опытного лесхоза Брянской государственной инженерно-технологической академии (БГИТА). Технология закладки культур опубликована ранее [7].

Т а б л и ц а 1

Средние лесоводственно-таксационные характеристики объектов на август 2007 г.

№ пробной площади	Площадь, га	Первоначальная густота посадки, тыс.шт./га	Количество живых деревьев, шт./га	Диаметр, см	Высота, м	Площадь поперечного сечения стволов, м <sup>2</sup> /га	Живой запас, м <sup>3</sup> /га
1	0,60	19,6	675	28,6	30,9	43,3	514
2	0,23	14,1	509	30,0	31,0	36,0	375
3	0,12	25,7	642	27,9	30,6	39,2	419
4	0,13	18,5	508	31,4	29,9	39,3	407

Т а б л и ц а 2

Независимые коэффициенты уравнений регрессии функции (1)

№ пробной площади	Первоначальная густота посадки, тыс.шт./га	<i>a</i>	<i>B</i>
1	19,6	0,1025	2,4662
2	14,1	0,0832	2,5180
3	25,7	1,2471	1,7152
4	18,5	0,0832	2,5591

Крупномасштабное почвенное картирование на пробных площадях (ПП) позволило выявить от 3 до 9 почвенных разностей, различающихся мощностью гумусового и подзолистого горизонтов. Преобладающими почвами на всех ПП являются дерново-подзолистые песчаные на двучленных отложениях флювиогляциальных и кварцево-глауконитовых песков почвы. На момент исследований (2007 г.) на всех участках произрастали по I классу бонитета чистые одноярусные сосновые насаждения (табл. 1).

В подлеске преобладали крушина и рябина. Живой напочвенный покров формировали брусника, зеленые мхи, кислица, земляника и орляк. Насаждения в слабой степени повреждены раком серянок.

Анализ распределения имеющих живых деревьев по толщине показал, что размах варьирования диаметра на ПП № 1 составляет от 16 до 48 см, на ПП № 2 от 20 до 52 см, на ПП № 3 от 16 до 44 см, на ПП № 4 от 16 до 52 см. Рассчитанные значения асимметрии находятся в пределах от 0,26 (ПП № 3) до 0,69 (ПП № 4), эксцесса от -0,81 (ПП № 4) до -1,93 (ПП № 2), что характеризует полученные нами кривые распределения как близкие к нормальному типу.

Анализ фитомассы дерева от его диаметра на высоте 1,3 м выявил тесную связь между ними, корреляционные отношения находились в пределах 0,97–0,99. Это позволило нам определить уравнения регрессии (табл. 2).

С использованием уравнения регрессии была установлена выровненная фитомасса среднего дерева для каждой ступени толщины (рис. 1).

На участках с первоначальной густотой посадки 19,6 и 14,1 тыс. шт./га (ПП № 1 и 2 соответственно) фитомасса средних деревьев по ступеням толщины практически совпадает, кривые накладываются друг на друга.

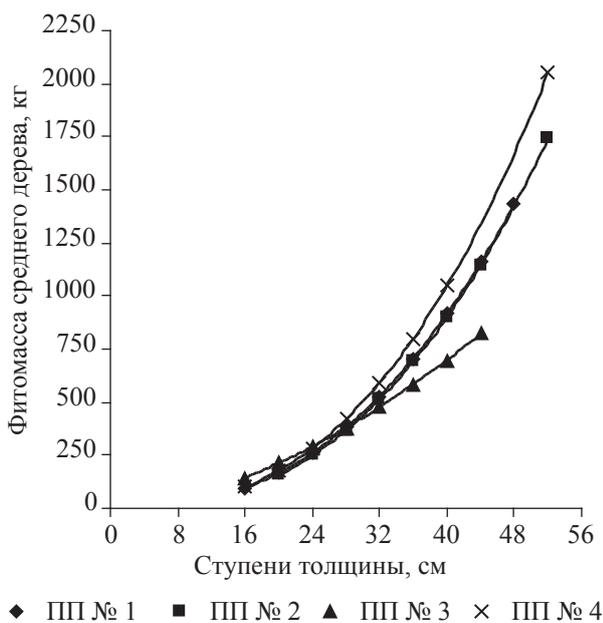


Рис. 1. Распределение фитомассы средних деревьев по ступеням толщины

Т а б л и ц а 3

**Распределение фитомассы по ступеням на пробных площадях**

№ пробной площади	Первоначальная густота посадки, тыс.шт./га	Ступени толщины, см	Фитомасса ступени	
			тонн	%
2	14,1	20	2,67	1,0
		24	21,63	7,8
		28	42,88	15,4
		32	53,35	19,1
		36	75,22	27,0
		40	35,09	12,6
		44	25,16	9,0
		52	22,64	8,1
Итого			<b>278,64</b>	<b>100</b>
4	18,5	16	0,80	0,3
		20	5,51	1,8
		24	21,81	7,2
		28	51,70	17,0
		32	40,81	13,4
		36	110,34	36,3
		40	56,54	18,6
		52	16,39	5,4
Итого			<b>303,90</b>	<b>100</b>
1	19,6	16	1,24	0,4
		20	13,26	4,3
		24	29,35	9,5
		28	60,79	19,6
		32	77,63	25,0
		36	84,73	27,3
		40	24,72	8,0
		44	13,90	4,5
		48	4,31	1,4
Итого			<b>309,94</b>	<b>100</b>
3	25,7	16	1,16	0,4
		20	24,87	9,7
		24	43,58	17,1
		28	53,75	21,1
		32	39,50	15,5
		36	39,03	15,3
		40	46,76	18,3
44	6,57	2,6		
Итого			<b>255,21</b>	<b>100</b>

Участок с густотой посадки 25,7 тыс. шт./га (ПП № 3) характеризуется наиболее равномерным распределением фитомассы среднего дерева по ступеням толщины в границах от 150 до 800 кг. На участке с густотой посадки 18,5 тыс. шт./га наблюдается наибольший разброс массы среднего дерева по ступеням толщины (от 100 кг до 2 т).

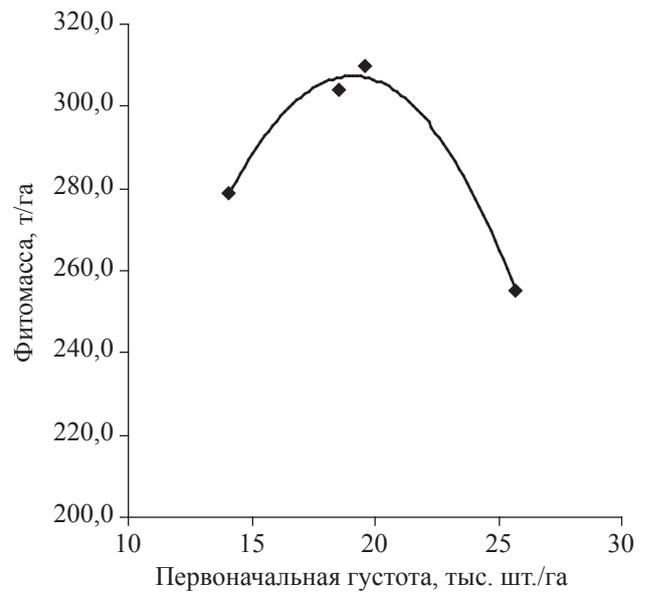


Рис. 2. Зависимость фитомассы лесных культур сосны в возрасте спелости от первоначальной густоты посадки

По фитомассе среднего дерева и числу деревьев в ступени была рассчитана общая фитомасса ступеней толщины и фитомасса всего насаждения (табл. 3).

Анализ распределения фитомассы по ступеням толщины показал, что просматривается влияние первоначальной густоты посадки. На трех участках (14,1; 18,5; 19,6 тыс. шт./га) наблюдаются одновершинные кривые распределения фитомассы, с максимумом на ступени 36 см. Для участка с первоначальной густотой посадки 25,7 тыс. шт./га характерна двухвершинная кривая распределения (ступени 28 и 40 имеют максимальные запасы фитомассы). Если принять за центр кривых распределения ступень 36 см, то на участке с густотой 14,1 тыс. шт./га до этой ступени запас фитомассы составил 43 %, на участках с густотой 18,5; 19,6 и 25,7 тыс. шт./га соответственно 40, 59 и 64 %.

Связь общей фитомассы (у, т/га) и густоты посадки (х, тыс. шт./га) хорошо отражается уравнением полинома второго порядка  $y = -121,6 + 45,0x - 1,18x^2$  с коэффициентом детерминации 0,99.

Максимальные запасы фитомассы получены при первоначальной густоте посадки около 19 тыс. шт. на 1 га.

Анализ связи между запасом фитомассы насаждения и количеством имею-

щихся в нем живых деревьев показал, что в возрасте 83 лет не выявлено влияние сохранившегося количества деревьев на запас общей фитомассы насаждения (различия по фитомассе не выходят за ошибку средней величины).

Выполненное исследование позволило сформулировать следующие выводы:

1. Первоначальная густота посадки влияет на распределение фитомассы по ступеням толщины и общий ее запас в возрасте спелости.

2. Общая фитомасса культур сосны, произрастающих по I классу бонитета, к возрасту 83 года в условиях Брянского лесного массива достигает 310 т/га.

3. Максимальные запасы фитомассы сформировались в насаждениях с первоначальной густотой посадки 18,5 – 19,6 тыс. шт./га.

4. К возрасту спелости в сомкнутых культурах не обнаруживаются связи между количеством сохранившихся в насаждении деревьев и общим запасом фитомассы насаждения.

#### Библиографический список

1. Бабич, Н.А. Биологическая продуктивность лесных культур / Н.А. Бабич, М.Д. Мерзленко. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. – 89 с.

2. Бабич, Н.А. Структура и запасы надземной фитомассы сосняка черничного искусственного происхождения / Н.А. Бабич, Г.И. Травникова, Н.П. Гаевский // Лесной журнал. – 1999. – № 2–3. – С. 29–35.
3. Пшеничникова, Л.С. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты / Л.С. Пшеничникова // Факторы продуктивности леса. – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 36–52.
4. Рубцов, В.И. Биологическая продуктивность сосны в лесостепной зоне / В.И. Рубцов, А.И. Новосельцева, В.К. Попов и др. – М.: Наука, 1976. – 223 с.
5. Сафронова, Г.П. Структура надземной фитомассы подроста сосны обыкновенной / Г.П. Сафронова // Лесоведение. – 2004. – № 6. – С. 63–66.
6. Стефуришин, М.В. Надземная фитомасса сосновых культур на почвах двучленных отложений Брянского лесного массива / М.В. Стефуришин // Вопр. лесовед. и лесовод.: сб. науч. тр. Брянск, БГИТА. – 2000. – Вып. 9. – С. 68–69.
7. Тихонов, А.С. Брянское опытное лесничество: 1906 – 2006 / А.С. Тихонов. – Калуга: издательский педагогический центр «Гриф», 2006. – 208 с.
8. Усольцев, В.А. Методы определения биологической продуктивности насаждений: монография / В.А. Усольцев, С.В. Залесов // – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. – 147 с.
9. Усольцев, В.А. Регрессионная модель предельных показателей фитомассы сосновых древостоев / В.А. Усольцев, А.В. Усольцев // Лесной журнал. – 2001. – № 1. – С. 7–14.
10. Уткин, А.И. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной в Ульяновском Поволжье / А.И. Уткин, Л.С. Ермолова // Лесоведение. – 1979. – № 3. – С. 3–15.

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕКИ БОЛВЫ В ЧЕРТЕ ГОРОДА БРЯНСКА

Л.В. КОННОВА, *асп. каф. экологии и рационального природопользования Брянского ГУ,*  
В.Б. ЛЮБИМОВ, *проф. каф. экологии и рационального природопользования Брянского ГУ,*  
*д-р биол. наук*

*lykonnova@list.ru*

**П**роблема качества воды занимает особое, определяющее место в системе охраны природы и здоровья населения. Существование всех форм жизни на земле связано с потреблением воды. Поэтому загрязнение водоемов, поверхностных и подземных водных источников несет угрозу существованию живой природы. Вода является также важнейшей субстанцией, широко используемой в большинстве технологических процессов, в том числе в энергетике, химическом производстве, сельском хозяйстве

и других отраслях народного хозяйства. Для всех организаций, связанных с хозяйственно-питьевым водоснабжением, охраной природы, осуществлением государственного надзора за качеством воды, а также для промышленных предприятий большой практический интерес представляет внедрение международных стандартов [1]. Умение представителей природоохранных служб оценивать ситуацию и вовремя предъявлять обоснованные претензии за ущерб, нанесенный окружающей среде, обес-

печивать поиск и реализацию наиболее рациональных водоохранных мероприятий, будет способствовать сохранению чистоты водоемов [2–4]. Сегодня антропогенный прессинг на природные экосистемы, в том числе и на водные объекты, интенсивно растет. Заметно перемещение наносов в устьевые участки, что ведет к нарушению эволюционно сложившихся биоценозов, экологического равновесия в водной экосистеме, снижению интенсивности самоочищения водных объектов. Значительно увеличивается объем промышленных и бытовых сточных вод, усиливается химическое и физическое загрязнение, что особенно проявляется в крупных городах, в том числе и в Брянске [5].

Река Болва (объект исследования) является левым притоком реки Десны и впадает в нее на расстоянии 794 км от ее устья. Протекает по территории Калужской и Брянской областей. Длина составляет 213 км, а площадь водосбора – 4340 км<sup>2</sup>. В Брянской области протяженность реки составляет 92 км, а площадь бассейна – 2324 км<sup>2</sup>. Река берет начало на склонах Смоленской возвышенности и впадает в р. Десну напротив древнего городища (современного Чашина Кургана). Среднегодовой расход воды в реке в районе г. Брянска составляет 21,4 м<sup>3</sup>/с (в межень – до 5,5 м<sup>3</sup>/с, в половодье – 1050 м<sup>3</sup>/с). Основными притоками р. Болвы в пределах Брянской области являются: правые – Верещевка, Олешня, Дарковка; левые – Овсорок, Болдыж и Радица. Крупными населенными пунктами в бассейне р. Болвы являются Дятьково, Любохна и Фокино. Устьевой участок в пределах г. Брянска имеет протяженность 17,5 км [6]. Берега Болвы практически сплошь покрыты лесной растительностью из дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и других видов древесных растений.

Наиболее значительные амплитуды между средними значениями скорости течения реки Болвы и максимальным зарегистрированы в январе, апреле и июле.

Расход воды составляет 24,1 м<sup>3</sup>/с в среднем в год. Площадь водного сечения составляет 41,6 м<sup>2</sup>. Ширина русла изменяется в пределах от 3,5 до 30 м, средняя глубина реки в межень составляет 1,2 (на плесах – до 3,3 м, на пере-

катах – до 0,1 м), в период половодья уровень возрастает в 2 раза. Средняя скорость течения в пределах исследуемого участка в черте города Брянска изменяется от 0,16 до 0,34 м/с.

Основными источниками загрязнения реки Болвы являются предприятия автомобильной промышленности, тяжелого машиностроения и стройматериалов. Для реки Болвы в целом характерна загрязненность органическими веществами по БПК<sub>5</sub>, а также железом общим и азотом нитритным.

Макрозообентос благодаря экологическому спектру, характерному для каждого вида, входящего в него, экологической валентности – толерантности этих видов к загрязнителям и ответным реакциям особей этих видов на загрязнение токсичными веществами, может быть использован в качестве одного из показателей состояния водной среды. Целесообразность использования этого показателя в комплексном мониторинге повышается тем, что у большинства представителей макрозообентоса продолжительность жизненного цикла превышает несколько месяцев, а в ряде случаев и лет. Вместе с тем следует отметить, что до настоящего времени макрозообентос нижнего течения реки Болвы на территории Брянской области был недостаточно изучен, что определяет актуальность исследований этого направления. Научно-исследовательская работа осуществляется в соответствии с темой научных исследований кафедры экологии и рационального природопользования Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского.

Целью работы является изучение видового состава макрозообентоса, его количественных показателей, динамики в зависимости от степени количественного и качественного загрязнения. В 2007 г. объектом исследований являлся участок нижнего течения р. Болвы в пределах города Брянска. Исследования проводились в период с 1 апреля по 30 октября 2007 г. на 4 гидробиологических станциях р. Болвы, расположенных в черте города Брянска. Станция № 1 (100 м выше ж/д моста), станция № 2 (ниже по течению – сток Брянского машиностроительного завода «БМЗ»), станция № 3 (10 м ниже автомобильного моста), станция № 4 – устье реки (таблица).

**Характеристика станций отбора проб зообентоса**

Местоположение станции	Средняя глубина, м	Характер грунтов	Характеристика станций
100 м выше по течению от ж/д моста	0,7	песчано-илистый	Правый берег низкий, заросли древесных видов растений повсеместны. Левый берег высокий, травяной покров не нарушен
Сток БМЗ	1,2	черный ил	Берег пологий. Вода мутная, с запахом и присутствием древесных остатков, повсеместно встречается ряска
10 м ниже по течению от автомобильного моста	1,8	каменисто-песчаный	Берега низкие, песчаные. Макрофиты представлены роголистником и кубышкой желтой
Устье реки	0,9	плотный, илистый	Берега пологие, макрофиты представлены осокой, рдестом. Левый берег покрыт кустарниками

Станции для исследования были выбраны с учетом разной степени антропогенного прессинга и морфометрических показателей реки на данном участке.

Наиболее значительный расход воды в межень составлял от 5,9 м<sup>3</sup>/с – на створе № 3 до 7,0 м<sup>3</sup>/с – на створе № 4 .

Отбор проб зообентоса производили гидробиологическим сачком. Донные отложения с бентосными организмами отбирались при помощи дночерпателя системы Петерсена. Отбор проб производился на расстоянии 0,5 – 2 м от берега и на глубине от 0,1 до 0,7 м. Отобранный грунт промывался через сито с размером ячеек 200–220 мкм и производился отбор организмов. Отобранный материал фиксировался в восьмипроцентном формалине. Моллюски фиксировались в 70 %-м спирте. Анализ количественных проб зообентоса заключался в определении видового состава, численности и биомассы организмов. Пересчет организмов из расчета на 1 м<sup>2</sup>, их фиксация и взвешивание организмов производилось согласно общепринятой методике [7]. Результаты обрабатывались методами математической статистики с применением компьютерной программы Microsoft Excel [8].

Видовой состав беспозвоночных определялся в лабораторных условиях с использованием бинокля и микроскопа Микмед, а также определителей [9–10]. Исследованный материал составил 55 проб зообентоса. Были изучены следующие показатели: число видов, численность (ч., экз./м<sup>2</sup>), биомасса (б., г/м<sup>2</sup>), индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера (H, бит/экз.),

индекс сапробности по методу Пантле-Бука, биотический индекс Вудивисса (БИ), индекс Гуднайта и Уитлея.

В результате проведенных исследований выявлена таксономическая структура и видовой состав макрозообентоса нижнего течения реки Болвы. Дана оценка структуры макрозообентоса при различных уровнях антропогенной нагрузки. Таксономический состав макрозообентоса включает 26 видов и форм олигохет, 24 – моллюсков, 11 видов и форм личинок хирономид, 4 – прочих двукрылых, 4 – пиявок, 5 – ручейников, 7 – поденок, 2 – ракообразных, 8 – стрекоз, 3 – полужесткокрылых и 2 вида из числа жесткокрылых. Ведущими по числу видов и внутривидовых таксонов являются олигохеты. Лидирующее положение занимает *Tubifex tubifex*. Хирономиды представлены в основном *Chironomus plumosus* L. На всех станциях были зарегистрированы пиявки – *Glossiphonia complanata* L., а ручейники и поденки отмечены только на ст. № 1 и № 4, что указывает на достаточно чистую водную среду. Число видов по станциям колебалось в широких пределах – от 6 (ст. № 2 – сток БМЗ) до 22 (ст. № 4 – устье). Наименьшее суммарное число видов (4) за весь период наблюдений выявлено на ст. 2, а наибольшее (42) – на ст. № 4. Результат подтверждается и рассчитанным индексом видового разнообразия Шеннона-Уивера, значение которого на ст. № 4 довольно высоко и составляет 3,17 бит/экз., тогда как на ст. № 2 его значение не поднималось выше 0,87 бит/экз. На ст. № 1 и ст. № 3 значение индекса колебалось в пределах от 1,68 до 2,65.

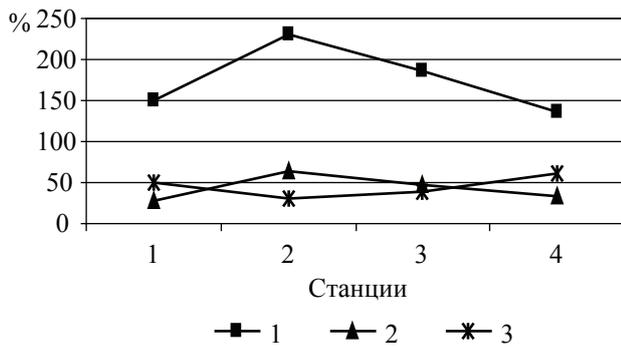


Рисунок. Количественные показатели макрозообентоса на станциях р. Болвы (2007 г.): по оси ординат – значения показателей, % от средней величины: 1 – средняя сапробность, 2 – индекс Гуднайта и Уитлея, 3 – биотический индекс Вудивисса

Что касается численности особей, то наибольшее значение было отмечено на станции № 2 (3136 экз. /м<sup>2</sup>). Доминировали олигохеты (82 %). Из них наибольшее представительство зарегистрировано для рода *Tubifex* и *Limnodrilus*, что говорит о наличии значительных загрязнений стоками завода «БМЗ». Численность здесь возрастает и в то же время происходит обеднение видового состава. На ст. № 3 основу численности составили моллюски, представители родов *Viviparus viviparus*, *Amesoda*, *Lymnaea*, что подтверждается здесь и высоким значением биомассы (168,02 г/м<sup>2</sup>). Большое разнообразие моллюсков связано с наличием песчаного грунта, характерного для этой станции, и относительно незагрязненной средой. Кроме того, нами было рассчитано значение биотического индекса Вудивисса (БИ), индекса Гуднайта и Уитлея, а также индекса сапробности по методу Пантле – Букка (S) (рисунок).

Все три показателя (индекс Гуднайта и Уитлея, БИ, СС), используемые для оценки загрязнения, дают в целом сходную картину. Ст. № 2 и № 3 загрязняются стоками завода «БМЗ» и относятся к умеренно-загрязненным, тогда как на ст. № 1 и № 4 обстановка намного благоприятнее для обитания макрозообентоса. Причем на станции № 4 это, видимо, связано с особенностями гидрологического режима (уровня воды, скорости течения, содержания кислорода в придонном слое, наличия пищи), т.к. на этой станции река Болва впадает в Десну.

По средней величине индекса сапробности Пантле-Букка (1,75) исследованный участок реки можно характеризовать как β – мезосапробная зона.

Таким образом, таксономический состав реки Болвы на исследуемом участке представлен в основном олигохетно-моллюсковым комплексом. Наибольшую антропогенную нагрузку река Болва испытывает вблизи промышленной зоны, что отражается на видовом составе и выпадении целых групп организмов макрозообентоса. Исследования этого направления следует продолжить с целью определения возможности использования результатов для комплексного мониторинга состояния водных объектов.

### Библиографический список

1. Шарова, Н.Х. Зоология беспозвоночных / Н.Х. Шарова. – М.: Гуманит – Центр ВЛАДОС, 1999. – 592 с.
2. Жмур, Н.С. Управление процессом и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: Луч, 1997. – 172 с.
3. Абакумов, В.А. Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе Гидрометеорологической службы СССР / В.А. Абакумов // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – С. 93–100.
4. Абакумов, В.А. Состояние экосистем поверхностных вод России по данным многолетнего мониторинга / В.А. Абакумов, Г.М. Черногаева // Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. – М.: Наука, 2001. – С. 177–191.
5. Карева, Н.А. Эколого-экономическая оценка влияния промышленных сточных вод на процессы биологической очистки / Н.А. Карева. – Брянск, 2005. – 162 с.
6. Ахромеев, Л.М. Природа и природные ресурсы Брянской области / Л.М. Ахромеев, А.Д. Булохов, Н.А. Булохова и др. – Брянск: БГУ, 2001. – 216 с.
7. Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
8. Пузаченко, Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях / Ю.Г. Пузаченко. – М.: Академия, 2004. – 416 с.
9. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 512 с.
10. Определитель беспозвоночных России. Высшие насекомые / Под общ. ред. С.Я. Цалолихина. – М.: Наука, 2001. Т. 5. – 836 с.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТБОРА ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

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

*lesfak@bk.ru*

Дискуссия об эффективности отбора по фенотипу и целесообразности ее активного продолжения и совершенствования ведется достаточно долго [1–5]. Имеющиеся сведения о результативности метода в лесной селекции неоднозначны, а порой противоречивы [2–5]. В Нижегородской области сформировались все предпосылки для проведения разноплановых исследований итогов отбора плюсовых деревьев, выполненного по действующим методическим схемам, и получения первичных оценок их селекционного потенциала. Здесь на достаточных площадях созданы испытательные культуры важнейших лесобразующих пород, представленные широким возрастным диапазоном, что служит надежным источником объективной информации об их генетических характеристиках. Наши исследования, проведенные в испытательных культурах сосны обыкновенной, перешедших во второй класс возраста, показали, что принципиальная возможность достижения положительного эффекта существует.

Объектом исследований выступали испытательные культуры сосны обыкновенной второго класса возраста, заложенные в Семеновском специализированном семеноводческом лесхозе Нижегородской области (ГУ НО «Семеновский спецлесхоз»). Они представлены в трех повторностях с учетом действовавших на момент их создания правил, соответствуют требованиям современных нормативных документов [6, 7], надлежащим образом паспортизированы и документированы, оформлены на местности, в 2006 г. прошли производственную аттестацию.

Испытательные культуры № 2 на момент учета имели возраст 21 год (год закладки 1987), размещены на площади 1,5 га в ТЛУ В<sub>2</sub> по схеме 3 × 3 м, представлены 22 семьями. Испытательные культуры № 3 имеют возраст 20 лет (год закладки 1988), занимают 2,5 га в ТЛУ В<sub>2</sub> с размещением 3 × 1,5 м, представ-

лены 37 семьями. Объекты созданы посадкой стандартных двухлетних сеянцев, полученных при отдельной поклоновой заготовке семян. Схема размещения рядов и посадочных мест на площади выдержана строго по проекту: посадка осуществлена после тщательной маркировки поверхности участка с обозначением каждого посадочного места на местности колышком. Сохранность культур высокая и составляет 98 % в обоих случаях.

Натурные обследования объектов с оценкой общего состояния и сплошным биометрированием проведены по окончании вегетационного периода в 2007 г. в соответствии с действующими рекомендациями [3, 7].

Описательные статистики высоты и диаметра ствола на высоте 1,3 м были получены традиционными методами. Достигнутые оценки статистической достоверности и надежности данных позволили осуществить вычисление значений наследственно обусловленной части селекционного дифференциала или респонса с использованием общепринятых схем дисперсионного анализа [8]. При этом исходили из того, что разница в показателях анализируемых признаков у представителей полусибсовых семей и контроля, представляющего нормальные насаждения – природные популяции, из которых были отобраны плюсовые деревья, представляет собой наследственно обусловленный селекционный дифференциал [1, 8, 9]. Принять этот постулат можно по следующим соображениям.

В лесной селекции проверка результатов отбора плюсовых деревьев по фенотипу основана на сравнении признаков двух поколений в испытательных культурах. Это соответствует общепринятым представлениям о методологии такого анализа [1, 8, 9, 10]. При этом базисом сравнения выступает средняя арифметическая величина анализируемого признака в исходной популяции. Ее значение дает контроль, вводимый в состав

испытательных культур. Учитывая действующие нормативы [7], на первом этапе искусственного отбора из исходной популяции отбирают по фенотипу лучшую группу особей – плюсовые деревья (или, в частном случае, одно плюсовое дерево). Понятно, что среднее значение признака в группе отобранных особей будет отличаться от среднего значения признака в популяции в лучшую сторону – в ту, в направлении которой ведется отбор. Проведение отбора по фенотипу само по себе предполагает (основано на гипотезе), что характеристики отобранных особей отличаются от таковых в исходной популяции и генотипически. Поскольку отбор (цель которого – отбор лучшего генотипа) проводится по косвенным признакам (по фенотипу), невозможно заранее предсказать или определить генотипы отбираемых объектов – особей (плюсовых деревьев). Это делает отбор в лесной селекции весьма сложной задачей. Принципиально мы можем предположить, что отбор по фенотипу даст положительный результат, если признак, по которому ведут отбор, будет в той или иной степени обусловлен генотипически. Еще большая вероятность достижения положительного результата селекции ожидается в ситуации, когда направление искусственного отбора совпадает с направлением естественного отбора.

В прямом смысле такой результат отбора оценивают селекционным дифференциалом ( $S_d$ ), представляющим собой разность между средней величиной количественного признака у отобранной для репродуцирования группы особей и средней у всей исходной популяции [8, 9]. При отборе плюсовых деревьев – это величина превышения их показателей (у каждого отдельного дерева или всей совокупности) над средним значением того же признака в исходном насаждении. Вполне надежно величину селекционного дифференциала можно прогнозировать, приняв ряд условий. Фенотипические оценки отбираемого признака распределены нормально (мы признаем априори, что в естественных насаждениях, не пройденных рубками ухода, постепенными или выборочными рубками, распределение случайно). Отбор является пороговым (именно так отбирают плюсовые де-

ревья – они выделяются в соответствии с фенотипической оценкой по признаку и должны быть лучше отбрасываемых). При этих условиях селекционный дифференциал зависит только от доли особей, включенных в группу отобранных, и от фенотипического среднего квадратического отклонения признака.

Основной результат отбора состоит в изменении частот генов, что достаточно успешно фиксируется при моно- и дигенном наследовании. В случае с полигенно наследуемыми количественными признаками и свойственной им клинальной изменчивостью изменения частот генов сами по себе оказываются почти полностью скрытыми, поскольку в этой ситуации не удастся выделить отдельные локусы. Доступные для фиксирования эффекты отбора по таким признакам преимущественно ограничены изменением популяционной средней [10], которую можно рассматривать как разницу между средним значением признака потомков отобранных родителей (в нашем случае полусибсов плюсовых деревьев в испытательных культурах) и всего родительского поколения (в нашем случае – среднего популяционного значения признака в нормальном насаждении, из состава которого был осуществлен отбор) до отбора. Такое среднепопуляционное значение признака до отбора соответствует значениям признака контроля, который в испытательных культурах представляет собой «нормальное насаждение» с такими же характеристиками, какие были в нем до отбора плюсовых деревьев. Это само по себе заложено в методике отбора плюсовых деревьев. Сначала определяют среднее значение признака в исходной популяции, затем по заданному порогу отбора – селекционному дифференциалу – отбирают те особи, значения признака у которых равно и больше, чем заданный селекционный дифференциал.

Эффект селекции выявляют у потомства отобранных родителей (у полусибсов плюсовых деревьев). Здесь «результат отбора» следует понимать в узком смысле как результат отбора лучшего генотипа (лучших генотипов), как сдвиг при отборе: понимается как генетический сдвиг или респонс и обозначается  $R$ . Соотношение между вели-

чинами  $R$  и  $S_d$  определено коэффициентом наследуемости  $h^2$ , а именно  $R = h^2 \times S_d$ . При семенном размножении, что имеет место в испытательных культурах, генетическое улучшение – респонс – рассчитывается через коэффициент наследуемости в узком смысле  $h^2$  (следовательно, его можно определять как популяционную величину коэффициента наследуемости селектируемого признака).

П.Ф. Рокицкий [8] рассматривает сдвиг при отборе как разность между средней фенотипической величиной селектируемого признака у потомства отобранных особей (особи) и средним значением того же признака в исходной популяции (у родительского поколения до отбора). В испытательных культурах адекватным аналогом значения признака в исходной популяции выступает его значение у семенного потомства нормальных насаждений – «контроль». Это вполне логично, поскольку при стабильном значении признака в популяции и равновесном соотношении частот генотипов в ней, при отсутствии выраженного действия направленного отбора на селектируемый признак среднее значение признака у потомков популяции (при репрезентативной выборке) должно быть адекватным (равным) значению того же признака в этой популяции. В противном случае нам придется признать неопределенность признаков вида вообще либо нерепрезентативность контроля. Идеология контроля – обеспечение адекватности и репрезентативности характеристик исходной популяции, из которой произведен отбор анализируемых объектов (плюсовых деревьев), и выборки из нее (ее модели). Контроль – репрезентативная часть исходной популяции. Здесь могут возникнуть многочисленные проблемы теоретического и методического плана. В идеале, если контроль характеризует исходную популяцию абсолютно полно, то он должен быть представлен всеми участками леса, из которых были отобраны испытываемые плюсовые деревья.

Тогда складывается ситуация, в которой, используя результаты учета признаков исследуемых деревьев в испытательных культурах, созданных согласно действующим нормативам [6, 7] с включением в их состав контроля, мы можем определить величины

наследуемой части селекционного дифференциала. Эту оценку мы рассматриваем как разницу между значениями признаков потомства отобранных плюсовых деревьев и средним значением признака потомства исходной родительской совокупности, что соответствует современным представлениям о данном показателе [8–10].

Для выявления и оценки эффективности отбора плюсовых деревьев по фенотипу был осуществлен однофакторный дисперсионный анализ парных комплексов, состоящих из одного из семенных потомств плюсового дерева (полусибсовой семьи) и контроля (табл. 1).

Полученные материалы свидетельствуют о неодинаковой степени различий между контролем и каждой из сравниваемых с ним полусибсовых семей. При этом сопоставление с контролем обобщенного комплекса, состоящего из всех семенных потомков плюсовых деревьев, принявших участие в испытаниях, выявило наличие существенных различий: опытный критерий Фишера ( $F_{\text{он}} = 20,50$ ) заметно превышает табличное значение на 5 % уровне значимости ( $F_{05} = 3,85$ ). Влияние организованных факторов (в данном случае собственно различий между семьями – факторов наследственности) на формирование указанных различий при оценке по методу Снедекора составляет 14,47 %.

Оценка по методу Плохинского дала заметно меньший результат. Однако это вполне объяснимо тем, что в данном методе оценки доли влияния фактора используется отношение сумм квадратов отклонений, не учитывающее число степеней свободы. В вариантах реализации дисперсионного анализа для комплексов, состоящих только из двух групп объектов, как в нашем случае, число степеней свободы факториальной дисперсии всегда составляет единицу ( $2 - 1 = 1$ ). Число степеней свободы общей дисперсии может достигать значительно больших величин (в нашем примере оно равно 1102). Тогда при переходе к оценкам доли влияния фактора по дисперсионному отношению (по отношению средних квадратов отклонений) разница в величинах дисперсии организованного фактора (числитель дисперсионного отношения) и общей дисперсии (знаменатель дисперсионного отношения) окажется значительно меньше.

Результаты отбора по высоте ствола в испытательных культурах сосны обыкновенной

Полусибсы и контроль	Критерий Фишера		Доля влияния фактора				Среднее, м	R, %	i	t
			по Плохинскому		по Снедекору					
	$F_{оп}$	$F_{05}$	$h^2$	$\pm s_{h2}$	$h^2$	$\pm s_{h2}$				
С-302	13,74	3,92	0,1043	0,0076	0,1751	0,0070	9,46	10,50	0,62	3,72
С-325	13,72	3,93	0,1109	0,0081	0,1863	0,0074	9,44	10,21	0,60	3,85
С-321	4,84	3,92	0,0408	0,0084	0,0623	0,0082	9,14	6,71	0,39	2,21
С-309	1,50	3,93	0,0133	0,0089	0,0088	0,0089	8,91	4,06	0,24	1,22
С-317	1,02	3,93	0,0094	0,0092	0,0004	0,0093	8,88	3,65	0,21	0,99
С-300	7,78	3,93	0,0672	0,0086	0,1109	0,0082	9,39	9,61	0,56	2,76
С-299	9,61	3,93	0,0791	0,0082	0,1319	0,0078	9,40	9,80	0,58	3,11
С-301	10,24	3,93	0,0852	0,0083	0,1426	0,0078	9,46	10,45	0,61	3,19
С-313	15,35	3,93	0,1255	0,0082	0,2108	0,0074	9,59	12,02	0,71	4,00
С-320	23,13	3,94	0,1958	0,0085	0,3283	0,0071	9,86	15,18	0,89	5,38
С-328	5,70	3,93	0,0520	0,0091	0,0832	0,0088	9,27	8,19	0,48	2,37
С-322	3,85	3,93	0,0344	0,0089	0,0498	0,0088	9,18	7,14	0,42	1,92
С-316	75,91	3,94	0,4365	0,0058	0,6116	0,0040	10,77	25,79	1,51	9,89
С-323	22,61	3,94	0,1939	0,0086	0,3270	0,0072	10,02	16,98	1,00	4,80
С-305	20,15	3,94	0,1705	0,0085	0,2870	0,0073	9,84	14,90	0,88	4,63
С-308	16,43	3,93	0,1365	0,0083	0,2296	0,0074	9,58	11,87	0,70	4,30
С-312	9,00	3,93	0,0811	0,0090	0,1369	0,0085	9,44	10,26	0,60	2,99
С-307	1,32	3,95	0,0153	0,0116	0,0087	0,0117	8,15	-4,87	-0,29	-1,07
С-304	0,49	3,93	0,0045	0,0091	-0,0093	0,0093	8,76	2,26	0,13	0,70
С-306	8,12	3,93	0,0718	0,0088	0,1195	0,0084	9,27	8,19	0,48	3,02
С-319	20,17	3,92	0,1449	0,0072	0,2406	0,0064	9,53	11,28	0,66	4,51
С-329	15,96	3,92	0,1166	0,0073	0,1957	0,0066	9,47	10,56	0,62	3,98
Контроль	—	—	—	—	—	—	8,56	0,00	0,00	0,00
Общее	20,50	3,85	0,0183	0,0009	0,1447	0,0008	9,40	9,71	0,57	4,34

R – наследуемый селекционный дифференциал; i – интенсивность отбора; t – достоверность разности средних по Стьюденту

Это обусловлено тем, что вычисление среднего квадрата отклонений факториальной дисперсии предполагает деление его суммы квадратов отклонений на число степеней свободы, которое в парном дисперсионном комплексе всегда равно единице. В то же время вычисление среднего квадрата отклонений общей дисперсии всегда предполагает деление на значительно большее число степеней свободы (в данном случае оно больше в 1102 раза).

Установленные подтверждения существования различий между обобщенным комплексом полусибсового потомства плюсовых деревьев и контролем позволили вычислить наследуемый селекционный дифференциал, достигнутый в целом при осуществлении отбора плюсовых деревьев по фенотипу. По высоте ствола его величина положительна и составила 0,63 м, или 9,71 % от средней популяционной величины количественного признака, представленной контролем (от 8,56 м).

Величина интенсивности отбора как отношение селекционного дифференциала к популяционной величине среднего квадратического отклонения составила 0,57. Достоверность селекционного дифференциала и интенсивности отбора соответственно подтвердила величина достоверности разности средних, заметно превышающая допустимые табличные значения на 5 % и 1 % уровнях значимости:  $t = 4,34$  ( $t_{05} = 1,96$ ;  $t_{01} = 2,58$ ).

Полученный материал свидетельствует о положительном селекционном эффекте в отношении высоты ствола, достигаемом при проведении отбора плюсовых деревьев по фенотипу. Селекционное улучшение насаждений на 9,71 % (близко к 10 %) следует считать значительным достижением. Следовательно, семенной материал, полученный на лесосеменных плантациях от клонов плюсовых деревьев, способен обеспечить лучшее качество создаваемых из него лесных культур.

Относительно семенных потомств отдельных плюсовых деревьев в большинстве случаев селекционный эффект также оказался положительным. При этом наилучший результат показали плюсовые деревья № 313, 320, 316, 323, 305, 308. Их наследуемый селекционный дифференциал составил соответственно: 1,03 м (12,02 %), 1,30 м (15,18 %), 2,21 м (25,29 %), 1,45 м (16,98 %), 1,28 м (14,90 %), 1,02 м (11,87 %). Все величины наследуемой части селекционного дифференциала достоверны, а превышения семенных поколений перечисленных плюсовых деревьев над контролем существенны. Это подтверждают значения опытных критериев Фишера и критериев достоверности разности средних, превосходящие соответствующие критические значения.

Часть объектов, плюсовые деревья № 309, 317, 322, 307, 304, не имела существенных различий с контролем, а плюсовое дерево № 307 имело значения высоты ствола в 21-летних испытательных культурах ниже контроля. Соответствующие им значения селекционного дифференциала и интенсивности отбора недостоверны, а различия с контролем несущественны.

Аналогичные заключения удается сделать и при анализе эффективности отбора плюсовых деревьев сосны обыкновенной по диаметру ствола (табл. 2). Однако в этом случае заметно меньшее число семей плюсовых деревьев достоверно отличалось от контроля. Не зафиксировано существенных различий и в варианте сопоставления контроля с обобщенным массивом данных по всем полусибсовым семьям анализируемых плюсовых деревьев.

Ряд семей продемонстрировал существенные различия с контролем, в том числе и в сторону увеличения показателя. Это может быть объяснено тем, что к моменту обследования испытательных культур они полностью сомкнулись кронами, что стимулировало рост деревьев в высоту и, как следствие, вызвало усиление различий между ними по данному параметру. Та же причина несколько ослабила их развитие по диаметру, приводя к нивелированию различий в указанном отношении.

Аналогичные данные были получены и при обследовании испытательных культур сосны обыкновенной № 3 в том же лесном

предприятии. Установленные оценки доли влияния фактора, представляющего собой генотипически обусловленные различия, и значения селекционного дифференциала позволили вычислить значения наследственно обусловленного сдвига, или респонса.

Представленный материал позволяет утверждать, что, несмотря на отсутствие в ряде случаев парного сравнения полусибсовых семей с контролем, часть испытываемых плюсовых деревьев сосны обыкновенной продемонстрировала существенное превышение параметров (прежде всего высоты) относительно контроля. Как правило, именно эти объекты показали и наилучший результат при оценке их общей комбинационной способности, подтвердив наследственно обусловленные преимущества. Это дает основания признать эффективность проведения отбора плюсовых деревьев по фенотипу и целесообразность его продолжения.

Объективной оценкой результативности отбора плюсовых деревьев по фенотипу может выступать наследственно обусловленная часть селекционного дифференциала – респонс. Предлагаемое применение традиционных методов его вычисления при работе с испытательными культурами предоставляет возможность получения реальных значений селекционных преимуществ сравнительно изучаемых объектов. Регламент создания и содержания испытательных культур обеспечивает полную реализацию описанного методического подхода к проведению такого рода анализа селекционно-генетических объектов. Применение дисперсионного анализа в качестве основного математического аппарата позволяет получить оценки достоверности и существенности различий, определить долю влияния организованных факторов, под которыми понимается собственно различия в показателях между контролем и каждой из исследуемых полусибсовых семей.

Тот факт, что в предложенной схеме анализа все полусибсовые семьи сравниваются с одним и тем же объектом, выступающим в роли своеобразного критерия, или тестера селекционного превосходства, делает полученные оценки универсальными и обеспечивает широкий спектр их применения.

Результаты отбора по диаметру ствола в испытательных культурах сосны обыкновенной

Полу-сиссы и контроль	Критерий Фишера		Доля влияния фактора				Среднее, м	R, %	i	t
			по Плохинскому		по Снедекору					
	$F_{05}$	$F_{05}$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$				
C-302	3,10	3,92	0,0256	0,0083	0,0338	0,0082	16,85	7,000	0,314	1,761
C-325	0,95	3,93	0,0086	0,0090	-0,0008	0,0091	16,33	3,682	0,165	1,003
C-321	0,01	3,92	0,0001	0,0088	-0,0174	0,0089	15,81	0,356	0,016	0,094
C-309	0,00	3,93	0,0000	0,0090	-0,0181	0,0092	15,72	-0,22	-0,01	-0,05
C-317	0,15	3,93	0,0014	0,0092	-0,0159	0,0094	15,49	-1,66	-0,07	-0,38
C-300	0,06	3,93	0,0005	0,0093	-0,0177	0,0094	15,58	-1,08	-0,05	-0,24
C-299	1,00	3,93	0,0089	0,0088	0,0000	0,0089	16,41	4,200	0,188	1,000
C-301	1,63	3,93	0,0146	0,0090	0,0112	0,0090	16,69	5,965	0,268	1,255
C-313	3,65	3,93	0,0329	0,0090	0,0469	0,0089	16,95	7,607	0,341	1,954
C-320	7,22	3,94	0,0707	0,0098	0,1208	0,0093	17,67	12,21	0,548	2,750
C-328	2,18	3,93	0,0205	0,0094	0,0223	0,0094	16,86	7,065	0,317	1,435
C-322	5,25	3,93	0,0464	0,0088	0,0726	0,0086	17,25	9,543	0,428	2,307
C-316	35,55	3,94	0,2662	0,0075	0,4207	0,0059	19,55	24,11	1,082	6,501
C-323	4,30	3,94	0,0438	0,0102	0,0691	0,0099	17,30	9,841	0,441	2,068
C-305	1,31	3,94	0,0132	0,0101	0,0065	0,0101	16,60	5,400	0,242	1,126
C-308	2,73	3,93	0,0256	0,0094	0,0323	0,0093	16,82	6,800	0,305	1,694
C-312	1,06	3,93	0,0103	0,0097	0,0012	0,0098	16,55	5,061	0,227	0,992
C-307	1,38	3,95	0,0159	0,0116	0,0102	0,0116	14,79	-6,12	-0,28	-1,18
C-304	2,75	3,93	0,0246	0,0089	0,0309	0,0089	14,66	-6,96	-0,31	-1,66
C-306	5,73	3,93	0,0517	0,0090	0,0827	0,0087	17,29	9,798	0,440	2,446
C-319	1,86	3,92	0,0154	0,0083	0,0140	0,0083	16,54	5,035	0,226	1,367
C-329	0,04	3,92	0,0004	0,0083	-0,0158	0,0084	15,87	0,727	0,033	0,207
Контроль		—	—	—	—	—	15,75	0,000	0,000	0,000
Общее	2,60	3,85	0,0024	0,0009	0,0137	0,0009	16,49	4,704	0,211	1,603

R – наследуемый селекционный дифференциал; i – интенсивность отбора; t – достоверность разности средних по Стьюденту

При условии, когда контроль объективно и полно представляет все нормальные насаждения, из состава которых были выделены плюсовые деревья, обуславливает правомочность обобщения оценок, полученных на разных испытательных культурах, представленных их семенным потомством. Это можно принять (с некоторой долей условности), если контроль во всех испытательных культурах является одной и той же в генетическом плане совокупностью объектов, адекватно представляющей исходную популяцию.

**Библиографический список**

1. Райт, Дж. В. Введение в лесную генетику / Дж.В. Райт. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 470 с.
2. Петров, С.А. Система плюсовой селекции / С.А. Петров // Разработка основ систем селекции древесных пород: Тез. докл. совещания. Ч. I. – Рига, 1981. – С. 103–105.
3. Ефимов, Ю.П. Генетико-селекционная оценка объектов постоянной лесосеменной базы / Ю.П. Ефимов //

Генетика и селекция – на службе лесу: Матер. междунар. науч. конф., Воронеж, 28 – 29 июня 1996 г. – Воронеж: изд. НИИЛГиС, 1997. – С. 298–307.

4. Потылев, В.Г. Проблемы лесного селекционного семеноводства / В.Г. Потылев // Лесохозяйственная информация. – 1997. – № 3. – С. 14–30.
5. Царев, А.П. Вопросы и проблемы плюсовой селекции / А.П. Царев, Н.В. Лаур // Лесной вестник. – 2006. – № 5. – С. 118–123.
6. Основные положения методики закладки испытательных культур плюсовых деревьев основных лесобразующих пород. – Воронеж: Гослесхоз СССР, 1982. – 18 с.
7. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. – 199 с.
8. Рокицкий, П.Ф. Введение в статистическую генетику / П.Ф. Рокицкий. – Минск: Высшая школа, 1978. – 448 с.
9. Айала, Ф.Дж. Современная генетика – В 3-х т. Т. 2., Пер с англ. / Ф.Дж. Айала, Дж.А. Кайгер. – М.: Мир, 1988. – 368 с.
10. Фолконер, Д.С. Введение в генетику количественных признаков / Д.С. Фолконер. – М.: Агропромиздат, 1985. – 486 с.

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕМЕННОГО И ВЕГЕТАТИВНОГО СПОСОБОВ РАЗМНОЖЕНИЯ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В НИЖЕГОРОДСКУЮ ОБЛАСТЬ ДРЕВЕСНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА БОБОВЫЕ

Е.И. ЗАХАРОВА, ассистент каф. лесных культур Нижегородской ГСХА

*leshoz@mts-nn.ru*

Устойчивое управление лесами предусматривает систему мероприятий по их воспроизводству, что делает лесокультурную деятельность особенно актуальной. Значимость мероприятий по созданию искусственных лесов высока еще и в связи с расширением площадей лесных культур не только общего, но и специального назначения, к которым можно отнести насаждения, выполняющие функцию депонирования углерода. Нижегородская область выступает одним из регионов, в котором представлено участие нашей страны в реализации Киотского протокола. Не менее важным является создание искусственных насаждений, выполняющих различные защитные функции. Создание подобных лесных культур целесообразно с привлечением широкого ассортимента видов деревьев и кустарников, как представителей местной флоры, так и интродуцентов. Сохранение и расширение разнообразия видов, используемых для создания лесных культур различного целевого назначения и конструкций, представляется одной из важных задач лесного хозяйства. Эффективным средством ее решения выступает интродукция. Успех перечисленных мероприятий может быть достигнут только при надежном обеспечении качественным посадочным материалом, в том числе и новыми для региона видами, выявлении наиболее оптимальных способов размножения экзотов.

Наше внимание привлекли древесные представители семейства бобовые (*Leguminosae Juss.*), в условиях Нижегородской области являющиеся интродуцентами североамериканского происхождения. Это обусловлено тем, что на территории области значительные площади лесокультурного фонда представлены малопродуктивными песчаными почвами. До настоящего времени сосна обыкновенная является единствен-

ной породой, используемой в ассортименте создаваемых насаждений. Ценность объекта исследования – азотофиксация, как следствие – способность к освоению малопродуктивных почв.

Целью исследования явилась сравнительная оценка посадочного материала древесных представителей семейства бобовые (*Leguminosae Juss.*), полученного зеленым черенкованием и семенным путем, выявление наиболее оптимальных способов размножения в условиях интродукции Нижегородской области.

Объектами исследования послужили виды семейства бобовые, сосредоточенные в коллекции дендрария Дзержинского лесхоза Нижегородской области: робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia L.*), аморфа кустарниковая (*Amorpha fruticosa L.*), карагана древовидная (*Caragana arborescens Lam.*).

Способность к вегетативному размножению методом зеленого черенкования изучаемых видов была выявлена в результате исследований [1]. Для этого было высажено на укоренение 1106 штук зеленых черенков в два срока: 29 июня (табл. 1) и 16 июля 2007 года (табл. 2).

Перед посадкой в парник нарезанные черенки обрабатывались водными растворами стимуляторов роста, таких как гетероауксин, корневин, эпин, ростень, планта, циркон. Эталонами выступили черенки, находящиеся до посадки в воде комнатной температуры.

Укоренение осуществлялось в пленочных парниках, использовался трехслойный субстрат: нижний слой был представлен керамикой и выполнял функцию дренажа, второй слой – перегнойная почва, назначение которой сводилось к снабжению образовавшихся корней питательными веществами, верхний слой – крупнозернистый речной песок.

В конце вегетационного периода укоренившиеся черенки были извлечены из парника для оценки укореняемости и измерения морфологических признаков. Анализу подвергались следующие признаки: средний диаметр корней первого порядка – с помощью электронного штангенциркуля ELECTRONIC DIGITAL CALIPER, с точностью 0,01мм; прирост в высоту, протяженность корней 1-го порядка – с помощью сантиметровой линейки, с точностью 1 см; количество корней 1-го порядка, наличие корней последующих порядков, наличие клубеньков на корнях – визуально (табл. 1, 2).

Материалы табл. 1 свидетельствуют о том, что влияние разных стимуляторов на формирование анализируемых признаков исследуемых видов неодинаково.

У караганы древовидной в целом лучших результатов достигли черенки, обработанные гетероауксином. Именно этот стимулятор способствовал формированию наиболее длинных корневых систем (средняя длина составила 29,6 см) с наибольшим числом корней первого порядка (среднее

количество 7,47 шт., максимальное 13 шт.) и наибольший прирост надземной части (средний прирост 14,97 см).

Вместе с тем средний диаметр корней первого порядка у них оказался ниже, чем у черенков, обработанных ростенем (0,49 мм) и эпином (0,45 мм) и составил 0,39 мм, у эталона этот показатель оказался всего 0,28 мм. Однако максимальное значение признака у данного вида зафиксировано у черенка, обработанного также гетероауксином (0,99 мм), минимальное значение признака установлено у черенков эталона и обработанных цирконом – 0,1 мм.

Максимальное количество корней 1-го порядка у черенков-эталонов, а также обработанных корневином и плантой, составило всего 5 шт. Минимальное значение длины корней продемонстрировали черенки, обработанные ростенем (5,82 см) и корневином (5,9 см). Минимальный прирост надземной части отмечен у черенка эталона (2,17 см). Наличие клубеньковых бактерий на образовавшихся корнях караганы древовидной не зафиксировано.

Т а б л и ц а 1

**Основные статистические показатели признаков укоренившихся черенков древесных представителей семейства бобовые (опыт от 29 июня 2007 г.)**

Показатели	Объекты																					
	Карагана древовидная							Робиния лжеакация							Аморфа кустарниковая							
	Стимуляторы роста																					
	планта	эпин	гетеро-ауксин	циркон	ростень	корневин	вода	планта	эпин	гетеро-ауксин	циркон	ростень	корневин	вода	планта	эпин	гетеро-ауксин	циркон	Ростень	корневин	вода	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Средний диаметр корней первого порядка, мм																						
λ	0,31	0,45	0,39	0,36	0,49	0,37	0,28	0,53	0,47	0,96	0,45	0,69	0,59	1,3	1,42	2,00	1,44	1,39	1,63	1,25	1,58	
max	0,53	0,69	0,99	0,73	0,83	0,85	0,83	1,12	0,83	2,67	0,69	1,71	1,42	4,44	3,73	4,0	4,5	2,81	3,21	2,82	2,22	
min	0,12	0,14	0,11	0,1	0,22	0,16	0,1	0,18	0,1	0,15	0,2	0,15	0,15	0,09	0,3	1,02	0,25	0,29	0,5	0,31	1,02	
Прирост в высоту, см																						
λ	5,25	15,3	14,9	12,1	7,15	8,05	2,17	7,9	5,25	17,5	7,75	4,0	4,2	12,8	36,2	40,4	37,1	37,8	31,8	33,5	30,5	
max	8,0	25,0	30,5	21,0	18,5	12,5	4,0	13,0	9,0	36,0	13,0	7,5	8,0	35,0	52,0	50,0	56,0	55,0	45,5	50,0	44,5	
min	2,5	6,0	2,5	6,0	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	2,8	2,5	1,0	2,0	1,0	14,0	25,0	21,0	9,0	18,0	3,5	14,0	
Протяженность корней первого порядка, см																						
λ	14,5	15,2	29,6	16,6	5,82	5,9	10,2	8,45	7,25	8,36	3,75	3,25	5,5	7,95	28,7	32,2	29,8	39,4	22,9	20,2	38,3	
max	28,5	52,0	93,0	41,0	27,0	13,5	34,0	34,0	10,0	22,0	6,5	4,0	14	21,5	100	84,0	51,5	151	42,5	62,0	76,0	
min	2,5	2,0	5,0	1,5	1,0	0,5	1,5	0,7	4,5	1,5	1,0	3,0	0,5	1,0	3,0	13,5	6,5	2,0	4,0	1,3	14,5	
Количество корней первого порядка, шт																						
λ	3,25	3,73	7,47	4,29	3,29	2,81	2,5	1,83	2,5	1,64	1,5	1,5	1,17	1,4	3,33	3,94	4,29	5,0	3,07	3,88	4,8	
max	5	6	13	11	6	5	5	4	3	4	2	2	2	3	8	13	8	13	6	8	9	
min	1	1	5	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	

Т а б л и ц а 2

**Основные статистические показатели признаков укоренившихся черенков древесных представителей семейства бобовые (опыт от 16 июля 2007 г.)**

Показатели	Объекты																					
	Карагана древовидная								Робиния лжеакация								Аморфа кустарниковая					
	Стимуляторы роста																					
	планта	эпин	гетеро-ауксин	циркон	ростень	корневин	вода	планта	эпин	гетеро-ауксин	циркон	ростень	корневин	вода	планта	эпин	гетеро-ауксин	циркон	ростень	корневин	вода	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Средний диаметр корней первого порядка, мм																						
$\lambda$	0,34	0,24	0,4	0,42	0,32	0,35	0,4	0,41	0,29	0,49	0,39	0,32	0,69	0,73	0,84	0,4	0,84	0,79	0,92	0,72	1,23	
max	0,59	0,4	0,77	0,8	0,58	0,55	0,9	0,75	0,42	1,05	0,49	0,49	1,19	1,45	2,23	0,87	2,5	2,46	2,5	1,54	3,45	
min	0,11	0,09	0,12	0,22	0,1	0,19	0,17	0,2	0,15	0,11	0,3	0,16	0,4	0,19	0,11	0,09	0,2	0,1	0,19	0,23	0,27	
Прирост в высоту, см																						
$\lambda$	2,66	4,83	3,0	4,32	4,2	2,45	2,0	0,97	1,25	3,0	3,5	2,3	2,0	2,7	15,4	10,2	15,9	18,1	15,9	16,3	18,2	
max	3,8	6,5	3,0	13,5	4,2	3	2,5	1,5	1,5	7,0	3,5	2,3	2,0	10,0	29,5	25,0	31,0	28,5	26,5	26,0	24,0	
min	0,8	3,5	3,0	0,8	4,2	1,8	1,5	0,5	1,0	1,0	3,5	2,3	2,0	0,2	7,0	1,5	2,0	3,0	0,8	4,0	12,0	
Протяженность корней первого порядка, см																						
$\lambda$	2,83	7,59	17,1	7,87	13,5	13,8	12,5	1,82	1,17	10,1	1,6	1,97	4,0	3,35	21,4	8,16	18,8	30,2	13,6	21,8	16,4	
max	8,3	31,5	59,0	33,0	31,5	53,0	50,6	3,5	1,8	22,0	2,8	5,3	6,0	6,5	63,0	22,0	58,0	87,0	41,0	68,0	66,0	
min	0,3	0,3	0,5	0,3	0,7	2,0	1,3	0,2	0,7	0,5	0,4	0,3	1,0	0,3	0,5	1,5	2,5	1,5	1,0	1,0	1,5	
Количество корней первого порядка, шт																						
$\lambda$	1,8	4,12	4,86	2,59	4,53	3,81	3,36	1,14	1,0	1,69	1,0	1,17	1,0	1,0	3,0	2,14	3,17	4,0	2,2	2,88	2,85	
max	4	12	11	6	10	11	8	2	1	4	1	2	1	1	8	5	8	11	5	6	6	
min	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Т а б л и ц а 3

**Результаты двухфакторного дисперсионного анализа признаков укоренившихся черенков древесных представителей семейства бобовые**

Признаки	Критерий Фишера (по факторам)						Сила влияния фактора			
	А		В		АВ		А	В	АВ	Z
	$F_{оп}$	$F_{05}$	$F_{оп}$	$F_{05}$	$F_{оп}$	$F_{05}$	$h^2$	$h^2$	$h^2$	$h^2$
Опыт от 29 июня 2007 года										
Средний диаметр корней 1-го порядка, мм	71,09	1,7	1,47	3,8	1,61	1,7	0,43	0,01	0,03	0,53
Прирост в высоту, см	205,7	1,7	4,09	3,8	1,88	1,7	0,7	0,03	0,02	0,25
Протяженность корней первого порядка, см	42,88	1,7	2,62	3,8	1,23	1,7	0,31	0,03	0,01	0,65
Количество корней первого порядка, шт.	44,44	1,7	4,75	3,8	3,76	1,7	0,27	0,06	0,12	0,55
Опыт от 16 июля 2007 года										
Средний диаметр корней 1-го порядка, мм	46,11	1,7	6,6	3,8	2,06	1,7	0,26	0,08	0,04	0,62
Прирост в высоту, см	88,76	1,7	0,71	3,8	0,69	1,7	0,56	0	0	0,44
Протяженность корней первого порядка, см	6,2	1,7	1,45	3,8	1,55	1,7	0,05	0,01	0,03	0,91
Количество корней первого порядка, шт.	34,34	1,7	1,31	3,8	1,89	1,7	0,22	0,01	0,04	0,73

Лучшее влияние на укореняемость и рост черенков робинии лжеакация оказал гетероауксин. Черенки, обработанные данным стимулятором роста, по всем признакам продемонстрировали наиболее высокие значения, высокие показатели оказались и у эталона. На корнях эталона были зафиксированы клубеньковые бактерии, у черенков,

обработанных стимуляторами, их не обнаружено. Результаты опыта позволяют сделать вывод – обработка черенков стимуляторами роста подавляет образование клубеньковых бактерий.

Росту черенков аморфы кустарниковой в наибольшей степени способствовал эпин. Высокие показатели роста отмечены и

у черенков, обработанных гетероауксином и цирконом, а так же у черенков-эталонов.

Опыт от 16 июля 2007 г. показывает (табл. 2), что на средний диаметр корней 1-го порядка караганы древовидной лучшее влияние оказывают циркон ( $\lambda = 0,42$  мм) и гетероауксин ( $\lambda = 0,4$  мм). Наибольший прирост в высоту отмечен у черенков, обработанных эпином ( $\lambda = 4,83$  см) и цирконом ( $\lambda = 4,32$  см), наименьший – у черенков-эталонов и обработанных плантой. По протяженности корней 1-го порядка и их количеству лучшие показатели у черенков, обработанных гетероауксином, наихудшие значения по данным признакам у черенков, обработанных плантой.

Лучшее влияние на рост и развитие черенков робинии лжеакации оказал гетероауксин. Однако параметры черенков-эталонов не намного уступают параметрам черенков, обработанных гетероауксином, а по некоторым и превышают их. То же самое можно сказать о черенках аморфы кустарниковой.

Проведенные опыты показывают, что лучшее влияние на рост и развитие всех черенков оказывает гетероауксин. Однако следует отметить, что высокие темпы роста у черенков отмечены при обработке водой, что более экономически выгодно. Более того, у черенков-эталонов робинии лжеакации отмечены клубеньковые бактерии рода *Rhizobium*, что указывает на еще большую эффективность такой предпосадочной обработки черенков данного вида.

Для проведения двухфакторного анализа параметры черенков древесных представителей семейства бобовые по признакам были объединены в неравномерный комплекс, что позволило вскрыть структуру организованных факторов и оценить действенность каждого из них отдельно (табл. 3).

Данные табл. 3 свидетельствует о наличии существенных различий между сравниваемыми объектами (представителями разных древесных видов семейства *Leguminosae Juss.*) по отдельным признакам. Так, в опыте от 29.06.2007 г. зафиксированы существенные различия по приросту в высоту: опытные значения  $F$ -критерия Фишера превосходят соответствующие табличные значения по фактору «различия между вида-

ми» (различия по фактору А) на 5 % уровне ( $F_{\text{он}} = 205,7$  при  $F_{05} = 1,7$ ), по фактору «различия в обработке стимуляторами роста» (различия по фактору В) на 5 % уровне ( $F_{\text{он}} = 4,09$  при  $F_{05} = 3,8$ ) и по фактору «взаимодействия влияния различий между видами и различий в обработке стимуляторами роста» (различия по факторам А и В) на 5 % уровне ( $F_{\text{он}} = 1,88$  при  $F_{05} = 1,7$ ). Аналогичная картина в данном опыте наблюдалась по количеству корней 1-го порядка. По среднему диаметру корней 1-го порядка существенные различия зафиксированы по фактору «различия между видами» ( $F_{\text{он}} = 71,09$  при  $F_{05} = 1,7$ ); по факторам «различия в обработке стимуляторами роста» и «взаимодействия влияния различий между видами и различий в обработке стимуляторами роста» существенных различий не обнаружено: опытные значения  $F$ -критерия Фишера меньше соответствующих табличных значений на пятипроцентном уровне ( $F_{\text{он}} = 1,47$  при  $F_{05} = 3,8$  и  $F_{\text{он}} = 1,61$  при  $F_{05} = 1,7$  соответственно). Такая же закономерность прослеживается по протяженности корней 1-го порядка.

В опыте от 16.07.2007 г. наличие существенных различий по всем факторам зафиксировано по среднему диаметру корней 1-го порядка, все опытные значения  $F$ -критерия Фишера превышают табличные. По признакам прирост в высоту и протяженность корней 1-го порядка существенные различия зафиксированы по фактору А. По признаку количество корней 1-го порядка существенные различия отмечены по фактору А ( $F_{\text{он}} = 34,34$  при  $F_{05} = 1,7$ ) и по фактору АВ ( $F_{\text{он}} = 1,89$  при  $F_{05} = 1,7$ ); по фактору В различия не зафиксированы ( $F_{\text{он}} = 1,31$  при  $F_{05} = 3,8$ ), что может быть объяснено выравниваемостью условий укоренения черенков.

Эффективность действия каждого фактора (сила влияния фактора или доля влияния фактора) оценивалась по всем признакам. Удалось отметить значительное влияние организованного фактора А по всем анализируемым признакам. По факторам В и АВ сила влияния была незначительной. Основное влияние на формирование видимых (фенотипических) различий оказывали так называемые случайные факторы, действие

которых принимается как действие различий в условиях выращивания черенков. Это соответствует представлениям о высокой экологической зависимости анализируемых параметров. Эффект такого влияния составил от 25 до 91 %.

Для анализа семенного размножения были высеяны семена исследуемых видов в первой декаде мая 2007 г. Перед высевом использовался комбинированный метод подготовки семян к посеву: скарификация (механическое повреждение оболочек наждачной бумагой), затем намачивание (15 часов) в воде с температурой 50 °С. Посев осуществлялся в открытый грунт на производственных площадях питомника-дендрария Дзержинского лесхоза. Параметры семян измерялись в конце вегетационного периода, анализировались те же морфологические признаки, что и у укоренившихся черенков.

Из табл. 4 видно, что изменчивость признаков была неодинаковой. По признаку средний диаметр корней 1-го порядка коэффициент вариации у караганы древовидной соответствует среднему уровню изменчивости (24,67 %) по шкале С.А. Мамаева (1969) [2], а у робинии лжеакация и аморфы кустарниковой – повышенному (26,85 и 26,3 % соответственно). По признаку прирост в высоту коэффициент вариации у робинии лжеакация (33,98 %) и аморфы кустарниковой (31,71 %) соответствовал повышенному уровню изменчивости, а караганы древовидной – высокому (43,49). Средний уровень изменчивости отмечен у караганы древовидной (20,49 %) и аморфы кустарниковой (21,37 %) по признаку протяженность корней 1-го порядка, изменчивость робинии лжеакация по этому признаку соответствовала повышенному уровню изменчивости (34,87 %).

Как видно из таблицы, наиболее высокими показателями роста и развития характеризовались сеянцы робинии лжеакация. Средний диаметр корней 1-го порядка составил 8,9 мм, что в 2 раза больше, чем у аморфы кустарниковой, (4,47 м) и в 3 раза больше, чем у караганы древовидной (2,81 мм).

Протяженность корней 1-го порядка у робинии лжеакация (33,12 см) в 1,4 раза была больше, чем у аморфы кустарниковой

(24,29 см) и в 1,7 раза больше, чем у караганы древовидной (19,51 см). У сеянцев-однолеток караганы древовидной и аморфы кустарниковой в большинстве случаев образуется только один корень первого порядка, отдельные сеянцы робинии лжеакация были способны формировать их до 3 шт. Необходимо отметить, что на корнях сеянцев всех анализируемых видов были обнаружены клубеньковые бактерии рода *Rhizobium* в большом количестве.

Из данных измерений морфологических признаков сеянцев-однолеток следует, что они достигают стандартных размеров в условиях интродукции за один год и соответствуют требованиям ГОСТ 3317–90: робиния лжеакация – высота надземной части 20 см, диаметр корневой шейки 3 мм; карагана древовидная – высота надземной части 15 см, диаметр корневой шейки 2,5 мм, аморфа кустарниковая – высота надземной части 30 см, диаметр корневой шейки 2 мм.

Т а б л и ц а 4

**Основные статистические показатели признаков сеянцев-однолеток караганы древовидной, робинии лжеакация и аморфы кустарниковой**

Показатели	Карагана древовидная	Робиния лжеакация	Аморфа кустарниковая
посев мая 2007 г.			
средний диаметр корней 1-го порядка, мм			
$\bar{x}$	2,81	8,9	4,47
max	5,35	16,16	7,79
min	1,62	5,25	2,66
Cv	24,67	26,85	26,3
прирост в высоту, см			
$\bar{x}$	18,94	66,85	18,12
max	47,0	120,0	34,0
min	7,0	35,0	10,0
Cv	43,49	33,98	31,71
протяженность корней первого порядка, см			
$\bar{x}$	19,51	33,12	24,29
max	31,0	60,0	42,0
min	11,0	20,0	15,0
Cv	20,49	34,87	21,37
количество корней первого порядка, шт			
$\bar{x}$	1,0	1,18	1,0
max	1	3	1
min	1	1	1
Cv	0	38,98	0

**Результаты однофакторного дисперсионного анализа признаков сеянцев-однолеток**

Признаки	Критерий Фишера		Сила влияния фактора				НСР	D
	$F_{оп}$	$F_{05}$	по Плохинскому		по Снедекору			
			$h^2$	$\pm S_{h^2}$	$h^2$	$\pm S_{h^2}$		
Средний диаметр корней 1-го порядка, мм	200,3	3,06	0,75	0,004	0,82	0,003	0,59	0,96
Прирост в высоту, см	182,2	3,06	0,73	0,004	0,79	0,003	5,28	8,57
Протяженность корней первого порядка, см	42,17	3,06	0,38	0,009	0,48	0,007	2,86	4,65
Количество корней первого порядка, шт.	7,84	3,06	0,10	0,013	0,13	0,012	0,09	0,15

Полученный материал свидетельствует о различиях между семенным потомством изученных видов. Высокие темпы роста на ранних стадиях развития сеянцев обеспечивают устойчивость к воздействию факторов внешней среды.

Существенные различия между семенным потомством зафиксировал однофакторный дисперсионный анализ (табл. 5), результаты которого свидетельствуют о существенных различиях в изученном комплексе семенных потомств представителей семейства бобовые по всем показателям. Опытные значения  $F$ -критерия Фишера во много раз превосходят соответствующие табличные значения ( $F_{05} = 3,06$ ).

Анализ данных позволяет сделать заключение о том, что изменчивость большинства признаков в значительной степени обусловлена видовой принадлежностью. Доля влияния организованных факторов (различий между видами) на формирование дисперсии (разброс значений признака) по признаку средний диаметр корней 1-го порядка составила 75 % по Плохинскому и 82 % по Снедекору, что в 7,5 раз больше, чем по признаку количество корней 1-го порядка (10 % по Плохинскому и 13 % по Снедекору), что свидетельствует о значительной зависимости данного признака от влияния внешних условий среды (доля влияния неорганизованных факторов составила 90 %). Высокой была доля влияния учитываемого фактора по признаку прирост в высоту – 73 % по Плохинскому и 79 % по Снедекору. По признаку протяженность корней 1-го порядка доля влияния организованных факторов была ниже и составила 38 % по Плохинскому и 48 % по Снедекору.

Величины НСР и  $D$ -критерия Тьюки показали, что по всем признакам при сравнении различия относятся к существенным.

Данные опытов показали, что наилучшим способом получения посадочного материала древесных представителей семейства бобовые является семенной. Преимуществами его являются:

- отсутствие дополнительных финансовых затрат на сооружение парников, подготовку искусственного субстрата в них, поддержания оптимального водного режима, приобретение стимуляторов роста;

- срок выращивания сеянцев на один год меньше по сравнению с укоренением черенков – 2 года;

- более высокий коэффициент размножения – одно материнское растение обеспечивает большим количеством семян, в то время как процент укоренения черенков довольно низкий и составляет от 3 до 63 % у робинии лжеакация, от 40 до 97 % у аморфы кустарниковой и от 55 до 95 % у караганы древовидной (в зависимости от влияния того или иного стимулятора роста) [1].

Вегетативное размножение следует рассматривать как способ дополнительного получения посадочного материала и клонирования перспективных форм.

**Библиографический список**

1. Захарова, Е.И. Укоренение черенков некоторых древесных представителей семейства бобовые (*Leguminosae* Juss.), интродуцированных в Нижегородскую область / Е.И. Захарова // Материалы XV Недели науки МГТУ: X международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы современности». – Майкоп: Изд-во МГТУ, 2007. – С. 221–223.
2. Мамаев, С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики растений. Амплитуда изменчивости: закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений / С.А. Мамаев // Труды института экологии растений и животных. – Свердловск, 1969. – Вып. 64. – С. 3–38.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОВАРНОЙ СТРУКТУРЫ ЕЛИ, ВЫБИРАЕМОЙ ПРИ РУБКАХ УХОДА

М.М. УСТИНОВ, *асп. каф. радиационной экологии и безопасности жизнедеятельности БрГИТА*,  
М.В. УСТИНОВ, *доц. каф. лесоустройства БрГИТА, канд. с.-х. наук*

*max32br@rambler.ru*

Сортиментные и товарные таблицы являются составной частью единой для страны системы общих и региональных нормативов таксации леса и служат для определения объемов стволов и запасов древостоев, выхода деловой древесины по крупности, сортам и сортиментам, сырья для технологической переработки, дровяной древесины и коры при оценке пробных площадей, лесосечного и лесного фондов и других расчетов лесопользования.

Объектом применения сортиментных таблиц является отдельный древостой элемента леса, единицей наблюдения – совокупность деревьев данной ступени толщины. Товарные таблицы предназначены для таксации лесосек. Единицей наблюдения здесь является отдельный древостой элемента (поколения) леса.

Точность учета лесного и лесосечного фонда, а также правильность решения многих практических задач лесного хозяйства во многом определяется качеством таксационной нормативной базы. До настоящего времени сортиментная и товарная структура древесины, получаемой от рубок ухода, оценивается по действующим всеобщим таблицам товарной структуры для центральных и южных районов европейской части России, разработанных Н.П. Анучиным, А.Ф. Гуровым, П.А. Соколовым и др., отражающим структуру всей растущей части древостоя. Специальные товарные и сортиментные таблицы для оценки древесины, получаемой от рубок ухода, практически отсутствуют, хотя существование таковых предусмотрено требованиями к сортиментным и товарным таблицам [1]. Кроме того, в связи с введением в 1990 г. новых стандартов на круглую лесопroduкцию (ГОСТ 9462–88 и ГОСТ 9463–88) возникла необходимость пересмотра и корректировки этих таблиц. При этом в современных рыночных условиях ощущается острая потребность в них.

В соответствии с «Правилами ухода за лесами» [8], действующими с 2007 г., при

проведении рубок ухода в рубку назначаются деревья III – нежелательной категории, которые могут находиться во всех частях полога лесного насаждения, качественную оценку которых нельзя сравнивать с деревьями высших категорий, составляющими большую часть насаждений.

Изучению товарности древесины посвящено достаточно работ известных авторов: Н.П. Анучина (1931), К.Е. Никитина и А.З. Швиденко (1972), А.Г. Мошкалева [2], Н.В. Павлова (1975), Г.А. Порицкого (1975), Н.К. Теслюк (1977), П.В. Горского (1962), ученых МарГТУ: П.М. Верхунова (1976), И.А. Алексеева, В.Л. Черных, И.П. Курненьковой и др. При разработке товарных таблиц эти авторы использовали закономерности строения древостоев, изучением которых занимались А. Патацкас (1964), А.А. Макаренко (1971), В.В. Антанайтис [3], А.В. Богачев, С.Н. Свалов [4]; Н.А. Моисеев 1970 [5]; К.Е. Никитин (1972). Кроме того, товарность древесины невозможно изучать без анализа формы стволов и их объемов [6]. Ученые достаточно полно рассмотрели товарную структуру и строение древостоев в целом, но практически нет исследований для выбираемой части древостоев, хотя многие указывают на необходимость таких исследований.

Изложенное выше дало основание для исследования закономерностей строения, теоретического обоснования и моделирования товарной структуры стволов ели, выбираемых при рубках ухода, в еловых древостоях для условий Брянской и смежных областей.

Наши исследования основываются на общеизвестных в таксации методах с некоторыми обоснованными модификациями и дополнениями, необходимыми в виду специфики темы, повышения точности, а также применения автоматизации обработки данных на основе разработанных нами для этих целей информационных технологий.

**Шкала разрядов высот ели, выбираемой при рубках ухода**

Ступень толщины, см	Разряд высот на высоте								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
4	3,3–3,4	3,5–4,1	4,2–4,6	4,7–5,2	5,3–5,8	5,9–6,6	6,7–7,4	7,5–8,3	8,4–9,3
6	4,4–4,9	5,0–5,5	5,6–6,2	6,3–7,0	7,1–7,8	7,9–8,8	8,9–9,9	10,0–11,1	11,2–12,5
8	5,4–6,0	6,1–6,8	6,9–7,6	7,7–8,6	8,7–9,6	9,7–10,8	10,9–12,1	12,2–13,6	13,7–15,3
10	6,3–7,1	7,2–7,9	8,0–8,9	9,0–10,0	10,1–11,3	11,4–12,6	12,7–14,2	14,3–16,0	16,1–17,9
12	7,1–8,0	8,1–9,0	9,1–10,1	10,2–11,4	11,5–12,8	12,9–14,3	14,4–16,1	16,2–18,1	18,2–20,3
14	7,9–8,9	9,0–10,0	10,1–11,2	11,3–12,6	12,7–14,2	14,3–15,9	16,0–17,9	18,0–20,1	21,2–22,6
16	8,7–9,7	9,8–10,9	11,0–12,3	12,4–13,8	13,9–15,5	15,6–17,4	17,5–19,6	19,7–22,0	22,1–24,7
18	9,4–10,5	10,6–11,8	11,9–13,3	13,4–14,9	15,0–16,8	16,9–18,9	19,0–21,2	21,3–23,8	23,9–26,7
20	10,0–11,3	11,4–12,7	12,8–14,2	14,3–16,0	16,1–18,0	18,1–20,2	20,3–22,7	22,8–25,5	25,6–28,7
22	10,7–12,0	12,1–13,5	13,6–15,2	15,3–17,0	17,1–19,1	19,2–21,5	21,6–24,2	24,3–27,1	27,2–30,5
24	11,3–12,7	12,8–14,3	14,4–16,0	16,1–18,0	18,1–20,2	20,3–22,7	22,8–25,6	25,7–28,7	28,8–32,3
26	11,9–13,4	13,5–15,0	15,1–16,9	17,0–19,0	19,1–21,3	21,4–23,9	23,9–26,9	27,0–30,2	30,3–34,0
28	12,5–14,0	14,1–15,8	15,9–17,7	17,8–19,9	20,0–22,3	22,4–25,1	25,2–28,2	28,3–31,7	31,8–35,6

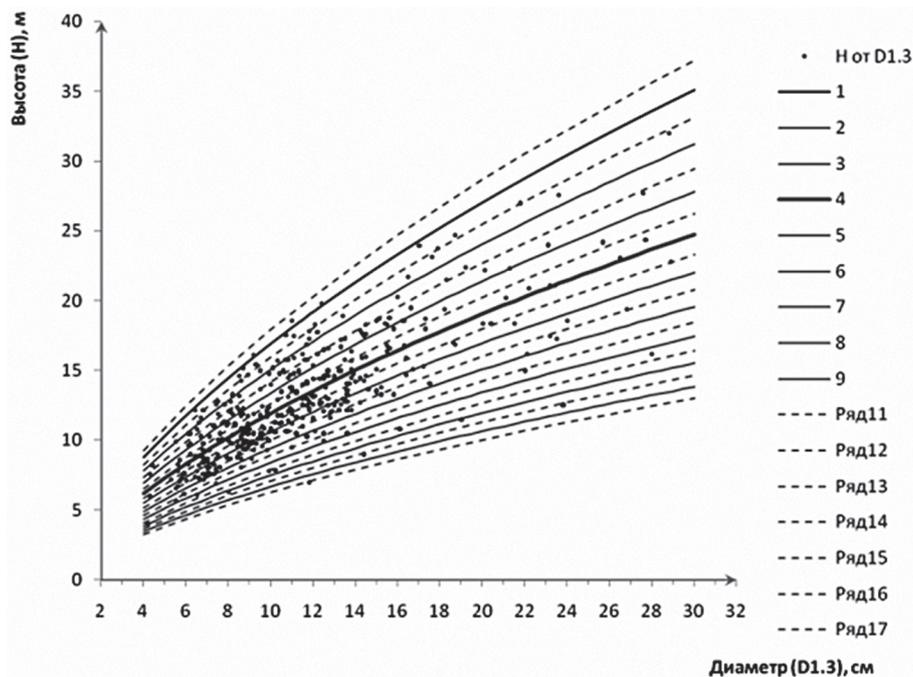


Рис. 1. Изменение высот деревьев выбираемой части еловых древостоев от диаметра

В данной работе учтены основные требования к сортиментным и товарным таблицам по таксации древостоев, утвержденные Гослесхозом СССР в 18.06.1980 г.

Обработка пробных площадей производилась по общепринятым в лесной таксации формулам и методам с применением разработанного нами специализированного комплекса программ, с помощью которого проводились анализ, разработка математических моделей и их оценка, составление нормативов.

Для исследований в древостоях ели основных типов леса с соблюдением требований ГОСТ 16128–70 и ОСТ 56–69–83 заложено 27 пробных площадей, в том числе 3 контрольных. Использовано 413 модельных деревьев, взятых на товарную структуру из числа отобранных в рубки ухода.

Выход деловой древесины по категориям крупности, сортам и сортиментам определялся на основе ГОСТ 9462–88. Содержание сырья для технологической переработки устанавливалось по ОСТ 13–234–87, ТУ 13–

0273685–404–89 (ОСТ 13–76–79) применительно к тарным лесоматериалам, к которым предъявляются более высокие требования по нормам допускаемых пороков. Выход топливных дров определялся по ГОСТ 3243–88. Описания сортообразующих пороков древесины на стволах велись на каждом метре в деловой зоне по ГОСТ 2140–81.

Строение древостоя выбираемой части ельников исследовалось методом приведения распределения числа деревьев по фактическим ступеням толщины к распределению их по естественным ступеням толщины, предложенным А.В. Тюриным [7]. Полученные распределения общей части древостоев ели и выбираемой при рубках ухода части по естественным ступеням толщины сравниваются между собой на предмет различия в строении.

Оценка согласованности распределений числа деревьев в процентах по естественным ступеням толщины с помощью критерия хи-квадрат К. Пирсона показывает, что по каждой из пробных площадей строение древостоя в целом отличается от строения выбираемой части, т.к.  $\chi^2_{\text{факт.}} > \chi^2_{\text{табл.}}$  на достоверном уровне  $P = 95\%$  и выше. Это подтверждает необходимость детального изучения и разработки нормативной базы отдельно для таксации стволов выбираемой части еловых древостоев.

Высота является одним из основных показателей, характеризующих как отдельное дерево, так и насаждение в целом. Она имеет тесные корреляционные связи со многими таксационными показателями. В ней компилируются многие основные факторы роста. С использованием закономерности установлена математическая модель динамики высот и разработана шкала разрядов высот для выбираемой части еловых древостоев.

$$h = \left( \frac{5,566}{(2,536 \cdot d + 5,646)} + 5,646 \times \right.$$

$$\left. \times \sqrt{(2,608 + 1,109 \cdot d) - 9,158} \right) \cdot K^{(r-t)},$$

где  $K$  – коэффициент различия высот между разрядами высот (принят 0,89, т.е. различия между разрядами высот составят 11 %, что обеспечивает погрешность не более 5 %);

$r$  – номер разряда высот (1...9);

$t$  – номер среднего (базового) разряда высот ( $t = 4$ );

$d$  – диаметр, см;

$h$  – высота, м;

Коэффициент детерминации модели  $R^2 = 0,88$ .

Графически шкала разрядов высот представлена на рис. 1.

Важное значение при определении объемов стволов, а в последующем и их товарной оценке играет форма ствола. Исследуя формы стволов ели, выбираемых при рубках ухода, мы установили закономерности изменения коэффициентов формы ( $q_2$ ) от высоты и диаметра стволов

$q_2 = (-0,110 \cdot d) \cdot 0,042 - 0,322 / h + 0,758 R^2 = 0,87$ , где  $q_2$  – коэффициент формы ствола дерева.

Коэффициенты формы ( $q_2$ ) стволов ели, выбираемых при рубках ухода, варьируют по отдельным ступеням по-разному: так, в ступени 8, 12 и 14 см – не превышает 3,1 %, а в ступени 6 варьирование равно 9,3 %. Высокое варьирование в ступенях 6 и 10 связано с тем, что в их число входят деревья не только низших классов Крафта, но и деревья типа «волк» с верхнего полога, которые и дают большую изменчивость.

Анализ показывает, что коэффициенты формы стволов, выбираемых при рубках ухода, с увеличением диаметра уменьшаются, то есть сохраняется закономерность изменения коэффициентов формы как и для стволов древостоя в целом.

Отдельно была построена модель видовых чисел тех же стволов ели с учетом корреляции их ( $f$ ) с диаметром, высотой и коэффициентом формы

$f = -0,076 + 0,020 / d + 0,412 / h + 0,798 \cdot q_2 R^2 = 0,89$ , где  $f$  – видовое число ствола дерева.

Провести сравнительную оценку полученных видовых чисел стволов ели выбираемой части древостоя не представляется возможным из-за отсутствия подобных.

В результате обработки и анализа экспериментального материала, на основании изучения форм стволов деревьев были разработаны экспериментальные таблицы объемов стволов ели, выбираемых при рубках ухода.

**Объемы стволов ели, выбираемых при рубках ухода, по разрядам высот**

Ступень толщины, см	Объем ствола по разрядам высот, м <sup>3</sup>								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
4	0,0029	0,0032	0,0035	0,0039	0,0042	0,0047	0,0052	0,0057	0,0064
6	0,0083	0,0091	0,0101	0,0111	0,0123	0,0136	0,0151	0,0167	0,0186
8	0,0176	0,0193	0,0213	0,0236	0,0261	0,0289	0,0321	0,0356	0,0396
10	0,0313	0,0345	0,0380	0,0421	0,0466	0,0517	0,0574	0,0638	0,0710
12	0,0500	0,0551	0,0609	0,0674	0,0747	0,0828	0,0920	0,1023	0,1139
14	0,0742	0,0819	0,0904	0,1001	0,1109	0,1231	0,1367	0,1521	0,1693
16	0,1043	0,1150	0,1271	0,1406	0,1558	0,1730	0,1922	0,2138	0,2380
18	0,1405	0,1549	0,1712	0,1894	0,2099	0,2330	0,2589	0,2880	0,3207
20	0,1831	0,2019	0,2230	0,2468	0,2735	0,3035	0,3372	0,3751	0,4176
22	0,2323	0,2561	0,2829	0,3130	0,3468	0,3848	0,4275	0,4754	0,5293
24	0,2882	0,3177	0,3509	0,3881	0,4300	0,4770	0,5299	0,5893	0,6560
26	0,3510	0,3869	0,4272	0,4724	0,5232	0,5804	0,6446	0,7167	0,7977
28	0,4208	0,4636	0,5118	0,5658	0,6266	0,6948	0,7715	0,8577	0,9546

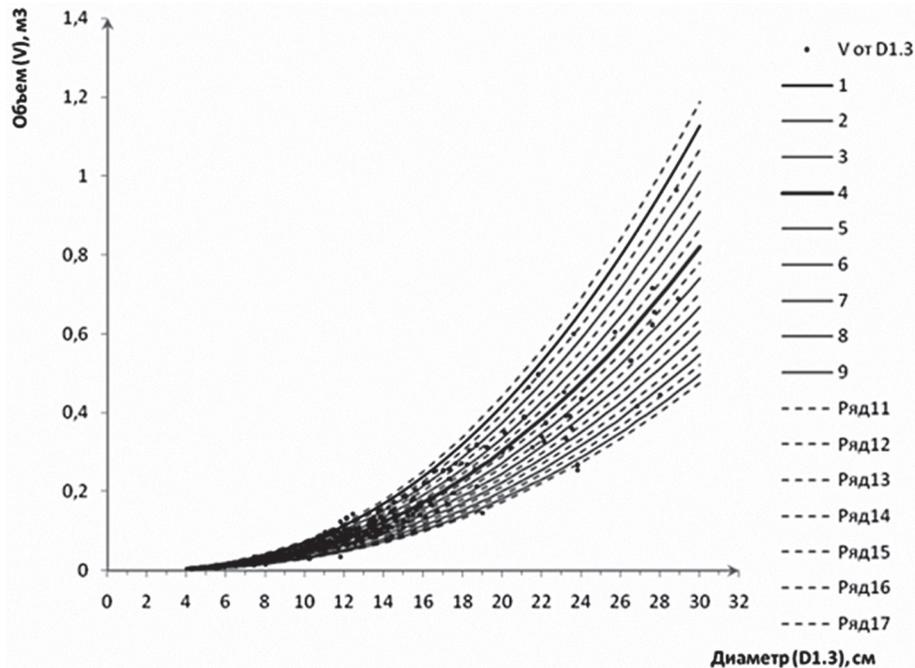


Рис. 2. Динамика объемов стволов ели, выбираемых при рубках ухода

Объемы стволов ( $v$ ) в м<sup>3</sup> по ступеням толщины и разрядам высот рассчитаны по формуле

$$V = g R^2 = 0,93,$$

где  $g$  – площадь сечения ствола дерева.

При построении таблиц использованы варьирования высот в пределах 3-х сигм по каждой ступени толщины. Экспериментальный материал позволил разработать математические модели выхода сортиментов

$$P_{\text{дел.}} = \frac{|3,986 \cdot (1 - e^{-0,511 \cdot d})|^{1,662}}{|3,594 \cdot (1 - e^{-0,267 \cdot d})|^{0,063} - 7,229 \cdot h^{-21,325} - 8,311.}$$

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,64$ .

$$P_{\text{отх.}} = 0,078 - 0,148 / |h - 3,549|^{0,637} + R^2 = 0,73.$$

$$P_{\text{др.тех.}} = -17,618 / (0,818 \cdot |9,09/d|^{3,137} \cdot \times (-35,955 \cdot h - 42,630) - 21,893).$$

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,86$

$$P_{\text{др.}} = (20/d)^{2,9} - R^2 = 0,63.$$

Аналогично, расчет содержания категорий крупности и сортов лесоматериалов в ступенях толщины производился по моделям, построенным в процентах от объема деловой древесины стволов.

$$P_{\text{кр.}} = 6,26E - 10 \cdot (d + 1)^6 + 0,01R^2 = 0,82,$$

$$P_{\text{сп.1}} = 8,55E - 05 / (10,994 \cdot d^{3,921} + 0,0001)R^2 = 0,77,$$

Фрагмент товарных таблиц стволов ели, выбираемых при рубках ухода

Ступень толщины	Средняя высота	Объем одного ствола	Крупная				Средняя 1				Средняя 2				Мелкая				Деловая	Дрова технологические	Дрова топливные	Ликвид	Отходы	Дровяные
			сорт 1	сорт 2	сорт 3	итого	сорт 1	сорт 2	сорт 3	итого	сорт 1	сорт 2	сорт 3	итого	сорт 1	сорт 2	сорт 3	итого						
Разряд высот 3																								
4	6,9	0,0052	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,9	44,0	80,9	19,1	0,0052	
6	9,3	0,0151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,8	-	-	19,8	19,8	62,0	9,5	91,3	8,7	0,0151	
8	11,5	0,0321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67,1	-	-	67,1	67,1	19,5	5,0	91,6	8,5	0,0321	
10	13,4	0,0574	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82,5	-	-	82,5	82,5	7,3	2,7	92,5	7,6	0,0574	
12	15,2	0,0920	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87,4	-	-	87,4	87,4	3,9	1,6	93,0	7,1	0,0920	
14	16,9	0,1367	-	-	-	-	-	-	-	16,7	-	-	16,7	72,8	-	-	72,8	89,5	2,6	1,1	93,2	6,8	0,1367	
16	18,5	0,1922	-	-	-	-	-	-	-	44,4	-	-	44,4	46,2	-	-	46,2	90,6	1,9	0,8	93,3	6,7	0,1922	
18	20,0	0,2589	-	-	-	-	24,9	-	-	24,9	38,2	-	-	38,2	28,2	-	-	28,2	91,2	1,5	0,6	93,3	6,7	0,2589
20	21,4	0,3372	-	-	-	-	34,4	-	-	34,4	36,1	-	-	36,1	21,2	-	-	21,2	91,6	1,3	0,5	93,4	6,6	0,3372
22	22,8	0,4275	-	-	-	-	45,9	-	-	45,9	31,9	-	-	31,9	14,1	-	-	14,1	91,9	1,1	0,4	93,4	6,6	0,4275
24	24,1	0,5299	-	-	-	-	59,4	-	-	59,4	26,3	-	-	26,3	6,5	-	-	6,5	92,1	1,0	0,3	93,4	6,6	0,5299
26	25,4	0,6446	23,5	-	-	23,5	54,5	-	-	54,5	14,2	-	-	14,2	-	-	-	92,2	0,9	0,3	93,4	6,6	0,6446	
28	26,6	0,7715	32,7	-	-	32,7	52,9	-	-	52,9	6,7	-	-	6,7	-	-	-	92,4	0,8	0,2	93,4	6,6	0,7715	
Разряд высот 4																								
4	6,2	0,0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38,1	42,7	80,7	19,3	0,0047	
6	8,3	0,0136	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,8	-	-	20,7	20,7	61,3	9,3	91,3	8,8	0,0136	
8	10,2	0,0289	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66,3	-	-	66,3	66,3	20,5	4,9	91,7	8,3	0,0289	
10	11,9	0,0517	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82,1	-	-	82,1	82,1	7,9	2,6	92,6	7,4	0,0517	
12	13,5	0,0828	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87,2	-	-	87,2	87,2	4,3	1,6	93,1	6,9	0,0828	
14	15,0	0,1231	-	-	-	-	-	-	-	16,7	-	-	16,7	72,7	-	-	72,7	89,4	2,9	1,1	93,3	6,7	0,1231	
16	16,4	0,1730	-	-	-	-	-	-	-	44,4	-	-	44,4	46,2	-	-	46,2	90,5	2,1	0,8	93,4	6,6	0,1730	
18	17,8	0,2330	-	-	-	-	24,9	-	-	24,9	38,1	-	-	38,1	28,2	-	-	28,2	91,2	1,7	0,6	93,5	6,5	0,2330
20	19,1	0,3035	-	-	-	-	34,4	-	-	34,4	36,1	-	-	36,1	21,2	-	-	21,2	91,6	1,4	0,5	93,5	6,5	0,3035
22	20,3	0,3848	-	-	-	-	45,9	-	-	45,9	31,9	-	-	31,9	14,1	-	-	14,1	91,9	1,2	0,4	93,5	6,5	0,3848
24	21,5	0,4770	-	-	-	-	59,4	-	-	59,4	26,3	-	-	26,3	6,5	-	-	6,5	92,1	1,1	0,3	93,5	6,5	0,4770
26	22,6	0,5804	23,5	-	-	23,5	54,5	-	-	54,5	14,2	-	-	14,2	-	-	-	92,3	1,0	0,3	93,5	6,5	0,5804	
28	23,7	0,6948	32,7	-	-	32,7	52,9	-	-	52,9	6,7	-	-	6,7	-	-	-	92,4	0,9	0,2	93,5	6,5	0,6948	
Разряд высот 5																								
4	5,5	0,0042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39,3	41,6	80,8	19,2	0,0042	
6	7,4	0,0123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,7	-	-	21,7	21,7	60,4	9,1	91,3	8,7	0,0123	
8	9,1	0,0261	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65,7	-	-	65,7	65,7	21,5	4,7	91,9	8,1	0,0261	
10	10,6	0,0466	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81,7	-	-	81,7	81,7	8,5	2,6	92,7	7,3	0,0466	
12	12,0	0,0747	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	86,9	-	-	86,9	86,9	4,7	1,6	93,2	6,8	0,0747	
14	13,4	0,1109	-	-	-	-	-	-	-	16,7	-	-	16,7	72,6	-	-	72,6	89,2	3,2	1,1	93,4	6,6	0,1109	
16	14,6	0,1558	-	-	-	-	-	-	-	44,3	-	-	44,3	46,1	-	-	46,1	90,4	2,4	0,8	93,6	6,5	0,1558	
18	15,8	0,2099	-	-	-	-	24,9	-	-	24,98	38,1	-	-	38,1	28,2	-	-	28,2	91,2	1,9	0,6	93,6	6,4	0,2099
20	17,0	0,2735	-	-	-	-	34,4	-	-	34,4	36,1	-	-	36,1	21,2	-	-	21,2	91,6	1,6	0,5	93,6	6,4	0,2735
22	18,0	0,3468	-	-	-	-	45,9	-	-	45,9	31,9	-	-	31,9	14,1	-	-	14,1	91,9	1,4	0,4	93,6	6,4	0,3468
24	19,1	0,4300	-	-	-	-	59,4	-	-	59,4	26,3	-	-	26,3	6,5	-	-	6,5	92,1	1,2	0,3	93,6	6,4	0,4300
26	20,1	0,5232	23,5	-	-	23,5	54,5	-	-	54,5	14,2	-	-	14,2	-	-	-	92,3	1,1	0,3	93,6	6,4	0,5232	
28	21,1	0,6266	32,7	-	-	32,7	52,9	-	-	52,9	6,7	-	-	6,7	-	-	-	92,4	1,0	0,2	93,6	6,4	0,6266	

$$P_{\text{ср.2}} = (17,967 \cdot \ln(0,275 \cdot d - 2,586)) / (-0,037 + 0,003 \cdot d^3) + (-11,454 \cdot d^{36,415}) - 0,377.$$

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,71$

$$P_{\text{мелк.}} = (27,874 \cdot \ln(0,216 \cdot d)) / (10,697 + 0,006 \cdot d^3) + (-11 \cdot d^{40}) - 0,417.$$

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,81$ .

По моделям составлены товарные таблицы для стволов ели, выбираемых при рубках ухода (табл. 3).

Разработанные таблицы позволяют установить выход древесины как в %, так и в м<sup>3</sup>. Входом в таблицы является порода, разряд высот, диаметр (ступень толщины). Таблицы позволяют проводить товарную оценку в пределах ступеней толщины от 4 до 28 см. В пределах указанных ступеней дается выход деловой древесины по категориям крупности (крупная, средняя-1, средняя-2, мелкая), выход технологического сырья, дров и отходов.

Оценка разработанных товарных таблиц для стволов ели, выбираемых при рубках ухода, проведена путем сравнения полученных нами результатов с фактическими данными, полученными на 3 контрольных пробных площадях.

Ошибка определения объемов стволов, запасов древесины ели, выбираемой при рубках ухода, по нашим таблицам при перечислительной таксации не превышает  $\pm 4,8$  %, а по выходу отдельных категорий крупности, сортов и сортиментов соответственно

крупной – $\pm 5,0$ %;	деловой – $\pm 4,5$ %
средней 1 – $\pm 7,2$ %	дров технологических – $\pm 12,4$ %
средней 2 – $\pm 6,1$ %	дров топливных – $\pm 13,1$ %
мелкой – $\pm 0,5$ %	ликвид – $\pm 1,0$ %
	отходов – $\pm 4,8$ %

Полученные ошибки в определении объемов стволов ели, выбираемых при рубках ухода, и их товарной оценки по разработанным математическим моделям для деловой древесины не превышают 5 %, и только для дров ошибка доходит до 13,1 %. При этом процент ошибки ликвидной древесины в целом всего 1 %. Это объясняется преобладанием выхода мелкой древесины при товаризации стволов. Таким образом, разработанные нормативы предлагаются для оценки стволов ели, выбираемых при рубках ухода.

### Библиографический список

1. Загреев, В.В., Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загреев, В.И. Сухих, А.Э. Швиденко и др. – М.: Колос, 1992. – 495 с.
2. Мошкалев, А.Г., Расчет товарной структуры древостоев на ЭВМ при лесоустройстве / А.Г. Мошкалев, О.М. Моголивер и др. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1973. – 46 с.
3. Антанайтис, В.В. Современное направление лесоустройства / В.В. Антанайтис. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 280 с.
4. Богачев, А.В. Методы таксации лесного и лесосечного фонда / А.В. Богачев, С.Н. Свалов // Лесоведение и лесоводство: сб. науч. тр. – М.: ВИНТИ, 1978. – Т.2. – С. 7–109.
5. Моисеев, Н.А. Основы прогнозирования использования и воспроизводства лесных ресурсов / Н.А. Моисеев. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 223 с.
6. Лебков В.Ф. Теория строения древостоев и ее роль в оценке продуктивности лесов / В.Ф. Лебков // Вопросы лесоведения. – Т. 2. – Красноярск, 1973. – С. 90–94.
7. Тюрин, А.В. Таксация леса / А.В. Тюрин. – М.: Гослесбумиздат. – 1945. – 376 с.
8. Приказ МПР РФ от 16 июля 2007 г. №185 «Об утверждении Правил ухода за лесами».

## НЕВЕСОМЫЕ ПОЛЕЗНОСТИ ЛЕСА И ЛЕСОУСТРОЙСТВО (ПАМЯТИ М.М.ОРЛОВА ПОСВЯЩАЕТСЯ)

И.А. ЯНГУТОВ, *ген. директор ООО «Зеленые холмы»*,

А.Н. ФИЛИПЧУК, *проф. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ, д-р с.-х. наук*

*lesprojekt@list.ru*

Представление о «невесомых полезностях леса» было предложено А.Ф. Рудзким в монографии «Руководство к устройству русских лесов (2-е изд.)» [1]. Невесомыми они были названы потому, что не были связаны

с заготовкой и реализацией такой рыночной продукции, как древесина, живица, корье или грибы, ягоды, или с проведением медосбора и сенокосения. Даже охота и рыбалка на территории лесов не подпадают под опреде-

ление невесомых полезностей леса, потому что и они связаны с потреблением продукции лесных экосистем. Речь с самого начала шла о духовных, эстетических, рекреационных свойствах лесов, возможно даже о продуцировании лесом кислорода, потому что в лесу дышится легко, а воздух тоже в некотором смысле почти невесом, и право людей свободного посещения лесов сохранялось в России неизменным на протяжении всей истории.

В работе по организации лесного опытного дела в России М.М. Орлов [2], продолжая труды своего учителя А.Ф. Рудзкого, приводит множество примеров невесомой полезности лесов, которые целесообразно учитывать при лесоустройстве. Он говорит о том, что лесоустройство, регистрируя красоты леса и охраняя их от истребления, берет на себя высококультурную миссию и может лишь заслужить благодарность потомства. В частности, он предлагал наиболее величественные и красивые деревья по опушкам, дорогам и проселкам оставлять до их полного отмирания, не вырубая. Кроме того, М.М. Орлов предлагал оставлять, а там, где их нет, создавать лесные полосы вдоль линий железной дороги, чтобы сохранить эстетический вид леса, которым любуются миллионы людей, проезжающих мимо [2].

Рассматривая в основополагающей для развития лесоустройства трехтомной монографии вопросы лесного дохода, М.М. Орлов [3] поставил вопрос о ценности земли под лесом, практически независимо от древесного запаса. По мнению М.М. Орлова: «Ценность земли под лесом, помимо местоположения и особенностей почвы, обуславливается плотностью населения данной местности» [3, стр. 33]. Он ссылался на данные Струмилина (Струмилин. Плановое хозяйство, 1925, №7) – цит. по 3), который отметил, что на территории европейской части России, по материалам оценок в 40 губерниях, наблюдалась устойчивая взаимосвязь между возрастанием плотности населения на одну квадратную версту и ценой 1 десятины земли в рублях:

Плотность населения, чел/кв. верста	8	23	34	41	47	55	61	82
Цена 1 десятины земли, руб.	24	42	53	59	96	117	120	159

Это значит, что в экономике, где существует свободный рынок земли, при увеличении плотности населения в 10 раз ценность земли возрастает в 6 раз. М.М. Орлов говорил, что по данным Струмилина при увеличении плотности населения вдвое ценность земли вырастает впятеро, а с поправкой на инфляцию – в 4, 4 раза.

Отталкиваясь от этих данных, М.М. Орлов предложил способ оценки ценности гектара лесной почвы [3, С. 38]. На нескольких примерах он показал, что ценность лесной почвы зависит от:

1. Выбранной нормы роста или процентов, насчитываемых на представленные в лесном хозяйстве капиталы.
2. Ценность почвы составляет не более 10–20 % цены древесного запаса в спелом возрасте.
3. Почвы I и II бонитетов могут быть и под сельским и под лесным хозяйством, а почвы IV и V бонитетов – только лесные.

То есть при капиталистическом расчете ценность определяется спросом (и предложением), как на самом деле и обстоит дело в лесном хозяйстве. М.М. Орлов последовательно проводил в работах простую мысль, что задача лесоустройства: «... заключается в наиболее совершенном использовании хозяйством современной конъюнктуры и в проведении таких мер, которые оказали бы влияние на улучшение ее. Первая и самая, казалось бы, простая и естественная задача лесоустройства и лесоправления, существенно определяющая собою производительность и доходность хозяйства, заключается в том, чтобы в лесу все имеющее потребительскую ценность не пропадало даром и было своевременно и рационально использовано» [3, С. 362].

Но если раньше, когда рыночные полезности леса абсолютно доминировали в лесоустройстве, и для повышения доходности леса лесоустройство должно было решать по М.М. Орлову [3] задачу правильно выбирать, что вырубать в лесу при главном и промежуточном пользовании, а для этого исполнитель лесоустроительного проекта должен был отводить лесосеку правильно, а лесозаготовитель должен был знать, как рубить, чтобы не вредить и обеспечить лесовозобновление, то

есть должен рубить правильно, то в отношении невесомых полезностей леса это напрямую неприменимо.

Но и оценить напрямую потребительскую ценность лесов с точки зрения организации рекреационного лесопользования также не представляется возможным. В частности, потому что невесомые полезности леса заключаются в свойстве лесов давать людям возможность отдохнуть и духовно и физически, и это свойства леса не поддаются прямой денежной оценке. Его нельзя купить или продать. Его можно оценить лишь косвенно, опосредованно, через затраты на поддержание лесов в благополучном состоянии и через затраты на обустройство мест рекреации в лесу.

Определенное развитие идеи учета невесомых полезностей в лесоустройстве и лесном хозяйстве получило в работах И.И. Яценко. В 1917 г. И.И. Яценко в работе об эстетической охране лесов и лесоустройстве, которая была перепечатана с сокращениями в 1999 г. [4], очень точно отметил, что в России исторически уживаются рядом два противоположных отношения к лесу: лес любят за красоту и духовное общение с природой и лес хищнически истребляют ради коммерческой выгоды. И.И. Яценко комментирует это противоречие широко распространенным мнением о неисчерпаемом изобилии российских лесов. Но уже в 1917 г., когда была опубликована статья И.И. Яценко, действительное состояние лесов Европейской России не соответствовала этим представлениям о лесах России. По этой причине И.И. Яценко сформулировал еще одну сторону ценности лесов для жизни в России, которую он назвал эстетической, и предложил развивать особый вид охраны леса – эстетическую охрану.

Тем самым И.И. Яценко сформулировал одно из важных требований к оценке лесов с точки зрения их рекреационной роли: лес представляет, кроме всего прочего, высокую эстетическую ценность для человека. Применительно к задачам лесоустройства эти требования о сохранении эстетической ценности лесов заключаются, по мнению И.И. Яценко, в сохранении исключительно красивых и редких проявлений природы,

встречаемых в лесу. По его мнению, участки леса, а равно и отдельные деревья, признанные имеющими несомненное эстетическое значение, безусловно, должны быть исключены из эксплуатационных планов хозяйства. Такие участки эстетического характера он рекомендовал выделять в особые хозяйственные части, которые предлагал называть национальными парками [4].

В отношении развития системы ООПТ это предложение полностью реализовано. Но было бы ошибочно не дать дальнейшее развитие тем идеям, которые расширяют лесоустройство в сторону создания лесного дохода от рекреационного лесопользования. И.И. Яценко говорил о том, что: «Узкомеркантильные опасения, что при этом может уменьшиться доходность лесов, не должны иметь места, так как легко доказать всю их неосновательность. ...Нельзя упускать из вида, что невесомая ценность леса нигде так сильно не сказывается, как в его живописных участках. Сохранение таких участков на вечные времена будет иметь громадное воспитательное значение, развивая любовь к природе и красоте. Наконец есть еще одно соображение, которое не исключает и финансовой выгоды образования из наиболее красивых и живописных участков леса национальных парков. Здесь имеется в виду создание на лоне русской природы и русского леса курортов, санаториев и дачных участков, так как среди нашей необъятной родины можно найти все то, что ищут за границей: целебные ключи, высокие горы, живописные леса» [4].

Применительно к хозяйственным частям насаждений, имеющих наряду с эстетическим, еще и защитное значение, И.И. Яценко сразу предлагал исключать их из планов сплошных рубок, как, например, прибрежные полосы леса. Поскольку такие полосы помимо эстетического имеют еще защитное, водоохранное значение, то И.И. Яценко считал, что целесообразно отделять их в натуре от остального леса с образованием из них особых хозяйственных частей [4].

Замечание И.И. Яценко по поводу использования естественных границ в лесах, имеющих высокое эстетическое, то есть рекреационное значение, вместо искусственного

деления лесной площади на прямоугольники и квадраты [4], является очень перспективным в современных условиях в связи с переходом лесного хозяйства на экосистемное управление, а лесоустройства – на использование географических информационных систем для сбора, анализа материалов лесоустройства и планирования ведения лесного хозяйства. Поэтому представляется очень современным предложение И.И. Яценко в лесах, имеющих в большей или меньшей степени и эстетическое значение, в основу образования кварталов положить естественный метод деления территории.

Сущность этого метода, как известно, заключается в том, что вместо искусственно проведенных прямых линий просек используются естественные природные границы ландшафтов и их элементов: склоны и водоразделы, ущелья, реки, ручьи, дороги всех типов и другие естественные разделительные линии. Искусственные просеки создаются только как вспомогательные линии, и им по возможности необходимо придать характер дорог. В некоторых случаях может быть проектировано образование чисто эстетических просек, т.е. таких, которые открывают вид на красивый ландшафт, озеро и т. п. [4].

В этой связи И.И. Яценко не только сформулировал соответствующие задачи лесоустройства, но и предложил закрепить их в лесоустроительной инструкции. К числу новых задач он отнес при производстве работ по устройству, ревизии лесоустройства и исследованию лесов, отграничение в натуре и выделение на планах насаждений тех участков леса, которые могут быть выделены в отдельные хозяйственные части по таким признакам, как:

1) лесные площади, носящие характер памятников природы;

2) леса, могущие по своей исключительной красоте или по своему положению иметь в ближайшем будущем значение государственных парков;

3) каймы леса по берегам рек и озер, по опушкам, железным и грунтовым дорогам и просекам, если сохранение таких полос вызывается эстетическими соображениями.

По мнению И.И. Яценко [4], хозяйственные части, которым будет придано значе-

ние государственных парков, дачных участков или лесных санаториев, должны быть сразу устроены сообразно назначению, и особого внимания заслуживает при этом проект дорог и разбивка леса на участки, предназначенные для устройства дачных мест. Поэтому при проектировании лесных культур, в особенности в дачах, расположенных в малолесной местности с густым народонаселением, он предлагал также руководствоваться эстетическими соображениями.

Можно сказать, что в условиях густонаселенных территорий главную практическую цель лесоустройства И.И. Яценко видел не просто в охране лесов как памятников природы, а в выделении из общей площади лесов особых хозяйственных частей, заслуживающих по красоте и положению быть предназначенными для рекреационного лесопользования. Тем более что осуществление этой цели не связано с какими-либо техническими затруднениями, а также не требует новых расходов [4].

Параллельно развитию идей практического использования невосомых полезностей леса, эстетической и культурной ценности лесов для развития рекреационного лесопользования в работах классиков отечественного лесоводства содержится много полезных рекомендаций. Эти рекомендации получили полное творческое развитие применительно к главному и промежуточному пользованию главным лесным ресурсом – древесиной, но в гораздо меньшей степени применительно к рекреационному лесопользованию.

В работе М.М. Орлова [3, стр. 5] роль лесоустроительного проекта определена таким образом: «...планом лесного хозяйства надлежит назвать такую последовательность и соподчиненность между собой хозяйственных действий, приложенных к данному лесу, совокупный результат которых должен обеспечивать постоянное и наивыгоднейшее пользование лесом в данной лесной даче».

Данное определение никак не указывает на вид пользования лесом, хотя и предполагается, что речь идет о пользовании древесными ресурсами, не рекреационными.

Самое главное в позиции М.М. Орлова, что только через план организации и ве-

дения лесного хозяйства (лесостроительный проект) можно обеспечить преемственность в развитии и совершенствовании хозяйства, накапливать и анализировать опыт. Это особенно важно для рекреационного лесопользования, предполагающего в качестве базового условия долгосрочный договор аренды лесов. Следовательно, должна существовать и система ведения систематических записей о результатах хозяйства, гарантирующая преемственность принимаемых решений.

Изложенное дает новое наполнение тезиса М.М. Орлова о сущности лесостроительства применительно к рекреационному лесопользованию, фактически до недавнего времени проектируемому на основании общего формата лесостроительного проекта и специально не выделяемому в составе работ.

В зарубежной литературе невесомые полезности леса ассоциированы главным образом с защитными свойствами лесов [5] и с недревесной продукцией леса [6]. В методике ФАО для глобальной инвентаризации лесных ресурсов они охарактеризованы как недревесные услуги [7].

### Библиографический список

1. Рудзкий, А.Ф. Руководство к устройству русских лесов (2-е изд.) / А.Ф. Рудзкий. – СПб.: Издание А.Ф. Девриена, 1893. – 464 с.
2. Орлов, М.М. Очерки по организации лесного опытного дела в России/ М.М. Орлов. – СПб, 1915.
3. Орлов, М.М. Лесоустройство. Т. 1. Элементы лесного хозяйства / М.М. Орлов // Лесное хозяйство, лесопромышленность и топливо. – 1927. – 428 с.
4. Яценко, И.И. Эстетическая охрана лесов и лесостроительство / И.И. Яценко // Лесной журнал. – 1917. – № 7–8. – С. 369–386. (Перепечатано с сокращениями в Гуманитарном экологическом журнале. – 1999. – Т. 1. – Вып. 2. – С. 72–83).
5. The Contribution of Criteria and Indicators to Sustainable Forest Management: the way forward // Volume 2 (CICI-2003), Report of the International Conference on Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management (22 – 26 July 2002; Guatemala City, Guatemala), Rome, FAO, 2003
6. Alexander, S.J., J.F. Weigand, and K. Blatner. Nontimber forest products commerce // In E.T. Jones, R.J. McLain, and J.F. Weigand, eds. Nontimber forest products in the United States. Lawrence, KS: University Press of Kansas, 2002
7. Global Forest Resources Assessment 2000 Main report // United Nations, Rome, FAO, 2001, Forestry Paper №140, 479 p.

## РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСОВ ПРИКАМЬЯ

Т.В. КЛИМАЧЕВА, доц. Ижевской ГСХА, канд. с.-х. наук,  
К.Ю. ПРОКОШЕВА, асп. МГУЛ

*canc@isa.nivad.ru*

Величина природного лесного потенциала обусловлена размерами лесопокрытой площади территории Удмуртской республики (более 2 млн га), многообразием природных особенностей территории, наличием редких и уникальных природных объектов и ценных бальнеологических ресурсов. Лесной рекреационный потенциал (ЛРП) республики может быть охарактеризован как многокомпонентный, с преобладанием природных составляющих и предопределяющих рекреационную специализацию на туризме, отдыхе выходного дня и стационарном отдыхе. Удмуртия располагает всеми необходимыми природными предпосылками для формирования и развития всех выделяемых в настоящее время групп и видов ЛРП.

Создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в Удмуртской республике, таких как Национальный парк «Нечкинский», два природных парка, три государственных природных заповедника, около трехсот памятников природы и ряд других территорий, имеет экологическую и рекреационную ценность. Вышеперечисленные виды лесных территорий объединяются в следующие группы ресурсов: общеоздоровительные, лечебно-оздоровительные, спортивно-оздоровительные, познавательные-оздоровительные и промышленно-оздоровительные. Большие потенциальные возможности для формирования и развития лечебной рекреационной системы имеются в западной части республики, богатой большими ресурсами лечебных минеральных грязей и

вод. Наилучшие условия для организации рекреации оздоровительного типа в южной половине республики, где есть крупные водные потоки – Кама, Иж, Чепца и другие.

Лесные уголья с богатой промысловой и охотничьей дичью, ягодниками, густая сеть рек, живописные ландшафты служат хорошей основой для организации спортивно-рыболовно-охотничьего и туристического видов деятельности. Меньшие возможности для формирования познавательного типа рекреации. Промыслово-оздоровительная группа ресурсов в значительной степени относится к лесным территориям – охотничьи и рыболовные базы, грибные, ягодные, лекарственные уголья.

Актуальность данной работы обусловлена малой изученностью рекреационных лесов, характера течения дигрессионных процессов, роли структуры древостоя в поддержании устойчивости насаждений.

Северная часть республики расположена в зоне хвойных лесов, в подзоне южной тайги и южная часть – в зоне смешанных лесов, в подзоне хвойных лесов с липой и дубом. По лесотаксационному районированию она относится к центральному району. Основные лесообразующие породы в подзоне южной тайги – ель, сосна, пихта, береза, липа, осина. В подзоне хвойных лесов с липой и дубом – ель, сосна, пихта, береза, липа, осина. В насаждениях есть клен, ильм, дуб, отсутствующий в таежной зоне. Встречаются чистые насаждения дуба, ильма, липы. В подлеске распространена лещина.

По степени изученности флора Удмуртии приблизилась к таким хорошо исследованным территориям, как Московская область, Мещера и некоторые другие. Удмуртия располагается близ зонального контакта леса и степи и близ континентального контакта Европы и Азии. Наибольшей сложностью отличаются хвойно-широколиственные леса в южных районах. Здесь можно выделить два древесных, два–три кустарниковых, три травянистых яруса, а также ярус мхов и лишайников. Довольно просты по структуре ельники и елово-пихтовые леса, сосняки на бедных песчаных почвах.

Леса распределены весьма неравномерно. Если в южной части (Алнашский и

Каракулинский районы) лесистость равна 18 % и 7 %, то в центральной и западной частях (Сюмсинский, Увинский, Якшур-Бодьинский, Игринский, Красногорский, Селтинский) – 60 % и более.

Начиная работу, мы исходили из того, что нужно хорошо знать природу леса, ставшего объектом рекреации. Необходимо было выделить основные типы лесных биоценозов, но это не всегда легко сделать, поскольку леса к настоящему времени сильно нарушены хозяйственным воздействием – их состав и структура сейчас определяются не только спецификой условий местообитания, но и историей лесопользования. Было изучено состояние вопроса, лесоустроительные материалы, обобщены результаты научных исследований, в частности диагностические показатели как для условий местообитания (рельеф, почва, гидрологический режим и т.д.), так и для растительности.

Для выявления лимитирующих факторов проведен корреляционный анализ между отдельными свойствами почв и высотой еловых насаждений. Наиболее тесная положительная связь отмечена между высотой еловых насаждений и содержанием физической глины в горизонте  $A_1$ . Значительная отрицательная связь выявлена между высотой еловых насаждений и глубиной залегания суглинка. Данные табл. 1 подтверждают зависимость продуктивности от почвенных условий. На дерново-подзолистых почвах и на древнеаллювиальных отложениях с глубиной залегания суглинка более 1 м ель существенно снижает высоту и дает менее продуктивные и более низкие насаждения.

Высота ели тесно связана с запасами гумуса  $r \pm m = 0,83 \pm 0,058$ , суммой поглощенных оснований  $r \pm m = 0,85 \pm 0,052$ , фосфором  $r \pm m = 0,78 \pm 0,072$ , калием  $r \pm m = 0,73 \pm 0,083$  по всему почвенному профилю. Различия дерново-подзолистых почв в механическом составе, запас гумуса и элементов питания отразились на продуктивности еловых насаждений. Рациональное использование лесных площадей предусматривает в первую очередь правильное размещение древесных пород, т.е. определение участков (по почвенно-грунтовым условиям), на которых та или иная древесная порода дает наибольшую производительность.

Т а б л и ц а 1

**Средняя высота 80–90-летних еловых насаждений по почвенным условиям**

№ группы почв./пл.	Механический состав дерново-подзолистых почв	X	$\pm m_x$	$\pm \sigma$	$\pm v$	$\pm P$	Градац. бонитет	Бонитет
I	Легкосуглинистые на суглинках	26,3	0,704	3,7	14,40	2,7	I-Ia	I,0
II	Супесчаные на суглинках 0,5–1 м	25,4	0,376	2,64	10,40	1,5	I-II	I,43
III	Супесчано-песчаные на суглинках на глубине более 1 м	23,6	0,900	3,38	14,30	3,8	I-III	II,39
IV	Связнопесчаные с супесчано-суглинистыми прослойками на глубине более 1 м	22,3	0,550	1,76	8,10	2,5	III-II	II,64
V	Супесчано-песчаные на глине на глубине 0,4–0,5 м	21,5	0,410	1,49	7,00	1,8	III-I	III,07

Примечание: X – среднее значение признака;  $\pm m_x$  – ошибка среднего значения;  $\pm \sigma$  – среднее квадратическое отклонение;  $\pm V$  – коэффициент изменчивости;  $\pm P$  – показатель точности средних величин.

Т а б л и ц а 2

**Показатели ландшафтной таксации лесных насаждений Удмуртии (данные лесоустройства)**

Лесхозы	Типы ландшафтов						Рекреационная оценка			Эстетическая оценка			Устойчивость насаждений		
	закрытые		полуоткрытые		открытые		высокая	средняя	низкая	1	2	3	1 (здоровые)	2 (ослаб.)	3 (прек. рост)
	гориз. сомк-ти	вертик. сомк-ти	равн-го размещ.	груп. размещ.	с ед. дер-ми	без древ. раст-ти									
Балезинский	15	504	101	9	–	89	53	483	189	400	268	57	122	490	17
Воткинский	626	2402	169	10	11	125	2289	723	331	1859	1101	383	2445	629	269
Глазовский	311	43	49	29	4	25	11	439	10	46	408	7	280	148	3
Ижевский	6644	157	769	35	6	492	5226	2357	520	7362	457	284	507	7270	326
Камбарский	1397	–	64	–	19	93	1138	259	176	1472	89	12	1430	27	4
Можгинский	301	163	42	23	2	31	104	201	135	28	364	48	302	97	8
НП «Нечкинский»	14212	158	1976	1	368	608	5360	6656	5312	6212	8266	1870	3534	12357	457
Сарапульский	799	158	40	21	10	42	930	118	22	19	1027	24	87	919	12
Увинский	488	76	25	19	16	2	31	564	25	167	353	94	543	77	–
<b>Итого</b>	<b>24793</b>	<b>3661</b>	<b>3235</b>	<b>147</b>	<b>436</b>	<b>1507</b>	<b>15142</b>	<b>11800</b>	<b>6720</b>	<b>17565</b>	<b>12333</b>	<b>2779</b>	<b>9250</b>	<b>22014</b>	<b>1096</b>

Изучение тенденций жизнедеятельности лесных экосистем проводилось на постоянных и временных пробных площадях, согласно отраслевому стандарту (ОСТ 56-69-83) и Общесоюзным нормативам для таксации лесов (1992). Изучение нижних ярусов леса (подроста, подлеска и живого напочвенного покрова) проводилось по методикам В.Н. Сукачева (1972), И.С. Мелехова (1965) с учетом предложений А.Ф. Хайретдинова, С.И. Конашевой, Р.И. Ханбекова (1994). Ландшафтная таксация проводилась по методу классов возраста в соответствии с «Инструкцией по проведению лесоустройства в лесном фонде России» (1995), на основе таксационных описаний и планов лесонасаждений. В лесах

зеленых зон лесоустройство осуществлялось по первому разряду, где наряду с таксационными показателями объекты рекреационного пользования оцениваются по ряду факторов, дающих представление об общем состоянии древостоя. Для этих целей проводят ландшафтную таксацию насаждений. Показатели ландшафтной таксации лесных насаждений Удмуртии, по данным лесоустройства, приведены в табл. 2.

Практически во всех рекреационных лесах, включая НП «Нечкинский», преобладают закрытые типы ландшафтов горизонтальной сомкнутости. Устойчивость насаждений НП «Нечкинский», рекреационных лесов Ижевского, Сарапульского, Балезинс-

кого определена в основном как ослабленная. В основу оценки рекреационной устойчивости леса положены нормативы предельно нормативных нагрузок. При этом учитываются тип условий местопроизрастания, породный состав, структура и возраст насаждений, стадия рекреационной депрессии.

При планировании исследований мы исходили из породно-возрастной структуры насаждений.

Национальный парк «Нечкинский» организован в 1997 г. В его лесном фонде преобладают леса I группы – 80,5 %. Это подтверждает их высокую природоохранную ценность.

Леса являются важнейшими средообразующими элементами природных ландшафтов национального парка. Особое значение имеют высоковозрастные насаждения с участием нескольких хвойных пород, высокобонитетные сосновые боры и элементы хвойно-широколиственных лесов. При этом основным критерием служит степень сохранности насаждений. Проектирование лесохозяйственных мероприятий производится по функциональным зонам парка.

Наибольшую площадь занимает рекреационная зона – 37,5 %. Особо охраняемая зона занимает 35,79 %, заповедная зона – 12,4 %, познавательного туризма – 13,15 % и посетителей – 1,33 %. Хвойные породы (сосна, ель, пихта, лиственница) занимают 55,0 % площади. Поскольку преобладающими являются дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы, то наибольшее распространение получила сосна – 44 %, ель произрастает в основном на дерново-глеевых почвах и занимает 9,4 % площади. Из мягколиственных пород преобладает береза – 25,6 % и осина – 9,6 %. Твердолиственные породы (дуб, вяз) занимают 4,7 % площади.

В возрастном соотношении преобладают средневозрастные насаждения – 62,5 %, что говорит о сравнительной молодости национального парка. Перестойные насаждения занимают 0,5 % площади, в основном они находятся в заповедной зоне, а она труднодоступна и практически не подвержена антропогенному воздействию. Молодняки, приспевающие и спелые насаждения зани-

мают соответственно 17,7 %, 9,3 % и 10,5 % площади.

Согласно постановлению Правительства УР «О схеме особо охраняемых природных территорий» от 18.12.95 № 377 завершены проектно-изыскательские работы по проектированию природного парка «Шаркан». Территория парка по ресурсоохранному, эстетическому, рекреационному и научно-познавательному потенциалу соответствует географическим, биологическим и экологическим критериям организации ООПТ высокого ранга. Это самая живописная часть Удмуртии, своеобразие которой обусловлено развитием здесь куэстового рельефа, связанного с моноклинальным залеганием пласта горных пород. Высокие уступы (80–100 м), «островные» леса на куэстах и лесной массив на левобережье р. Ита создают идеальные условия для организации зимних видов спорта и летнего организованного туризма. Заповедное ядро парка, площадь около 5 тыс.га, предлагается использовать для установления длительного мониторинга в бассейнах малых рек, находящихся здесь под разной антропогенной нагрузкой. Для развития рекреации имеются хорошие социально-экономические предпосылки: парк находится в зоне доступности населения основных промышленных центров региона Ижевска (90 км), Воткинска (30 км), Чайковского (60 км).



Рисунок. Функциональное зонирование территории НП «Нечкинский»

**Возрастная структура лесов природного парка «Шаркан»**

Преобладающая порода	Классы возраста									Итого
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Хвойные										
Сосна	54	257	537	108	–	–	–	–	–	956
Ель	153	220	1750	2892	447	117	–	–	–	5579
Пихта	7	34	157	571	304	35	–	–	–	1108
Лиственница	11	20	–	–	–	–	–	–	–	31
Итого хвойные	225	531	2444	3571	751	152	–	–	–	7674
Лиственные										
Береза	3	8	11	17	110	63	80	17	–	309
Осина	1	9	17	25	58	36	121	–	–	267
Ольха С	–	2	14	15	17	10	–	–	–	58
Липа	2	2	10	3	8	7	–	–	–	32
Тополь	–	–	–	–	–	1	–	–	–	1
Итого мягколиственные	6	21	52	60	193	117	201	17	–	667
Всего по парку	231	552	2496	3631	944	269	201	17	–	8341

Возрастная структура лесов природного парка «Шаркан» приведена в табл.3.

Доминирующие хвойные породы – ель, пихта, сосна, мягколиственные – береза и осина, преобладают насаждения III–IV классов возраста.

Важная составная часть пригородных зон г. Ижевска – лесные насаждения. Сейчас в зеленой зоне больше мягколиственных насаждений (береза, липа, осина и пр.), являющихся недолговечными и, следовательно, неустойчивыми. Хвойные насаждения занимают 37 %, на долю сосны приходится лишь 7 % площади лесопокрытых земель. Сосновые насаждения в силу эколого-лесоводственных преимуществ наиболее часто посещаются населением.

Сосновые леса в прошлом занимали обширные площади по всей зоне хвойно-широколиственных лесов региона. В результате усиленной эксплуатации их площади резко сократились. Увеличение площади сосновых лесов достигается главным образом за счет создания лесных культур. Естественные сосновые древостои, расположенные в водоохраной зоне Ижевского пруда, стареют, и в создавшихся условиях их восстановление естественным путем невозможно.

Исследование возобновительного процесса в рекреационных лесах г. Ижевска проводилось на пробных площадях в преобладающих типах леса согласно отраслевому стандарту (ОСТ 56-69-83). При сплошном пе-

речете учитывалось наличие стволовых гнилей, по пням и корням возрастным буровом.

Возобновление изучалось по размерам, по высоте, по состоянию – здоровые, больные, погибшие.

Объектами были естественные насаждения (сосны, ели, березы), чистые или смешанные по составу древостои различных типов леса. Разнообразие лесорастительных условий и уровень ведения лесного хозяйства обусловили широкий диапазон распространения насаждений по производительности. Встречаются древостои от первого до пятого, однако преобладают леса второго бонитета. Ельники, березняки и сосняки отличаются высокой производительностью.

Рекреационные нагрузки меняют экосистему в целом, изменения протекают во всех компонентах биогеоценоза и требуют длительных стационарных исследований. В нашей работе наблюдения проводились на участках, принадлежащих к одному и тому же типу леса, расположенных в одних и тех же лесорастительных условиях, но при разной степени интенсивности рекреационного воздействия и находящихся на разных стадиях дигрессии.

«Парными» были две постоянные пробные площади (один участок – непосредственно примыкающий к городу), одна из ПП была заложена в сосняке с липой снытьево-разнотравном с незначительной рекреационной нарушенностью, а другая – в сосняке злаково-разнотравном (4-я стадия дигрессии), на учас-

тке, давно уже являющемся местом массового отдыха, где от первоначальной структуры растительности сохранился только ярус сосны.

Обе пробные площади расположены на древней террасе реки Иж, сложенной мощными аллювиальными песками, на которых сформировались дерново-подзолистые супесчаные почвы с легкосуглинистыми прослойками. На обоих участках сосна является породой-эдикатором (ее возраст 130–140 лет, высота 25–27 м, диаметр 36–40 см), но в сосняке злаково-разнотравном сосновый древостой в результате давнего и интенсивного использования территории разрядился и приобрел парковый характер. Коренным образом меняется состав и структура травяного покрова. Практически полностью исчезает кислица, ожика волосистая, костяника, майник, седмичник и др. лесные виды.

В сосняке с минимальной нарушенностью много липы разного возраста, она активно возобновляется и в будущем имеет все основания заменить сосну и стать породой-эдикатором. Подрост сосны отсутствует, еловый подрост в количестве 1–1,5 шт./га в основной массе неблагонадежный.

На втором участке – средненарушенном (зоне умеренной посещаемости, район Игермана) ПП были заложены в березняках-черничниках и в березняках широколиственных. Березняки-черничники, образовались в результате смены пород, имеют второй класс бонитета. За 80 лет под пологом березы образовался второй еловый ярус при наличии благонадежного (5–20 лет) подроста в количестве 3–5 тыс. шт./га. Березняки широколиственные образуют сложные насаждения со вторым еловым ярусом и наличием разновозрастного (3–5 лет) елового подроста в количестве 4–6 шт./га. В данных типах леса ведение лесного хозяйства необходимо ориентировать на постепенную рубку и подсочку березняков.

Следующие пробные площади заложены в чистом ельнике-черничнике (В<sub>3,4</sub>) третьего бонитета, сформировавшимся после проведения целевых рубок разной интенсивности, и в смешанном ельнике черничнике второго бонитета, где рубки не проводились.

На третьем участке – слабонарушенном (северо-западная часть лесничества) пробные

площади заложены в сосняках брусничниках 2-го класса бонитета. Травяной и моховой покров, характерный для данного типа леса, представлен брусникой, вероникой лекарственной, грушанкой, ожикой волосистой, орляком и зелеными мхами. Имеются незначительные изменения лесной среды, единичные механические повреждения деревьев и кустарников. Подрост разновозрастный и жизнеспособный. В составе подроста присутствуют сосна, ель, пихта и береза, его количество составляет 4–5 тыс. шт./га. Размещение подроста неравномерное, на опушке леса имеется большое количество жизнеспособного разновозрастного подроста сосны, однако под пологом насаждений в глубине леса его количество уменьшается, появляется подрост ели. Последнее свидетельствует о том, что трудно надеяться на замену спелых древостоев молодняком естественным путем. В данном случае необходимо омоложение древостоев рубками обновления каймовым способом.

Природные леса являются резервуаром чистого воздуха г. Ижевска, и они должны органически сочетаться с системой городских зеленых насаждений. Необходимо иметь координационный план работы по внедрению научных методов и передового опыта на зонально-типологической основе, включая ландшафтные рубки, лесные и декоративные посадки, уход за посадками, лужайками, дорогами, тропами, биотехническими мероприятиями по обогащению фауны.

В целом лесные насаждения пригородной зоны уникальны. Судя по лесоводственным-таксационным показателям, они обладают высоким рекреационным потенциалом (привлекательность, комфортность, устойчивость к рекреационным нагрузкам), т.е. имеют высокую экологическую продуктивность (по И.С. Мелехову).

### Библиографический список

1. Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. – 1995.
2. Казанская, Н.С. Рекреационные леса / Н.С. Казанская, В.В. Ланина, Н.Н. Марфенин. – М.: Лесная пром-сть, 1977.
3. Комплексная методика изучения влияния рекреации на экосистемы городских и пригородных лесов // Научные тр. национального парка «Лосиный остров»: – М.: КРУК – Престиж, 2003. – Вып. 1. – С. 12–28.

4. Колданов, В.Я. Смена пород и лесовосстановление / В.Я. Колданов. – М.: Лесная пром-сть, 1966. – 171 с.
5. Загреев, В.В. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.И. Сухих, А.З. Шведченко, Н.Н. Гусев. – М.: Колосс, 1992. – 495 с.
6. ОСТ 56-100-95 «Методы и единицы рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы».
7. Рекомендации по выделению коренных и производных групп типов леса лесной зоны европейской части РСФСР. – М.: ВНИИЛМ, 1982.
8. Соколов, П.А. Дипломное проектирование: обработка результатов измерения: учебное пособие / П.А. Соколов, В.А. Черных. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА; ГОУ ВПО МарГТУ, 2007. – 100 с.
9. Сукачев, В.Н. Основы лесной типологии и биоценологии / В.Н. Сукачев // Избранные труды. – Т.1. – Л.: Наука, 1972. – 420 с.
10. Ханбеков, Р.И. Рекреационная роль лесов и ее оптимизация при ведении лесного хозяйства / Р.И. Ханбеков // Оптимизация ведения хозяйства в лесах рекреационного назначения. ЦП ВПНТО. – М., 1989.

## НАНОСТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВ

Г.Н. ФЕДОТОВ, *проф. Российского федерального центра судебной экспертизы при Минюсте, д-р. биол. наук,*

В.И. ПУТЛЯЕВ, *доц. МГУ им. М.В. Ломоносова, канд. хим. наук,*

Т.Ф. РУДОМЕТКИНА, *с. н. с. Российского федерального центра судебной экспертизы при Минюсте, канд. хим. наук,*

Д.М. ИТКИС, *асп. МГУ им. М.В. Ломоносова*

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

*shalaev@mgul.ac.ru*

**В** почвоведении и земледелии большое внимание уделяют структуре почв, связывая с ней агрофизические условия, и, следовательно, условия жизни микроорганизмов и растений. Считается, что оптимальными свойствами обладают почвы с максимальным содержанием агрономически ценных агрегатов размером 0,25–10 мм [1].

Были предприняты попытки улучшения почвенной структуры путем внесения в нее полимеров для увеличения концентрации почвенных «клеев» [2–4]. Это привело к получению обнадеживающих результатов, но относительно высокая стоимость полимеров и их быстрое разрушение в почвах под влиянием микрофлоры не позволили широко использовать полимерные структуры в сельском хозяйстве.

Наряду с синтетическими структурами пытались также использовать торфяные клеи, имеющие более низкую стоимость. Однако их эффективность оказалась значительно ниже [5–6]. Необходимо отметить, что в период изучения торфяных клеев отсутствовали современные методы, позволяющие исследовать их микро- и наноструктурную организации. Поэтому трудно было ожидать, что эксперименты,

проведенные простым перебором ограниченного числа вариантов с оценкой эффективности только по водоустойчивости агрегатов и влиянию обработки почвы мелиорантом на рост растений, могли дать положительный результат на таких сложных биокосных системах с многоуровневой организацией.

Вместе с тем перспективность разработки материалов на основе торфа для улучшения почвенной структуры не вызывает сомнения. Связано это, прежде всего, с огромными запасами в нашей стране и низкой стоимостью торфа, а также с предполагаемыми масштабами физической мелиорации почв. Однако разработка подобных структур на основе торфа является сложной материаловедческой задачей, при решении которой необходимо контролировать не только конечный результат, но и нано- и микроструктурную организацию создаваемых торфяных клеев.

Целью исследования было изучение влияния гелей и их наноструктурной организации на структуру почв.

В качестве объектов исследования были взяты образцы, отобранные из пахотных горизонтов типичного курского черно-

зема, серой лесной почвы владимирского ополья, дерново-подзолистой почвы вблизи поймы р. Яхрома и торфяной почвы в пойме р. Яхрома, а также образцы темно-каштановой (Волгоградская обл.) и бурой лесной почвы (Приморский край, о. Попова), взятые из архива кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова.

Торфяные клеи получали из образцов торфяной почвы поймы р. Яхрома [7]. В связи с токсичностью натрия для растений использовали растворы гидроксида калия (КОН). При приготовлении торфяных клеев изучали влияние концентрации растворов КОН, соотношения раствор КОН (гидрооксид калия) – торфяная почва, термической и ультразвуковой обработки суспензий (УЗДН-2Т, 44 кГц), добавок жидкого стекла и аэросила на структуру получающихся материалов.

Армированный гумусовый студень на основе торфа пытались получить и путем измельчения. Для этого водные суспензии аэросила с торфом подвергали дезинтеграторной обработке.

Содержание органического вещества в торфяной почве и торфяных клеях определяли химическим анализом по известной методике [8].

Для изучения структурной организации полученные торфяные клеи наносили на атомно-гладкую поверхность слюды и высушивали при температуре 40 °С. При изучении почв их приклеивали на углеродный скотч. На приготовленные образцы напыляли углерод (термический испаритель Univex-300, фирмы Leybold, Германия).

При изучении кинетики распада почвенных агрегатов в воде отбирали 60–70 агрегатов одного размера и помещали их на фильтровальную бумагу в ячейки пластиковой решетки размером 10 × 10 мм. После этого устройство переносили в термостат, приводя в соприкосновение фильтровальную бумагу с водой и капиллярно насыщая почвенные агрегаты водой в течение 1–3 минут. Окончание насыщения фиксировали по изменению цвета почвенных агрегатов. После этого устройство погружали в термостат на глубину 1–5 см и фиксировали время распада почвенных агре-

гатов. При работе с агрегатами использовали лупу диаметром 150 мм с четырехкратным увеличением, а также микроскопическую приставку с подсоединенной к ней видеокамерой, передающей изображение на компьютер.

Предварительные эксперименты показали, что глубина погружения агрегатов в воду не влияет на процесс их распада. Полученные данные представляли в виде безразмерной концентрации агрегатов. Проведя эксперименты при нескольких температурах (Т), определяли константы скорости реакции (k) при этих температурах, а построив график в координатах  $\ln k - 1/T$ , кажущуюся энергию активации процесса распада почвенных агрегатов в воде.

На первом этапе работы исследовали влияние концентрации растворов КОН и условий процесса на состав и структуру получаемых материалов. Проведенные эксперименты свидетельствуют (таблица), что при увеличении концентрации растворов щелочи в интервале 1–10 % количество органического вещества, переходящего в растворенное состояние, возрастает почти в 3 раза. Однако при этом соотношение карбонат калия : органическое вещество увеличивается примерно в 3,5 раза.

Использование ультразвука при приготовлении торфяных клеев не оказывало заметного влияния на переход органического вещества торфа в суспензию, в то время как нагрев суспензии заметно ускорял процесс. При соотношении торф : раствор КОН, равном 1:10, полученная суспензия была очень густой, что затрудняло работу с ней.

Проведенные эксперименты позволили выбрать условия приготовления торфяных клеев для дальнейших исследований.

Органоминеральные гели, выполняющие в почвах роль клеев, представляют собой почвенный гумус, находящийся в студнеобразном состоянии, армированный коллоидными частицами органической и неорганической природы [9–10]. По-видимому, армирование гумусового студня стабилизирует его существование в почвах, предотвращая минерализацию органического вещества микроорганизмами. Поэтому дальнейшая работа была направлена на получение и исследование армированных торфяных клеев.

**Влияние параметров синтеза торфяных клеев на содержание в них органического вещества**

Концентрация раствора КОН, %	Соотношение торф : раствор КОН	Время обработки ультразвуком, мин	Температура, °С	Содержание органического вещества, мг/л
1	1 : 10	30	без нагрева	2600
1	1 : 10	30	до кипения	3600
1	1 : 100	30	без нагрева	380
1	1 : 100	0	до кипения	1060
1	1 : 100	10	без нагрева	230
1	1 : 100	0	до кипения	890
1	1 : 100	7	до кипения	900
2,5	1 : 100	0	до кипения	1140
5	1 : 100	0	до кипения	1250
5	1 : 100	10	80	1200
5	1 : 100	0	80	910
8	1 : 100	0	до кипения	2180
10	1 : 100	0	до кипения	2880

Армированный гумусовый студень пытались получить, обрабатывая водную суспензию аэросила с торфом в дезинтеграторе при соотношении торф : аэросил – 1:1.

Существует два подхода получения материалов «сверху–вниз» и «снизу–вверх» [11]. Эксперименты по оценке возможности использования дезинтеграторной обработки показали, что получить армированный гумусовый студень, используя подход «сверху–вниз» не представляется возможным. Для создания наноструктур второй подход почти всегда предпочтительнее. Поэтому дальнейшие исследования проводили, используя торфяные клеи.

Для армирования гумусового студня в торфяные клеи, полученные путем обработки торфа 1 % раствором КОН, вводили различные количества ПАВ, калийного жидкого стекла и аэросила марки А-380 с размером частиц порядка 50 нм.

Введение жидкого стекла не привело к возникновению в системе армирующих частиц кремнезема и значимому изменению структуры получаемых материалов.

Аэросил вводили в торфяные клеи при перемешивании с последующей гомогенизацией смеси при помощи УЗДН-2Т в течение 10 минут. Были приготовлены составы с соотношением аэросил : органическое вещество – 0,5:1; 1:1; 2:1; 3:1; 4:1.

Электронно-микроскопическое изучение полученных образцов показало, что

введение аэросила приводит к изменению структуры торфяных клеев. Изменяя состав, удалось получить набор торфяных клеев с различной структурной организацией. При соотношении аэросил : органическое вещество – 4:1 наблюдается самоорганизация частиц аэросила с образованием ламелей микронных размеров толщиной порядка 100 нм, которые при изучении с помощью оптического микроскопа можно спутать с частицами глинистых минералов.

Введение линолевокислого натрия в количестве 0,006 % (концентрация близкая к ККМ) показало, что при этом самоорганизация в системе не исчезает, но изменяется морфология образующихся материалов. Происходит переход от ламелярных структур к игольчатым.

Результаты изучения суспензий торфяных клеев свидетельствуют, что при увеличении содержания аэросила в суспензии без добавок ПАВ происходит значительное уменьшение размера частиц. В суспензиях с добавками ПАВ при увеличении содержания аэросила наблюдаются более сложные зависимости, но тенденция к уменьшению размера частиц сохраняется. Можно предположить, что наблюдаемые нами при электронно-микроскопических исследованиях высушенных торфяных клеев структуры существуют уже в суспензиях, а не возникают при их высушивании.

Подобные результаты позволяют сделать вывод о том, что наноструктурная организация почв и их микроморфология могут изменяться под влиянием малозаметных и неконтролируемых исследователем факторов. Полученные данные свидетельствуют также о наличии склонности к самоорганизации у органического вещества гумуса.

Органические молекулы специфических и неспецифических веществ гумуса [13] взаимодействуют между собой, образуя гумусовый студень [14]. Определять поведение подобных систем должны наиболее высокомолекулярные соединения при достаточной их концентрации, в данном случае гуминовые кислоты.

Гуминовая кислота [15] состоит из 40–45 блоков массой каждый порядка 1500 дальтон, причем блоки эти имеют полиароматическое ядро и представляют собой двумерные образования. В пространстве, как всякая полимерная молекула, гуминовая кислота должна принимать конформацию клубка.

На форму молекул гуминовых кислот должны влиять [16] растворитель; количество и вид молекул, с которыми контактирует гуминовая кислота; заряд молекулы гуминовой кислоты и окружающих ее молекул; ионная сила раствора; количество и энергия внутримолекулярных и межмолекулярных связей и др.

Для обеспечения устойчивости почвенных агрегатов гелевые пленки при взаимодействии с водой должны набухать, но не распадаться на молекулы, ассоциаты молекул или на более тонкие пленки. В противном случае агрегаты будут разрушаться. Проведенный анализ свидетельствует, что искомый результат по улучшению почвенной структуры достигается наличием «сшивок» – связей внутри пленок и между пленками и минеральной составляющей почв, «сшивок», которые не разрушаются водой.

При анализе был применен достаточно общий подход, в котором абстрагировались как от строения самих почвенных агрегатов, так и от строения почвенной структуры в целом. Подобный подход накладывает серьезные ограничения на сделанные выводы.

С целью устранения этого недостатка нами была изучена водостойкость почвенных агрегатов. Для получения информации о механизме процесса распада почвенных агрегатов в воде было необходимо определить физико-химические параметры процесса. Проще всего это сделать, определяя кинетику распада почвенных агрегатов в воде, методом Андрианова.

При распаде почвенных агрегатов в воде в реальности мы имеем дело с совокупностью последовательно-параллельных реакций разрушения армированного гумусового студня при гидролизе, поэтому таким способом можно определить только эффективную энергию активации процесса распада почвенных агрегатов.

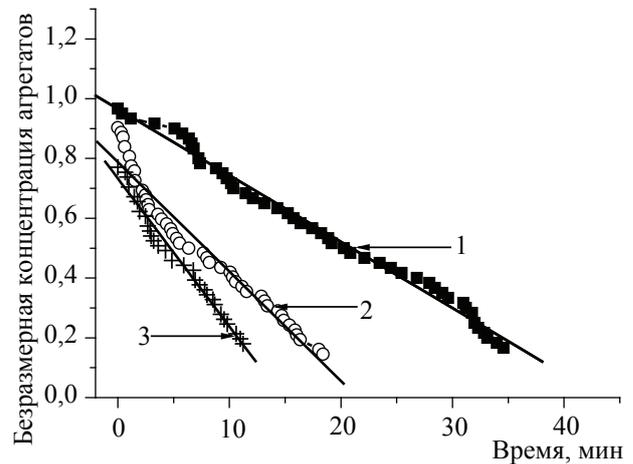


Рис. 1. Кинетика распада почвенных агрегатов черноzема размером 3–5 мм в воде при различных температурах: 1 – 23°C, 2 – 37°C, 3 – 50°C

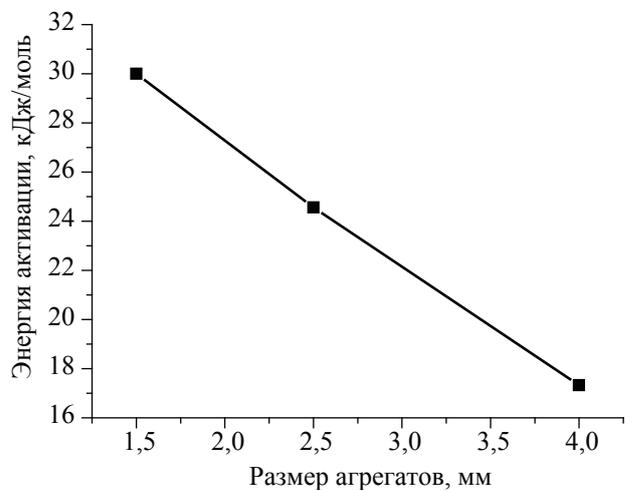


Рис. 2. Изменение энергии активации распада почвенных агрегатов черноzема в воде от их размера

На графике (рис. 1) представлены полученные нами типичные кинетические кривые. Процесс распада 80 % почвенных агрегатов хорошо описывается уравнением нулевого порядка. Коэффициент корреляции 0,97–0,99. Проведение экспериментов при различных температурах позволило определить эффективную энергию активации распада почвенных агрегатов в воде, которая является физико-химической характеристикой процесса для данной почвы. Были определены эффективные энергии активации распада для агрегатов различных фракций (рис. 2).

Проанализируем полученные результаты, приняв для простоты, что агрегаты имеют сферическую форму. Считается, что макроагрегаты образованы из микроагрегатов [1, 3, 6, 17], и, следовательно, различные фракции макроагрегатов отличаются только количеством образующих их микроагрегатов, но связаны между собой одинаковым армированным гумусовым студнем. Распад агрегатов должен усиливаться при увеличении количества нарушений в связывающем микроагрегаты армированном гумусовом студне агрегата. Количество подобных «дефектов» должно возрастать с увеличением объема агрегата. В этом случае зависимость эффективной энергии активации распада от размера агрегата должна быть обратно пропорциональна третьей, а не первой степени. Следовательно, можно предположить, что существует некий фактор стабилизации агрегатов, пропорциональный квадрату их размера, который действует тем сильнее, чем меньше поверхность сферической частицы. Фактически речь идет о каком-то механизме, подобном поверхностному натяжению, действие которого часто объясняется с позиции существования стягивающей пленки молекул поверхностного слоя.

Таким образом, существование стягивающей пленки на поверхности агрегатов позволяет объяснить полученные результаты. Можно предположить, что роль стягивающей пленки выполняет слой армированного гумусового студня, покрывающего агрегат и предотвращающего его распад при набухании. Предположение о наличии подобной пленки органического происхождения, стабилизиру-

ющей агрегаты, высказывалось в ряде работ [5, 18], но доказано не было.

Способов образования поверхностного слоя с повышенной концентрацией армированного гумусового студня в почвенных агрегатах может быть несколько. Например, гелевые структуры могут существовать в почвенном растворе в виде обломков, не связанных с поверхностью почвенных пор, а значит обладать определенной подвижностью [10]. При чередовании процессов увлажнения-иссушения они вместе с влагой будут перемещаться к поверхности агрегатов – к зоне испарения и закрепляться там. При большом числе циклов их концентрация в поверхностном слое должна быть заметно выше.

Однако возможно и другое объяснение. Распад во многих случаях происходит как отрыв кусков от агрегатов. При отрыве куска от агрегата вес этого куска действует на площадь, по которой происходит отрыв. Масса куска пропорциональна его объему и, как следствие, энергия активации должна линейно зависеть от размера агрегата.

С целью проверки предположения об изменении концентрации геля в поверхностном слое агрегатов было проведено определение химического состава путем сканирования при помощи рентгеноспектрального микроанализатора по срезу агрегатов от центра к краю. Как следует из полученных данных, значимая разница по распределению элементов внутри агрегатов и в их поверхностном слое отсутствует. Это свидетельствует о том, что накопления геля во внешнем слое агрегатов, стабилизирующего их существование, не происходит.

В структурной почве агрегаты являются исходными, автономными, мало изменяемыми элементами [19] почвенной структуры в процессе функционирования почв. То есть в процессе циклического увлажнения-иссушения размер и форма агрегатов должны оставаться неизменными.

В общем случае разрушение агрегатов и почвенной структуры в целом будут определяться разницей энергий связи почвенной массы внутри агрегатов и между агрегатами. Если эта разница велика, то при высыхании или механическом воздействии произойдет

разрыв по поверхности и перераспределения почвенной массы между агрегатами наблюдаться не будет. Если разница мала, то процессы увлажнения-высушивания приведут к уничтожению границ между агрегатами и образованию слитой массы с близкой энергией связи в любом направлении.

Для проверки данного положения на поверхность почвенных агрегатов чернозема размером 3–5 мм были нанесены частички нерастворимого в воде люминофора КО-530 размером 3–5 мкм путем обработки агрегатов суспензией люминофора. После этого агрегаты были помещены в тигель с пористым дном, который заполнялся водой, где они выдерживались несколько часов. Затем вода удалялась, а почвенная масса высушивалась при 40°C. После трехкратного проведения процесса увлажнения-высушивания образовавшийся сухой комок почвы был разделен на агрегаты.

В случае перераспределения почвенной массы между агрегатами в середине вновь образовавшихся агрегатов должны были бы наблюдаться области, содержащие люминофор, соответствующие поверхности исходных агрегатов. На срезах агрегатов подобные области должны визуализироваться в виде полос люминофора в массе агрегата. Мы провели препарирование нескольких десятков вновь образовавшихся агрегатов, рассматривая срезы при помощи микроскопической приставки при увеличении от 5 до 90. При этом образцы облучали УФ излучением с длиной волны 366 нм, используя УФ излучатель для тонкослойной хроматографии Desaga Minuvis 131200. Ни в одном случае внутри агрегатов чернозема не было обнаружено прослоек из люминофора, хотя отдельные частички люминофора в небольшом количестве внутрь агрегатов попадали. В экспериментах, проведенных с агрегатами дерново-подзолистой и серой лесной почв, более половины содержали внутри прослойки люминофора.

Таким образом, почвенные агрегаты чернозема действительно являются стабильными элементами, образующими почвенную структуру и в принципе возможно существование механизма стабилизации почвенных агрегатов за счет изменения состава и струк-

турной организации армированного гумусового студня в поверхностном слое агрегатов.

Основной вывод из проведенных в этой части работы экспериментов заключается в следующем: условием образования и существования устойчивой агрегатной почвенной структуры должно являться наличие поверхностных слоев геля одинакового с объемными слоями геля состава, которые обеспечивают меньшее взаимодействие между агрегатами, чем объемные слои геля внутри агрегатов.

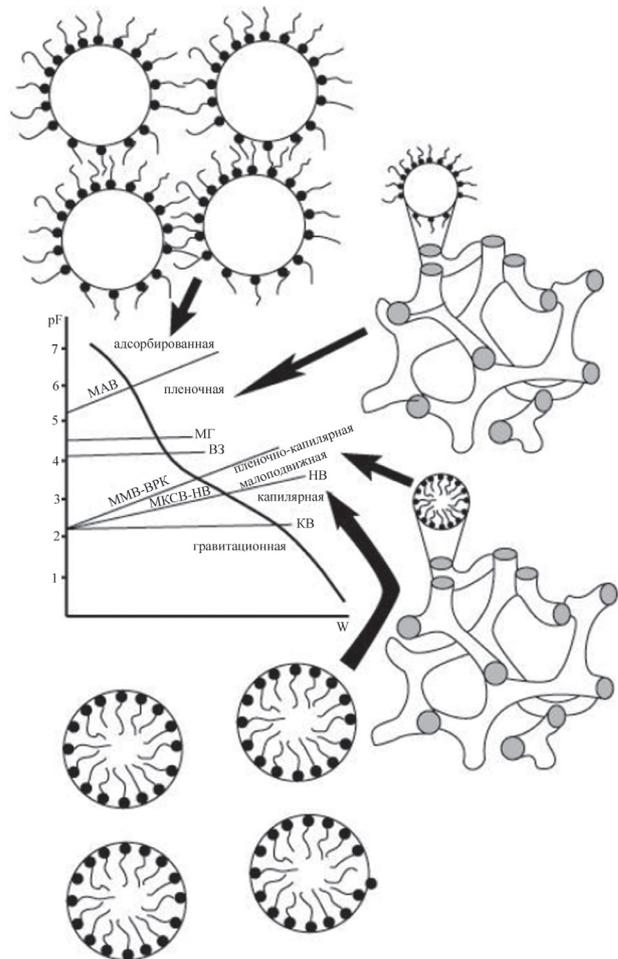


Рис. 3. Кривая основной гидрофизической характеристики [2] и предполагаемая схема преобразования структуры гумуса при изменении влажности почв: pF – потенциал почвенной влаги, W – влажность почв, MAB, MG, BZ, MMB, BPK, MKCB, NB, KB – почвенные гидрофизические константы (MAB – максимальная адсорбционная влагоемкость; MG – максимальная гигроскопичность; BZ – влажность завядания; MMB – максимальная молекулярная влагоемкость; BPK – влажность разрыва капилляров; MKCB – максимальная капиллярно-сорбционная влагоемкость; NB – наименьшая влагоемкость; KB – капиллярная влагоемкость)

При одинаковом составе геля внутри и в поверхностном слое агрегатов подобно возможно только при перестройке структуры гумусового студня. Таким образом, для понимания поведения гумусового студня и самих почв нельзя воспринимать гумусовую матрицу как однородную органическую субстанцию. Необходимо учитывать наличие в ней большого числа гидрофобных участков и возможность прохождения структурных перестроек в гумусовом студне.

В подобных системах при изменении содержания воды происходят конформационные изменения структуры молекулярной сетки [20–21]. При малом содержании воды структура гумусового студня должна соответствовать типу В/М (эмульсия воды в масле). Это означает, что при удалении воды из гумусового студня происходит такая реорганизация его структуры, что неполярные части макромолекул разворачиваются, увеличивая площадь контакта между собой, неполярными частями макромолекул и воздухом. Полярные же части контактируют с остающейся в гелевой структуре водой и минералами, образуя вокруг них защитные пленки (рис. 2). При увеличении содержания воды сначала происходит объединение областей воды, покрытых защитными пленками, в единый каркас [20–21]. В этих условиях почвенный гель представляет собой два взаимопроникающих каркаса – гидрофобный и гидрофильный (рис. 3). При большем содержании воды в системе происходит «обращение структуры», а при еще большем содержании влаги начинается распад гидрофобного каркаса на отдельные участки – переход к организации по типу М/В (эмульсия масла в воде).

Следует отметить, что предложенная модель изменения структуры гумусового студня от влажности является достаточно упрощенной. Известно, что в зависимости от соотношения площадей, занимаемых в мицеллах гидрофильными и гидрофобными частями дифильных молекул, определяемых параметром  $\alpha$  (соотношением площадей гидрофильных и гидрофобных частей), меняется структура мицелл в воде [20–21]. Если параметр  $\alpha$  меньше  $1/3$ , а концентрация поверхностно-активных веществ (ПАВ) мала, то

образуются сферические мицеллы. При увеличении параметра  $\alpha$  происходит переход от цилиндрических к пластинчатым мицеллам ( $\alpha = 1$ ). Следует отметить, что эти правила установлены для систем, образованных простыми ПАВ. Для смесей ПАВ наблюдаются сложные, часто синергетические или антагонистические зависимости, ход которых заранее предсказать практически невозможно. Для почв ситуация усложняется еще больше из-за наличия в системе, кроме различных низкомолекулярных липидов, еще и высокомолекулярных ПАВ, которыми являются как белки, так в определенной степени ФК и ГК. Причем все эти вещества не являются свободными, а связаны между собой в гумусовую матрицу.

Детально разобраться во всех структурных перестройках, которые происходят в такой сложной системе, конечно невозможно. В то же время подъем на поверхность воды пленок АГС [12], а также наличие в почвах различных типов на поверхности частиц ламелярной структуры, наблюдаемое при электронно-микроскопических исследованиях, подтверждает выдвигаемые предположения.

Рассмотрим с точки зрения полученных данных и предлагаемых теоретических представлений, как в динамике может происходить распад почвенных агрегатов. В сухой почве частицы, образующие агрегаты, покрыты пленкой из армированного гумусового студня, преимущественно гидрофобной с внешней стороны. При взаимодействии с водой армированный гумусовый студень начинает набухать. При этом если органические молекулы, образующие гелевые пленки, не «сшиты» между собой с образованием трехмерной структуры, то они способны к неограниченному набуханию, и агрегаты, находящиеся в воде, будут разрушаться. При нахождении агрегата внутри почвы набухание агрегатов приведет к заполнению свободного пространства и увеличению площади контакта между агрегатами.

При замедленных структурных перестройках гелей при удалении воды из почвы или при малых их количествах поверхность агрегатов будет оставаться гидрофильной, и на водоустойчивость агрегатов при их взаи-

модействии с водой будет влиять соотношение скоростей выхода воздуха из агрегата и входа в них воды. Если гидрофильная поверхность армированного гумусового студня агрегата быстро взаимодействует с водой с образованием непроницаемого для воздуха слоя, то агрегат разрывается на мелкие отдельные оставшимся в нем воздухом, давление которого повышается при втягивании воды внутрь агрегата. Для повышения водостойчивости таких почв необходимо либо уменьшить скорость поступления в агрегаты воды, меняя гидрофильно-гидрофобные свойства поверхностной пленки, либо создавать в поверхностном слое участки устойчивого гидрофобного армированного гумусового студня, позволяющие воздуху выходить из агрегатов.

Таким образом, можно предположить существование как минимум четырех механизмов неводостойкости почвенной структуры:

1. Малое содержание армированного гумусового студня, не способное обеспечить устойчивость агрегатов при набухании в воде.

2. Большое количество армированного гумусового студня, но малое количество «сшивок» между макромолекулами.

3. Узкий спектр энергетических контактов во всем объеме почвы при отсутствии разницы в количестве «сшивок» внутри агрегата и между агрегатами.

4. Наличие на агрегатах гидрофильной, быстро набухающей и становящейся непроницаемой для воздуха гелевой пленки.

Вполне очевидно, что простое увеличение количества почвенного «клея» ни в одном из этих случаев проблемы не решит. Водостойчивость почвенной структуры обеспечивается сложной структурной организацией армированных гумусовых студней. Поэтому задачу неводостойкости структуры для каждой почвы надо решать индивидуально, выясняя ее причину и создавая или преобразовывая внутри и вокруг почвенных агрегатов гелевый слой.

При проведении данной работы и анализе результатов нам не удалось полностью избавиться от рассмотрения почвы как ста-

тичной, неизменной во времени системы. Однако почва такой системой быть не может. Перераспределение почвенной массы между агрегатами в процессах увлажнения-иссушения происходит должно если не в течение трех актов увлажнения-иссушения, то в течение ста. Следовательно, иные свойства армированных гумусовых студней, находящихся на поверхности почвенных агрегатов, должны возникать одновременно с образованием этой поверхности. В противном случае, если бы процессы стабилизации агрегатов обеспечивались не самораспадающимися-самовосстанавливающимися, а прочными «сшивками», то в процессе функционирования все почвы постепенно перешли бы в слитое состояние.

Это позволяет предположить, что усилия необходимо сконцентрировать на поиске механизма реализации самораспадающихся-самовосстанавливающихся «сшивок» в армированных гумусовых студнях в зависимости от места их нахождения – на поверхности или в объеме почвенного агрегата.

### Выводы

1. При получении торфяных клеев с аэросилом при соотношении органическое вещество торфяного клея : аэросил – 1:4 происходит самоорганизация с образованием ламеллярных структур. Введение добавок ПАВ в торфяной клей с аэросилом приводит к изменению морфологии образующихся структур.

2. Определена энергия активации процесса распада агрегатов чернозема в воде и показано, что при уменьшении размеров агрегатов энергия активации линейно возрастает.

3. Из данных рентгено-локального анализа следует, что в поверхностном слое агрегатов не наблюдается изменения содержания армированного гумусового студня по сравнению с объемом агрегатов.

4. Показано, что при многократных процессах увлажнения-иссушения не происходит перераспределения почвенной массы между агрегатами чернозема, а между агрегатами дерново-подзолистой и серой лесной почв частично происходит. Следовательно, возможно существование механизма стабилизации почвенных агрегатов за счет измене-

ния структуры гумусового студня в поверхностном слое агрегатов.

5. Проведено рассмотрение возможных перестроек гумусового студня от влажности почв.

6. На основе анализа экспериментальных и литературных данных показано, что «сшивание» органических макромолекул, по-видимому, является одним из важнейших моментов для улучшения почвенной структуры, однако следует отметить, что одним увеличением количества геля и числа «сшивков» по гелю мы проблему улучшения структуры почвы не решим. Этот процесс необходимо проводить таким образом, чтобы не возникало «сшивков» по гелю между агрегатами.

### Библиографический список

1. Шеин, Е.В. Курс физики почв / Е.В. Шеин. – М.: МГУ, 2005. 432 с.
2. Батюк В.П. Применение полимеров и поверхностно-активных веществ в почвах / В.П. Батюк. – М.: Наука, 1978. – 244 с.
3. Качинский, Н.А. Структура почвы / Н.А. Качинский. – М.: МГУ, 1963. – 99 с.
4. Кузин, Е.Н. Использование полиакриламидного полимера В-415К в земледелии / Е.Н. Кузин, Т.А. Власова, А.Ю. Кузнецов и др. – Пенза. Изд. ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА», 2004. – 197 с.
5. Вершинин, И.В. Почвенная структура и условия ее формирования / И.В. Вершинин. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1958. – 188 с.
6. Ревут, И.Б. Физика почв / И.Б. Ревут. – Л.: Колос, 1972. – 368 с.
7. Федотов Г.Н. Гелевые структуры в почвах: дисс. ... докт. биол. наук / Г.Н. Федотов. – М.: МГУ, 2006. – 345 с.
8. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.
9. Федотов, Г.Н. Коллоидные структуры в почвах / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, Г.В. Добровольский и др. // Доклады академии наук. – 2005. – Т. 404. – № 3. – С. 352–354.
10. Федотов, Г.Н. Электронно-микроскопическое исследование коллоидных структур почв / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, В.И. Путляев и др. // Доклады Академии Наук. – 2005. – Т. 403. – № 2. – С. 205–207.
11. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416 с.
12. Федотов, Г.Н. Уточнение представлений о строении почвенных гелей / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, В.И. Путляев и др. // Доклады академии наук. – 2006. – Т. 411. – № 2. – С. 203–205.
13. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1992. – 400 с.
14. Федотов, Г.Н. Гумус как основа коллоидной составляющей почв / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский // Доклады академии наук. – 2007. – Т. 415. – № 6. – С. 767–771.
15. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1990. – 325 с.
16. Семчиков, Ю.Д. Высокомолекулярные соединения / Ю.Д. Семчиков. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
17. Мичурин, Б.Н. Энергетика почвенной влаги / Б.Н. Мичурин. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 140 с.
18. Сидери, Д.И. Микроскопическое изучение структуры почвы в отраженном свете / Д.И. Сидери // Химизация социалистического земледелия. – 1938. – № 11. – С. 21–29.
19. Ляпунов, А.А. О рассмотрении биологии с позиции изучения живой природы как большой системы. В кн. Проблемы методологии современного исследования / А.А. Ляпунов. – М.: Мысль, 1970. – С. 184–226.
20. Сумм, Б.Д. Основы коллоидной химии / Б.Д. Сумм. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 240 с.
21. Холмберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йенссон, Б. Кронберг и др. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 528 с.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ЗАГОТОВКИ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

С.Б. ЯКИМОВИЧ, *проф. МарГТУ, д-р техн. наук,*  
М.А. ТЕТЕРИНА, *ассистент МарГТУ*

*tetatet-marya@mail.ru*

Сущность и особенности моделирования обрабатывающих транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины определяют необходимость классификации выполняемых этими системами процессов, моделей и задач оптимизации. Целью статьи является представление такой классификации.

Анализ исследований в сфере обрабатывающих транспортных систем определил вывод о том, что в мировой практике процессы и системы в рассматриваемой области моделируются на основе следующих подходов.

1. Моделирование процессов управления запасами на основе технико-экономической сущности наблюдаемых известных явлений [1, 2].

2. Выполнение формализованных описаний одних и тех же известных явлений в сфере управления запасами различными математическими методами, в том числе получающими распространение на текущий момент, например нечетких множеств [2, 13].

3. Моделирование стохастических систем мониторинга и управления [1, 2, 14].

4. Моделирование технических систем с использованием современных методов механики и параметрической оптимизации с целью снижения материалоемкости и энергоемкости и повышения производительности, надежности и т.п., исходя из ограничений на мощность, допустимые пределы конструктивных характеристик [3].

Физико-математические особенности обрабатывающих транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины могут быть отражены на основе классификационных признаков, представленных на рис. 1.

Пояснения по рис. 1 и характеристика особенностей формализации входящих в системы заготовки и первичной обработки древесины машин и устройств, а также изменяемых в этих системах запасов в соответствии с

перечисленными классификационными признаками излагаются далее.

Совмещение в одной машине обрабатывающих и транспортных функций определяет особенности выполняемого этой машиной процесса и задач его оптимизации. При отсутствии пространственного разделения процессов накопления и транспортировки [4] запасы предмета труда (в общепринятом их понимании) отсутствуют. В этой связи для обрабатывающих транспортных машин снимается необходимость решения задач по п. 1–2 представленной ранее классификации применительно к традиционным (неперемещаемым) запасам. С другой стороны, особенное значение приобретают задачи оптимизации параметров таких машин по критериям энергоемкости, металлоемкости и т.п. (п.4 классификации).

Ординарность потока предмета труда в обработке, определяемая количеством единиц, которые могут быть одновременно обработаны машиной, обуславливает используемые методы моделирования [1, 5]. В случае обработки группами поток обрабатываемого предмета труда представляется как групповой или как несколько параллельных ординарных потоков. Формализация процессов функционирования машин с ординарными потоками реализуется на основе менее трудоемких методик, сравнительно с методиками для групповых потоков, и нашла более широкое применение [4, 6].

Процессы функционирования погрузочно-разгрузочных устройств в виде отдельного модуля наиболее характерны и в достаточной степени формализованы для лесных складов [6].

Лесосечные работы предполагают, как правило, размещение погрузочно-разгрузочных устройств на одной из машин. Математическое описание функционирования используемых на лесосечных работах собирающих и разгрузочных устройств реализовано в большей части на основе подходов по п.4 классификации.

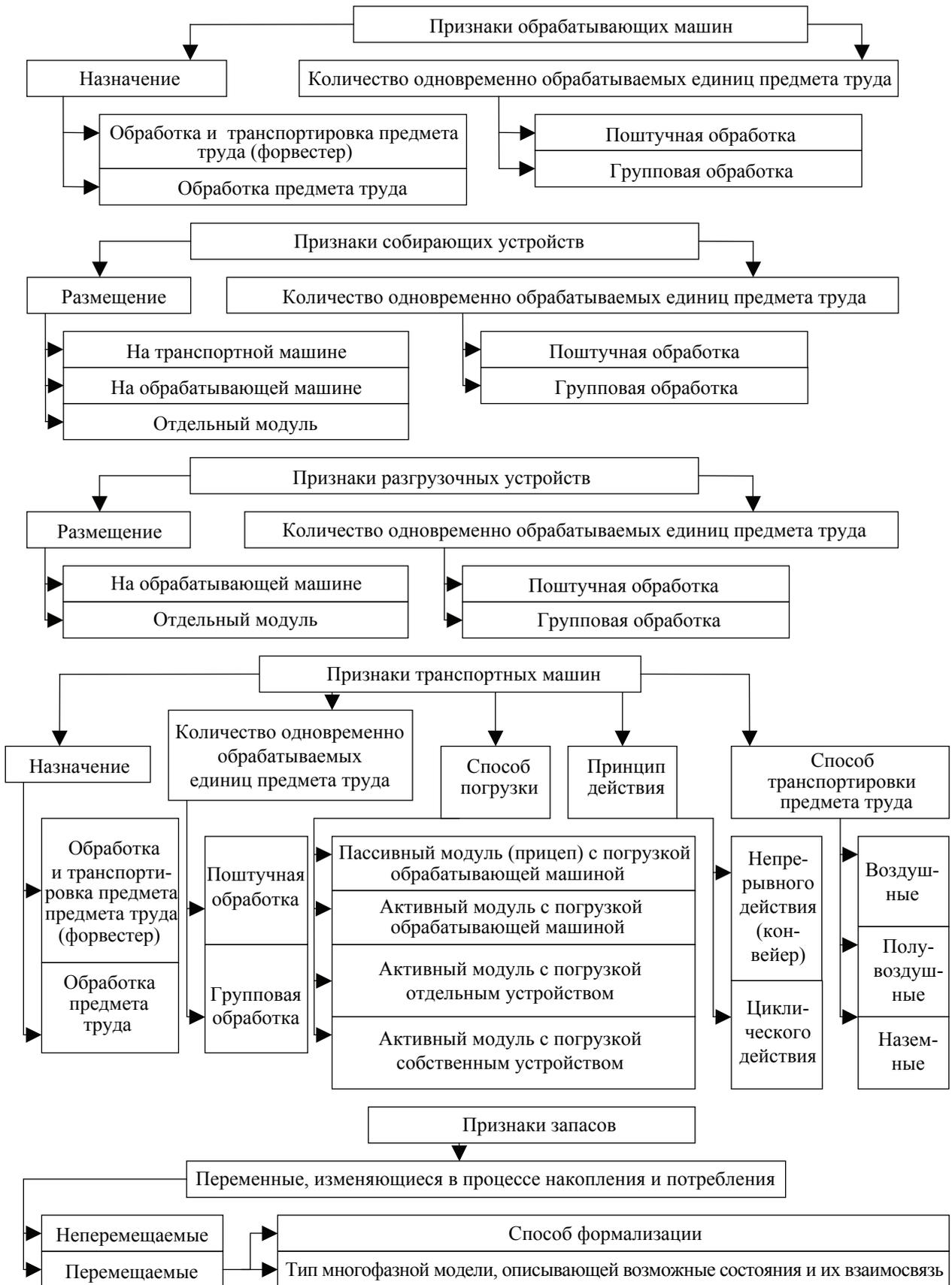


Рис. 1. Классификационные признаки обрабатывающих транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины

Потоки обрабатываемого собирающими и разгрузочными устройствами предмета труда в большей части являются групповыми и формализуются как несколько параллельных ординарных потоков [4, 6].

Транспортные устройства непрерывного действия (конвейеры) наиболее характерны для лесных складов. Потоки перемещаемого такими устройствами предмета труда являются, как правило, ординарными. Особенности формализации функционирования транспортных устройств непрерывного действия связаны также с отсутствием операции холостого хода, что определяет процесс как разомкнутый – выходящий поток транспортировки не является входящим для обрабатывающей машины, получающей предмет труда, который затем перемещается [6].

Способ транспортировки обуславливает необходимость решения задач оптимизации с учетом экологического воздействия транспортной машины на лесную среду [7].

Технологический процесс заготовки и обработки древесины предполагает обрабатываемые и транспортные операции с созданием управляемых запасов. Теория запасов [1, 2] моделирует межоперационные и иные виды запасов, которые могут быть классифицированы как перемещаемые. Иначе это запасы, накапливаемые и потребляемые во времени в неизменяемых, заранее заданных координатах пространства. В обрабатывающих транспортных системах заготовки и обработки древесины транспортные машины перемещают емкости с предметом труда, которые могут рассматриваться как перемещаемый запас [8, 9, 11, 12, 15], накапливаемый и потребляемый в координатах не только времени, но и пространства.

Таким образом, в соответствии с изменяющимися в процессе накопления и потребления запаса переменными запасы могут классифицироваться следующим образом:

1. Неперемещаемые – накапливаемые и потребляемые в координатах времени;
2. Перемещаемые – накапливаемые и потребляемые в координатах времени и пространства (определяемых расстоянием перемещения).

Подробная классификация перемещаемых запасов приведена в [10]. Данная классификация частично может быть распространена на перемещаемые запасы. Однако для перемещаемых запасов она не является полной в связи с наличием новых признаков.

Накопление и транспортировка (потребление) перемещаемого запаса реализуется в процессе функционирования обрабатывающей транспортной системы. Поэтому теоретическое описание перемещаемых запасов выполняется на основе методов моделирования обрабатывающих транспортных систем. Подходы к моделированию запасов в обрабатывающих транспортных системах, перечисленные в классификации (п. 1–2), выделены на основе анализа исследований для перемещаемых запасов. С введением необходимых корректировок подход по п.2 (подход по п.1 в связи с изложенными особенностями не рекомендуется) может быть рекомендован для моделирования процессов с перемещаемыми запасами.

Используемая для формализации модель определяет возможность описания тех или иных физико-математических особенностей перемещаемого запаса. В связи с этим целесообразно классифицировать способы формализации перемещаемых запасов с выделением используемых типов моделей и соответствующих особенностей математического описания.

Классификация способов формализации перемещаемых запасов может иметь следующий вид.

I. Формализация процессов изменения перемещаемых запасов с использованием средних значений параметров процесса изменения запаса, определяемых на детерминированных моделях [8, 11, 15].

1. Теоретическое описание – на основе декомпозиции – процесса изменения перемещаемого запаса в координатах пространства и времени по маршруту технологического процесса на детерминированных простейших аналитических моделях [8, 15].

2. Формализация процессов управления запасами на основе детерминированных пилообразных моделей динамического программирования с включением фактора перемещаемых запасов [11, 15].

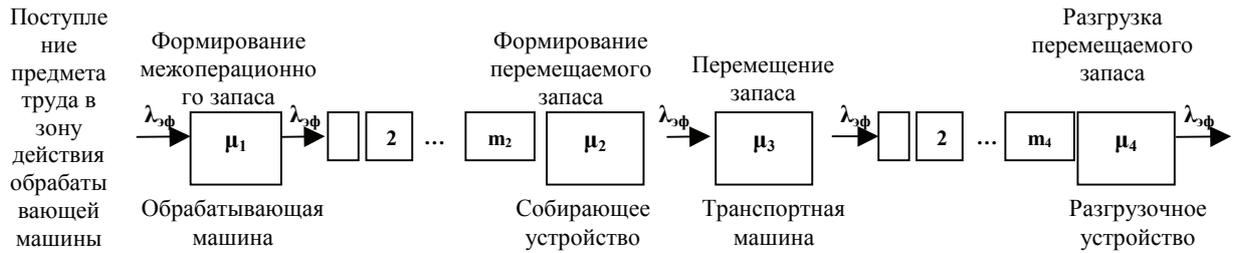


Рис. 2. Схема многофазной обрабатывающей транспортной системы с последовательными каналами

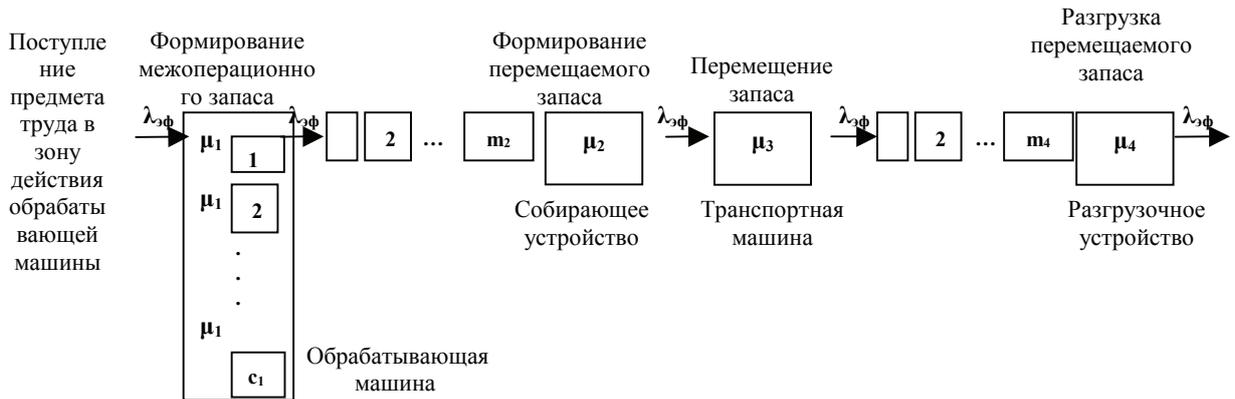


Рис. 3. Схема многофазной обрабатывающей транспортной системы с групповым потоком обработки предмета труда

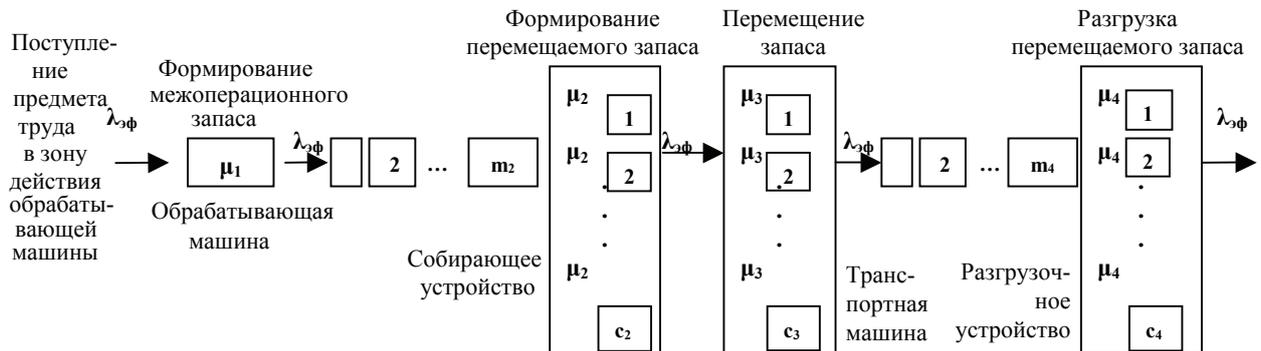


Рис. 4. Схема многофазной обрабатывающей транспортной системы с групповыми потоками погрузки, транспортировки и разгрузки предмета труда

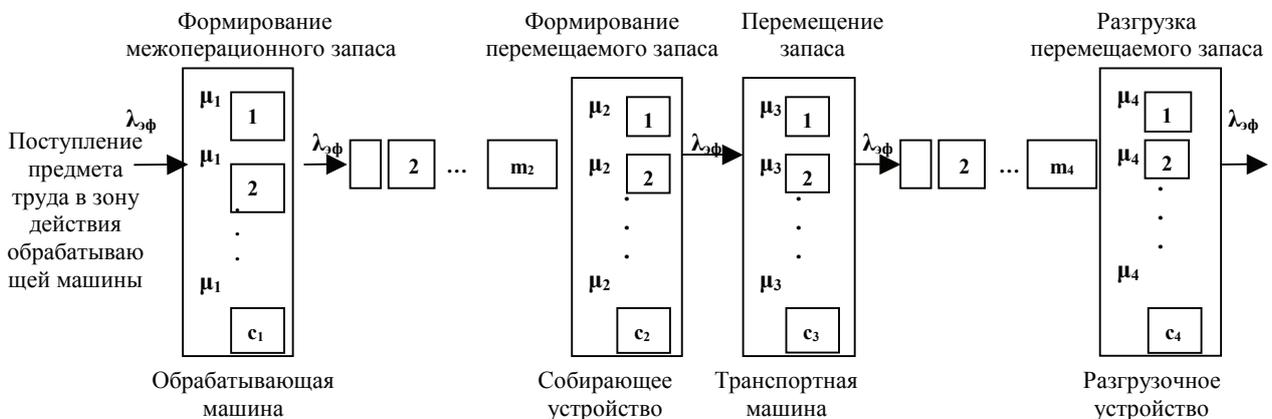


Рис. 5. Схема многофазной обрабатывающей транспортной системы с групповыми потоками обработки, погрузки, транспортировки и разгрузки предмета труда

II. Формализация перемещаемых запасов на моделях, отражающих физическую сущность стохастических процессов функционирования обрабатывающих транспортных систем в контексте накопления и потребления запасов предмета обработки [9, 12, 15].

1. Моделирование перемещаемых запасов как блока обслуживания, очереди, параллельных каналов обслуживания однофазных систем массового обслуживания [9].

2. Формализация перемещаемых запасов с разработкой инвариантных дифференциальных или конечно-разностных уравнений состояния [12, 15].

2.1. Моделирование перемещаемых запасов как блока обслуживания, очереди, параллельных каналов обслуживания или комбинаций перечисленных элементов многофазных систем массового обслуживания.

2.2. Математическое описание перемещаемых запасов как объемов поставок или размеров заказываемых партий в стохастических моделях динамического программирования.

Тип модели многофазной системы массового обслуживания, используемой для формализации процесса изменения перемещаемого запаса, определяется особенностями преобразования потоков предмета труда при функционировании обрабатывающей транспортной системы. Погрузка и потребление (транспортировка) перемещаемого запаса может представлять собой изменение ординарного потока с возрастанием интенсивности или с преобразованием в групповой, а также преобразование группового потока с возрастанием интенсивности и (или) числа каналов. В процессе разгрузки перемещаемого запаса происходит обратное изменение: для группового потока – снижение интенсивности (числа каналов) или преобразование в ординарный, для ординарного – снижение интенсивности. Схемы систем, соответствующие возможным комбинациям преобразуемых потоков, даны на рис. 2–5.

Обозначения на рис. 2–5 имеют следующий смысл:

$\lambda_{\text{эф}}$  – пропускная способность системы;  $\mu_i$  – интенсивность обслуживания требований в одном канале фазы;  $c_i$  – количество парал-

лельных обслуживающих каналов в фазе;  $m_i$  – максимально допустимая длина (по числу требований) очереди перед фазой.

При наличии в системе групповых потоков используются многофазные модели с параллельными и последовательными каналами [8, 9] (рис. 3–5), в противном случае – с последовательными каналами (рис. 2).

Количество и расположение групповых потоков (параллельных каналов) в системе определяет возможные состояния системы, переходы из одного состояния в другое, их количество, а также характер изменения потоков предмета труда. Чем больше в системе фаз с параллельными каналами и каналов в каждой фазе, тем больше состояний и переходов.

При наличии в системе только ординарных потоков (рис. 2) количество состояний и переходов минимально. Для каждой фазы системы возможны два состояния – канал занят или свободен, а при наличии блока ожидания еще два состояния – наличие или отсутствие очереди. Все возможные переходы системы из одного состояния в другое заключаются в освобождении одной фазы и заполнении другой (смежной) или в переходе заявок (единиц предмета труда) из блока ожидания в обслуживающий канал. Изменения потоков предмета труда в такой системе сводятся к снижению и возрастанию их интенсивности.

Системы с групповыми потоками (рис. 3–5) характеризуются не только наличием или отсутствием, но и количеством заявок в фазах. Переходы системы от одного состояния к другому, кроме перечисленных для систем с ординарными потоками, заключаются также в изменении на одну числа заявок в смежных фазах и в заполнении (освобождении) фазы с одним каналом с одновременным изменением числа заявок в фазе с несколькими каналами. Причем виды переходов и изменения потоков предмета труда определяются расположением фаз с параллельными каналами в системе относительно друг друга. При смежном расположении в системе фаз с параллельными каналами (рис. 3–5) взаимные переходы заявок из одной фазы в другую представляют собой изменение числа заявок в фазах, а изменения

потоков – преобразование группового потока с изменением его интенсивности и (или) числа заявок в потоке. Расположение фазы с параллельными каналами позади (впереди) фазы с одним каналом (рис. 2–3, 5) определяет переходы заявок между фазами, представляющие собой заполнение (освобождение) фазы с одним каналом и изменение числа заявок в фазе с несколькими каналами с преобразованием ординарного потока в групповой или наоборот.

С учетом изложенного классификация многофазных обрабатывающих транспортных систем, функционирующих с перемещаемыми запасами, может иметь следующий вид.

I. По типу обслуживающих узлов и потоков предмета труда:

1. Многофазные системы с ординарными потоками и последовательными каналами (рис. 2);

2. Многофазные системы с ординарными и групповыми потоками и параллельными и последовательными каналами (рис. 3–4);

3. Многофазные системы с групповыми потоками и параллельными и последовательными каналами (рис. 5).

II. По способам преобразования потоков предмета труда:

1. Многофазные системы со смежным расположением фаз с параллельными каналами и преобразованием групповых потоков предмета труда с изменением интенсивности (числа заявок) (рис. 4–5);

2. Многофазные системы со смежным расположением фазы с параллельными каналами и фазы с одним каналом и с преобразованием групповых потоков предмета труда в ординарные и наоборот (рис. 3–4);

3. Многофазные системы с последовательными каналами и преобразованием ординарных потоков предмета труда с изменением интенсивности (рис. 2).

III. По видам переходов системы из одного состояния в другое:

1. Многофазные системы со смежным расположением фаз с параллельными каналами и взаимными переходами заявок из одной фазы в другую, заключающимися в изменении числа заявок в фазах (рис. 4–5);

2. Многофазные системы со смежным расположением фазы с параллельными каналами и фазы с одним каналом и переходами заявок между фазами, представляющими собой заполнение (освобождение) фазы с одним каналом и изменение числа заявок в фазе с несколькими каналами (рис. 3–4);

3. Многофазные системы с последовательными каналами и переходами заявок между фазами, представляющими собой заполнение (освобождение) фаз (рис. 2).

### Выводы

1. Представление емкости с предметом труда, перемещаемой транспортной машиной в обрабатывающей транспортной системе заготовки и первичной обработки древесины как перемещаемого запаса определило выделение нового классификационного признака запасов в этих системах.

2. Выделенный новый классификационный признак запасов в обрабатывающих транспортных системах заготовки и первичной обработки древесины – изменяющиеся в процессе накопления и потребления запаса переменные, отображает изменение запаса не только во времени, но и в пространстве (а именно в координатах расстояния перемещения).

3. В соответствии с новым признаком запасы в обрабатывающих транспортных системах заготовки и первичной обработки древесины могут быть классифицированы как перемещаемые и неперемещаемые.

4. Изложенные способы математического описания систем с перемещаемыми запасами являются основой формализации нового вида запасов (перемещаемых) в системах заготовки и первичной обработки древесины, что определяет дополнение существующей классификации запасов в названных системах.

### Библиографический список

1. Вагнер, Г. Основы исследования операций / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1973. – Т.2 – 504 с.
2. Рыжиков, Ю.И. Теория очередей и управления запасами / Ю.И. Рыжиков. – СПб: Питер, 2001. – 384 с.
3. Системы автоматизированного проектирования: В 9-ти кн. Кн.4. Математические модели технических объектов / В.А. Трудоношин, Н.В. Пивоваров.

- ва; под ред. И.П. Норенкова. – М.: Высшая школа, 1986. – 160 с.
4. Якимович, С.Б. Теория синтеза оптимальных процессов: проектирование систем заготовки и обработки древесины и управление ими / С.Б. Якимович. – МарГТУ – Пермь: Изд-во Пермской ГСХА, – 2006. – 247 с.
  5. Саати, Т. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т. Саати. – М.: 1965.
  6. Редькин, А.К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок: Уч. для вузов / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – М.: МГУЛ, 2005. – 504 с.
  7. Котиков, В.М. Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / В.М. Котиков. – М., 1995. – 40 с.
  8. Якимович, С.Б. Моделирование и оптимизация процесса накопления и потребления перемещаемого запаса / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы VI международной научно-практической конференции. Ч. 4. – Новочеркасск: Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, 2006. – С. 63–67.
  9. Якимович, С.Б. Рейсовая нагрузка лесозаготовительных машин / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2006. – № 6. – С. 95–97.
  10. Климушев, Н.К. Управление запасами лесоматериалов / Н.К. Климушев // Лесопромышленная логистика и информационные системы лесного комплекса: Материалы международной научно-технической конференции. – СПб.: СПбГЛТА, 2003. – С. 98–103.
  11. Якимович, С.Б. Оптимизация рейсовой нагрузки форвадера / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып.180. – СПб.: СПбГЛТА, 2007. – С. 126–132.
  12. Якимович, С.Б. Моделирование стохастических обрабатывающе-транспортных систем с перемещаемыми запасами / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2007. – № 6. – С. 71–77.
  13. Buckley, James J. Fuzzy Probabilities /James J. Buckley, 2005. – 164 pp.
  14. Sallesa, J.L.F. An impulse control problem of a production model with interruptions to follow stochastic demand /J.L.F. Sallesa, J.B.R. do Val // European Journal of Operational Research. Volume 132, Issue 1, 2001. – P. 123-145
  15. Yakimovich, S.B. Transporting stocks logistics/ M.A. Teterina, S.B. Yakimovich//Trans&MOTAUTO '07: XIV international scientific-technical conference materials – Ruse, Bulgaria, 2007. – pp. 68-72

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ

В.А. БОРИСОВ, *ст. преподаватель каф. транспорта леса МГУЛ*

*vborisov@mgul.ac.ru*

Значительный рост интенсивности и скоростей движения на лесовозных автомобильных дорогах (ЛАД) привел к увеличению дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Большое количество ДТП наблюдается на кривых в плане малого радиуса (от 11 до 19 % от общего числа) [5, 3], причем увеличение ДТП происходит с уменьшением радиуса кривых в плане. Особенно значительно увеличивается число происшествий на кривых в плане с радиусом 200 м и менее.

По статистическим зарубежным данным, количество происшествий на кривых с радиусом 100–150 м в 7–9 раз больше, при 150–300 м в 4–5 раз больше, чем при более безопасных радиусах в 300–500 м.

Неудачно запроектированные радиусы кривых в плане вызывают снижение скоростей. Поэтому кривые в плане малого радиуса

должны обеспечивать плавное снижение скоростей движения автомобилей и автопоездов при переходе с одного прямого направления на другое.

Наличие в плане малого радиуса приводит к снижению транспортно-эксплуатационных качеств дороги. Это можно объяснить следующими причинами:

– при движении автомобиля или автопоезда по кривой появляется дополнительная поперечная сила (центробежная сила), которая ухудшает условия работы покрытия и колес автомобилей и автопоездов;

– наличие поперечной силы приводит к снижению устойчивости автомобиля или автопоезда и, следовательно, уменьшает безопасность дорожного движения, так как появляется возможность бокового скольжения или опрокидывания транспортного средства;

– уменьшается безопасность движения вследствие ухудшения в ряде случаев условий видимости пути;

– снижается удобство движения, так как при переходе автомобиля или автопоезда с прямой на кривую и с кривой на прямой участок дороги водителю требуется своевременно произвести необходимый поворот, оставаясь на требуемой полосе проезжей части;

– при переходе автомобиля или автопоезда с прямого направления движения на кривую в плане малого радиуса у пассажиров и водителя транспортного средства возникает неприятное ощущение опасности, что также снижает удобство движения;

– разезд двух встречных автомобилей или автопоездов на кривых в плане малого радиуса сложнее, чем на прямых участках – ширина проезжей части кривых в плане должна быть больше в связи с тем, что ширина полосы, занимаемая автомобилем на кривой, больше, чем на прямом участке.

Для повышения удобства и безопасности движения транспортных средств автомобильная дорога на закруглениях имеет конструктивные особенности:

– радиусы кривых в плане назначают расчетом по заданной скорости [1]

$$R = v^2 / 127 \cdot (\gamma_2 \varphi_2 + i_b), \quad (1)$$

где  $R$  – радиус кривой в плане, м;

$v$  – расчетная скорость движения, км/ч;

$i_b$  – величина поперечного уклона проезжей части на кривой в плане, принимаемая в соответствии со СНиП, %;

$\gamma_2 \varphi_2$  – коэффициенты сцепления в поперечном направлении.

Причем коэффициент  $\gamma_2$  характеризует степень использования сцепного веса, зависящего от ровности покрытия.

– при входе на кривую в плане и выходе из нее устраиваются переходные кривые, поперечный уклон проезжей части делают односкатным (устраивают вираж);

– обеспечивают необходимую видимость пути расчисткой местности с внутренней стороны кривой в плане от всякого рода препятствий, производят уширение проезжей части.

При проектировании дорог обычно считают, что на кривых в плане скорость

определяется только устойчивостью автомобиля или автопоезда, предлагая этим самым режим движения транспортных средств, не вполне соответствующий наблюдаемому в действительности. Для оценки достоверности существующих расчетных схем и эффективности мероприятий, устраиваемых на кривых в плане малых радиусов в УГТУ, были проведены наблюдения за режимами движения транспортных средств на кривых.

По данным наблюдений была выявлена зависимость влияния радиусов кривых на скорость движения и построены графики скоростей движения на кривых разных радиусов (рис. 1). Для наглядности скорости движения выражены в функции кривизны величины, обратной радиусу. Проведенный анализ этих зависимостей показывает, что между скоростями проезда кривых и кривизной существует линейная зависимость (линий 1, 2, 3), в то время как согласно нормам на проектирование дорог (линии I и II) она должна быть криволинейной. Близкие к единице коэффициенты корреляции  $r$ , полученные при обработке данных наблюдений, свидетельствуют о наличии линейной зависимости между наблюдаемыми скоростями и кривизной.

На рассматриваемом графике линией 1 показана допустимая по техническим условиям скорость для соответствующих радиусов при нормальном двускатном профиле и коэффициенте поперечной силы  $\mu = 0,15$ . Линия 2 соответствует допустимым скоростям при тех же условиях, но при устройстве на кривых виражей с максимальным уклоном 60 %. Скорости, которые характеризуют линии 1 и 2, можно назвать теоретическими, поскольку они являются максимально допустимыми при соблюдении заданных расчетных предпосылок при данном уклоне виража.

Проведенное сравнение технических скоростей на кривых в плане с теоретическими скоростями при двускатном поперечном профиле (линия 1) показывает, что средние фактические скорости легковых автомобилей на кривых с радиусами менее 220 м и грузовых автомобилей на кривых с радиусами менее 170 м выше теоретических. Даже при условии устройства виража с уклоном 60 %

(линия 2) средние скорости легковых автомобилей превышают расчетные при радиусах менее 135 м, а грузовых – при радиусах менее 100 м.

На кривых с радиусами более 450 м наблюдаемые скорости ниже теоретических, а скорости быстроходных легковых автомобилей даже на прямолинейных в плане участках редко превышают 95–100 км/ч. Зависимость отражена на рис. 2.

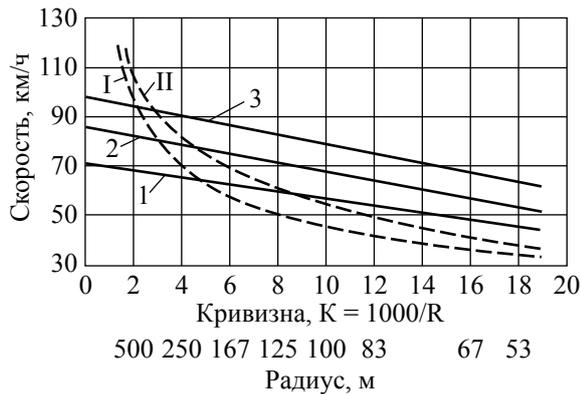


Рис. 1. Зависимость скоростей движения автомобилей от величины радиусов кривых в плане: 1 – средние скорости, 2 – скорости 85 % обеспеченности, 3 – скорости 95 % обеспеченности.

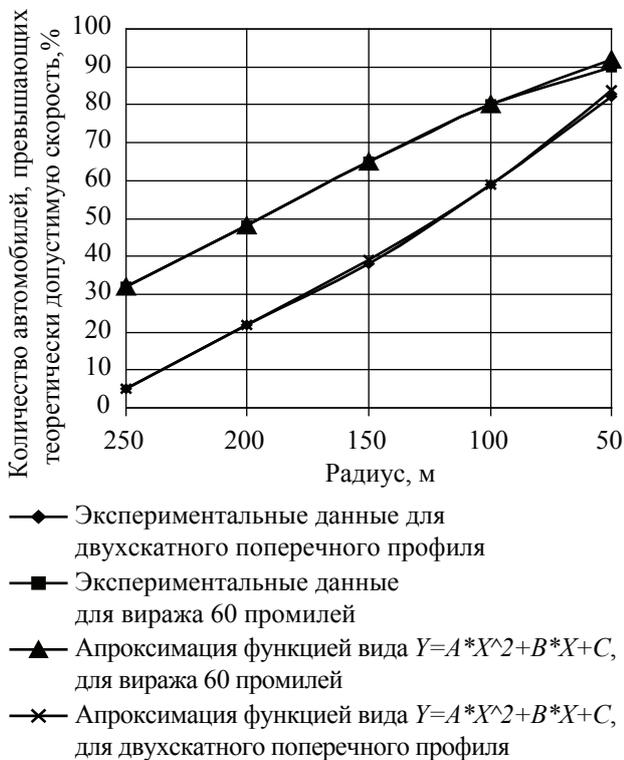


Рис. 2. Количество автомобилей, превышающих теоретически допустимую скорость на кривых (при  $\mu = 0,15$ )

Поэтому фактические скорости движения автомобилей на кривых существенно отличаются от предполагаемых в ВСН 01-82. Тенденция водителей к превышению теоретически допускаемых скоростей на кривых с радиусами менее 250 м должна учитываться при проектировании путем устройства специальных мероприятий, повышающих безопасность движения, – виражей, шероховатых покрытий, ограждений, устройства уширения проезжей части.

При переменном значении радиуса ( $R$ ) длина кривой и вид ее в перспективе зависят от величины угла ( $\alpha$ ) поворота, который влияет на характер восприятия кривой водителем. При этом рекомендуется применять тем большие значения радиусов закругления, чем больше углы поворота [3], деление углов поворота на две или более группы и в зависимости от группы предлагают увеличивать радиусы закругления с уменьшением  $\alpha$  [1], а при углах больше  $20^\circ$  применять клотоидное трассирование.

В ряде работ [1, 4] увязывается  $R$  и  $\alpha$ , исходя из условия обеспечения достаточного расстояния видимости участков кривых в пределах угла острого зрения и создания условий для проезда закруглений без снижения скорости. При этом учитывают изменение дальности сосредоточения внимания (ДСВ) водителя с увеличением скорости движения [1, 3]. Для этого предлагается назначать элементы кривых из соображения, что радиусы, обеспечивающие видимость зрения  $20^\circ$ , не вызовут снижения скорости. Сочетание радиусов и углов поворота согласно этому предложению приведено в табл. 1.

В работе [1, 2] предлагается нормировать угол поворота с таким расчетом, чтобы граница острого зрения водителя не отходила от траектории движения автомобиля на расстояние больше боковой видимости. Из этого предположения устанавливается связь угла поворота трассы с радиусом (табл. 2). Однако выполнение рекомендации табл. 1 и 2 возможно только в условиях равнинного рельефа.

Т а б л и ц а 1

$v$ , км/ч	40	60	80	96
$L$ ДСВ, м	200	320	450	550
$R$ , м	580	920	1300	1600

Т а б л и ц а 2

$v_p$ , км/ч		150	120	100	80	60	40
$\alpha_{max}$	легк.	10°24'	7°24'	14°14'	24°12'	–	–
	груз.	–	–	–	20°34'	28°16'	36°56'
$R_{min}$	легк.	27800	4350	1710	750	–	–
	груз.	–	–	–	850	370	370

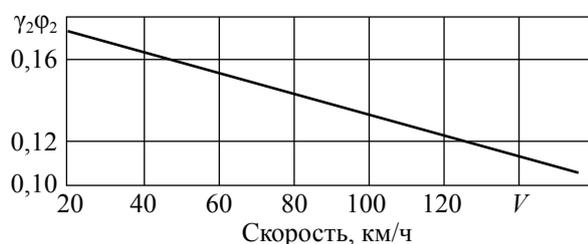


Рис. 3. Расчетные значения используемой доли коэффициента сцепления  $\gamma_2\phi_2$  в поперечном направлении (коэффициент  $\gamma_2$  характеризует степень использования сцепного веса, зависящего от ровности покрытия)

Т а б л и ц а 3

$v$ , км/ч	20	30	40	50	60	70	80
$R$ без виража, м	25	56	100	155	215	290	385
$R$ с виражем, м	13	33	61	95	133	178	240

Целый ряд работ посвящен вопросам проектирования автомобильных дорог и участков горизонтальных кривых с учетом зрительного восприятия [4, 5] и психофизиологических характеристик работы водителя.

Движение на кривых малого радиуса рассматривается в работах Б.С. Муртазина и В.П. Варламкина. Но в этих работах упор делается на изучение влияния элементов плана дороги на водителя с точки зрения психологического воздействия. Изучается эмоциональная напряженность водителя на участках кривых малого радиуса и оценивается кожно-гальваническая реакция, распределение взгляда водителя и на основе их и безопасность движения.

В большинстве случаев работы нацелены на нормирование параметров трассы из условия наличия большого расстояния видимости, вызывающего оптическое искажение перспективы дороги.

Исследования горизонтальных кривых малого радиуса не могут основываться на этих предпосылках. На кривых малого радиуса видимость, как правило, меньше дальности сосредоточения внимания, и раз-

работка критериев нормирования параметров трассы должна проводиться на основе требований устойчивости и комфортабельности движения.

Влияние горизонтальных кривых на скорость движений одиночных автопоездов приводится в работе М.М. Макаренко. Но соотношение между скоростью движения и радиусом горизонтальной кривой оценивается формулой (1), где  $\mu$  нормируется из условий устойчивости автомобиля против заноса и опрокидывания, а также комфортабельности и экономичности движения. При этом минимальные радиусы горизонтальных кривых принимаются из условия, что коэффициент поперечной силы  $\mu$  не должен превышать  $\gamma_2\phi_2$  согласно графику (3).

Н.П. Орнатский не рассматривает особенностей движения автопоездов на кривых, хотя и сообщает, что кроме центробежной силы « $Y$ » в сцепном устройстве действует дополнительная сила « $S$ », называемая «наездом на полуприцеп (прицеп)». Поэтому зависимость (1) после проведенных расчетов предлагается однотипной как для одиночных автомобилей, так и для автомобильных поездов (табл. 3).

Отсюда следует вывод: значения радиусов горизонтальных кривых для автопоездов следует принимать большими, чем указанные в табл. 3, и минимальный радиус при условии движения автомобильных поездов со средней скоростью 60 км/ч может быть принят равным 500 м. Такая рекомендация не является убедительной с точки зрения нормирования элементов плана и не может быть принята без глубоких исследований особенностей движения автопоездов.

Работа М.М. Макаренко является единственной, где делается попытка оценить режимы движения автопоездов с разработкой требований к назначению элементов плана и профиля автомобильных дорог. В то же вре-

мя автор не рассматривает конструктивные особенности автопоездов, а ограничивается только наблюдениями за режимом движения.

Без изучения и оценки конструктивных особенностей автопоездов нельзя обоснованно говорить о разработке требований к элементам плана и профиля автомобильных дорог.

Анализ работ показывает, что исследования направлены на совершенствование конструктивных параметров двигателей, подвески, тормозных механизмов, других агрегатов автомобильных поездов, на повышение надежности работы узлов и агрегатов транспортных средств и т.д.

Для совершенствования норм на проектирование элементов автодорог большое значение имеет оценка тормозной динамики автомобильных поездов.

Среди работ, посвященных движению автомобильных поездов, большая группа посвящена совершенствованию тормозных качеств автомобильных поездов. Одним из основных вопросов является регулирование тормозных сил между осями автопоезда. Исследование динамики торможения автомобилей и автопоездов проводится на основе анализа устойчивости их движения при торможении с заблокированными колесами одной, нескольких или всех осей.

В работах Е.А. Чудакова исследуется боковая устойчивость двухосного автомобиля с жесткими колесами. Отмечается, что боковая устойчивость автомобиля при торможении определяется устойчивостью его задней оси. В случае начала боковых скольжений задней оси возникает прогрессирующий занос автомобиля, вызывающий потерю устойчивости. Выводятся количественные критерии, определяющие боковую устойчивость тормозящего автомобиля, даются рекомендации, направленные на улучшение устойчивости движения.

В работах А.Б. Гредескула исследуется динамика торможения седельных автопоездов, теоретически исследуются и разрабатываются выражения для реакций на колесах осей автопоезда в зависимости от общей тормозной силы. Эти выражения являются основой для анализа распределения тормозных сил между осями тягача и полуприцепа и раз-

работки рекомендаций по их рациональному выбору. Распределение тормозных сил между осями автопоезда исследуются исходя из условия возникновения нарастающего заноса и опрокидывания автопоезда.

В ряде работ А.С. Брыкова, Л.Л. Борисова также рассматриваются вопросы распределения и регулирования тормозных сил на осях.

Для предотвращения заноса и складывания автомобильных поездов необходимо исследование динамического взаимодействия между звеньями. Этому посвящены работы И.М. Бендаса и др. авторов. В работе И.М. Бендаса наиболее полно излагаются исследования динамического взаимодействия звеньев, относительного перемещения звеньев автопоезда с различными тормозными диаграммами, влияния на тормозную динамику усилия в сцепном устройстве.

Последнее обстоятельство играет особую роль. Величина и направление действия усилия в сцепном устройстве существенно влияет на величины реакций на колесах автопоезда, что в некоторых условиях может привести к прогрессирующему заносу осей тягача или прицепа при значительно меньших тормозных усилиях, чем для одиночного автомобиля в таких условиях.

Это обстоятельство важно и при назначении элементов плана и профиля автомобильных дорог с учетом движения автомобильных поездов, так как позволяет учесть особенности движения автопоездов при торможении, т.е. экстремальные условия, исходя из которых и ведется расчет элементов плана и профиля.

Таким образом, исследования движения автомобильных поездов в основном ведутся в направлении совершенствования их конструкций, узлов и агрегатов, методов эксплуатационной надежности и т.д.

Для целей проектирования и строительства автомобильных лесовозных дорог исследования по движению автомобильных поездов почти не проводились.

Нормирование геометрических элементов ЛАД до сих пор ведется исходя из движения одиночного грузового автомобиля, без учета и анализа движения автопоездов.

В настоящее время, при наличии большого количества исследований по движению автомобильных поездов, по расчету параметров тормозной динамики и взаимодействию их звеньев есть возможность оценить и разработать требования к назначению элементов плана и профиля ЛАД с учетом движения автопоездов.

Кривые в плане, в особенности кривые малого радиуса, значительно снижают пропускную способность ЛАД. Существенную роль в этом играет ширина проезжей части. Действующая на кривых центробежная сила усложняет управление автомобилями и автопоездами, а неизбежные отклонения от круговой траектории заставляют водителя быть более внимательным при встречных разъездах. Поэтому на кривых в плане малого радиуса ширина проезжей части должна быть больше, чем на предшествующих прямолинейных участках дорог как за счет увеличенных зазоров безопасности между кузовами встречных автомобилей и автопоездов, так и за счет несовпадения траекторий движения передних и задних колес.

Исследованию траекторий движения автомобилей и автомобильных поездов на горизонтальных кривых, распределению транспортных средств по ширине проезжей части дорог посвящен ряд работ.

В большинстве исследований назначение величины уширения полосы рассматривают из условия обеспечения той же величины зазора между автомобилями, что и при движении на прямых участках. По формуле Д.П. Великанова величина уширения приближенно может быть определена зависимостью

$$a = L^2 / 2R. \quad (2)$$

Такая же зависимость рекомендуется в исследованиях, проводимых в МАДИ, в учебной литературе. Справочник инженера дорожника [4] также рекомендует для приближенных расчетов зависимость (2).

Эта формула учитывает необходимость уширения из геометрических соображений. Наблюдения распределений по ширине проезжей части показывают, что на величину зазора безопасности влияет скорость движения транспортных средств. По данным Н.Б. Афанасьева поправка на скорость для участков гори-

зонтальных кривых равна  $0,0075v$ . По данным СоюзДорНИИ эта поправка выражается  $0,1 \cdot v / \sqrt{R}$ . В других литературных источниках [1, 2] приводятся сходные зависимости:  $0,05 \cdot v / \sqrt{R}$ ;  $0,108 \cdot v / \sqrt{R}$ .

В работе [3] проводится сравнение зазоров безопасности, определенных на прямолинейных участках и на горизонтальных кривых. Сравниваются зависимости, полученные на основе экспериментальных работ:

зависимость М.С. Замахаева

$$2x = 1,0 + 0,005(v_1 + v_2), \quad (3)$$

и зависимость, полученная для участков горизонтальных кривых

$$2x = 1,0 + 0,0075(v_1 + v_2). \quad (4)$$

В результате сравнения определяется величина уширения на горизонтальных кривых

$$\Delta B = (L^2 / R) + 0,0075v. \quad (5)$$

При оценке движения на горизонтальных кривых авторы верно учитывают влияние ширины проезжей части на допускаемые при встречах скорости автомобилей и предлагают рассчитывать величины уширения в зависимости от скоростей, допускаемых при встречах без съезда на обочины.

Отмечая принципиально верную постановку задачи, необходимо отметить, что такой подход необходим при транспортно-эксплуатационной оценке участков дорог, где средняя скорость движения потоков автомобилей является определяющим фактором. При назначении геометрических элементов с точки зрения максимальных скоростей правильнее использовать скорости 95 % обеспеченности, предполагая отсутствии влияния обочин, бордюров и т.п. Исследования траекторий движения автомобильных поездов проводились рядом авторов [2, 5].

При движении автопоездов требуется дополнительное уширение на горизонтальных кривых по причине несовпадения более сложных траекторий движения тягача и сцепных звеньев. Расчет уширений при движении автопоездов ведется, как правило, из условия геометрического расположения автопоезда на полосе движения [5].

Для автопоездов, так же как и для одиночных автомобилей, характерно влияние скорости на величину зазора безопасности.

Наблюдения за движением автомобильных поездов показывают, что зазоры безопасности «х» для автопоездов при встрече с другими транспортными средствами, как правило, выше, чем для одиночных грузовых автомобилей и на участках горизонтальных кривых и на прямолинейных горизонтальных участках. При достаточно широких и укрепленных обочинах опасность съезда с проезжей части не так сильно влияет на водителя, как опасность столкновения с тяжелым, широким и длинным автопоездом.

Во время движения на кривых на автопоезд действуют поперечные силы статического характера (влияние радиуса кривой и поперечного уклона) и динамического, вызванные действием неровностей.

$$a = \left( R_M - \frac{B_M}{2} \right) - \left( \sqrt{R_M^2 - L_n^2 - \frac{b}{2}} \right), \quad (6)$$

$$v_{\max} = R - \sqrt{R^2 - (U_H + a_1)^2 + U^2 - d^2 - a_2^2}, \quad (7)$$

$$P = P - \sqrt{R^2 - W^2} = \frac{W^2}{2R} + \frac{W^4}{8R^3} + \frac{W^6}{16R^5} + \dots, \quad (8)$$

$$W_Z = \sqrt{W_o^2 - I_n^2 - I_{d1}^2 - I_1^2}, \quad (9)$$

$$I = 2 \left[ R - \frac{k}{2} - \left( \sqrt{R^2 - L^2 - \frac{k^2}{2}} \right) - Q \right], \quad (10)$$

где  $a$ ,  $v_{\max}$ ,  $P$ ,  $W_Z$  и  $I$  – расчетные значения уширения проезжей части.

Ровность в поперечном направлении оказывает также существенное влияние, так как значительные колебания поперечных уклонов проезжей части могут привести к росту величин поперечных ускорений и возрастанию динамических габаритов автопоездов.

Обследования, проведенные в ВГЛТА, показывают, что свыше 50 % существующих ЛАД имеют неудовлетворительную ровность в продольном и поперечном направлениях. Поэтому динамические габариты автопоездов, образующиеся в определенных условиях поперечной ровности покрытия, должны учитываться и при расчетах уширения на горизонтальных кривых.

Таким образом, режим движения автомобильного поезда отличается от режима движения одиночного грузового автомобиля. Конструктивные параметры, приводящие к колебаниям прицепов и полуприцепов, к

изменению их тягово-динамических характеристик предъявляют свои требования к назначению элементов плана автомобильных дорог.

Для оценки транспортно-эксплуатационных качеств ЛАД необходимо: изучение и анализ методов оценки динамического взаимодействия между звеньями автопоезда; анализ методов расчета тормозных сил; вертикальных и горизонтальных реакций на колесах тягача и прицепных звеньев; использование этих методов для расчета параметров горизонтальных кривых; анализ методов расчета уширения проезжей части на горизонтальных кривых; оценка влияния скорости на зазоры безопасности «х» для автомобильных автопоездов на основе данных экспериментальных наблюдений за режимами движения автопоездов на участках горизонтальных кривых; оценка влияния ровности покрытия на динамический габарит автомобильного поезда; расчет величин уширения с учетом вышеуказанных факторов для различных значений радиусов горизонтальных кривых; составление предложений по назначению элементов плана и профиля автомобильных дорог с учетом движения автомобильных поездов на участках горизонтальных кривых.

### Библиографический список

1. Некрасов, В.К. Эксплуатация автомобильных дорог: учебник для вузов. –2-е изд., перераб. / В.К. Некрасов, Р.М.Алиев. – М.: Высшая школа, 1983. – 287 с.
2. Подольский, В.П. Охрана окружающей среды при строительстве и ремонте автомобильных дорог: справочная энциклопедия дорожника (СЭД) Т.VIII / В.П. Подольский, В.Г. Артюхов, И.Е. Евгеньев и др.; под ред. В.П. Подольского. – М.: Информавтодор, 2008. – 503 с.
3. Луман, В.В. Развитие транспортной инфраструктуры – это больше, чем экономическая задача / В.В. Луман // Российская Федерация сегодня. – 2004. – № 5.
4. Рябова, О.В. Совершенствование методов оценки транспортно-экологических качеств автомобильных дорог: Монография / О.В. Рябова, Е.В. Кондрашова, А.В. Скрыпников. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – 277 с.
5. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог: монография / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1984. – 287.

## УЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ И АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

В.А. БОРИСОВ, *ст. преподаватель каф. транспорта леса МГУЛ*

*vborisov@mgul.ac.ru*

Согласно теории автомобиля устойчивость на кривой обеспечена, если при неравномерном движении у колес задней ведущей оси остается достаточная сила сцепления в поперечном направлении.

Анализ существующих критериев устойчивости автомобиля [1, 3, 4], применяемых в проектировании дорог, показывает, что наиболее целесообразно использовать критерий Е.А. Чудакова, который позволяет оценить параметры кривой при заданной интенсивности торможения, сцепных свойствах покрытия и конструкции расчетного автомобиля без проскальзывания или пробуксовывания внутреннего разгруженного колеса задней оси.

Движение на кривой рассматривается с позиции устойчивости против заноса, возникающего при неодинаковой загруженности колес ведущей оси. Причем оценка параметров, характеризующих устойчивость против заноса, показывает, что в режиме торможения требования к назначению элементов кривых должны быть более жесткие, чем при условии установившегося движения. Это особенно важно для автомобильных поездов, у ко-

торых в режиме торможения возникают силы и реакции сжатия в сцепке, понижающие устойчивость автопоезда, что не характерно при режиме установившегося движения, когда тягач и прицепные звенья находятся в растянутом и нейтральном положениях.

Ниже приводится расчет, представляющий общий случай решения для наиболее массового типа автопоездов. Нормальные реакции дороги на осях автопоезда при торможении определяются из уравнений статики. Схема сил показана на рис. 1. При этом предполагается, что в сцепном устройстве усилие сжатия  $Q$ .

Уравнения равновесия для тягача будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} Z_1 L_T - P_{jT} h_T - G_T \cdot b_T - Qh &= 0; \\ Z_2 L_T + P_{jT} h_T - G_T \cdot a_T + Qh &= 0; \\ P_{jT} &= P_1 + P_2 - Q. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для прицепа

$$\left. \begin{aligned} Z_3 L_{\Pi} - P_{j\Pi} - G_{\Pi} \cdot b_{\Pi} + Qh &= 0; \\ Z_4 L_{\Pi} + P_{j\Pi} h_{\Pi} - G_{\Pi} \cdot a_{\Pi} - Qh &= 0; \\ P_{j\Pi} &= P_3 + P_4 + Q. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

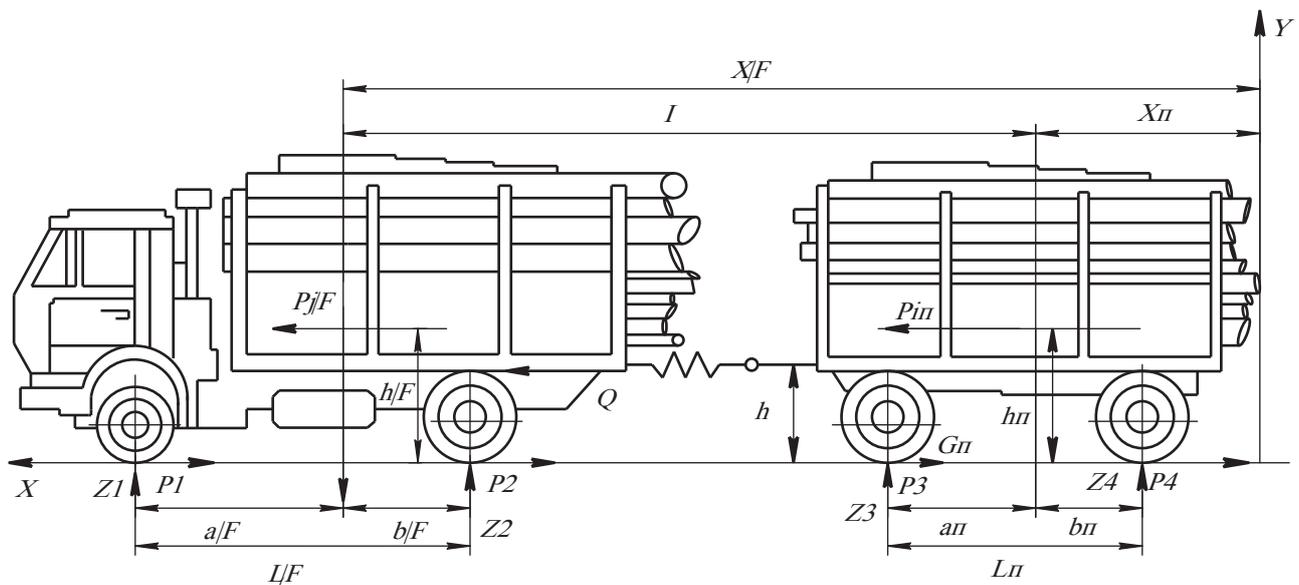


Рис. 1. Схема сил, действующих на звенья прицепного автопоезда

После преобразования получим уравнения для определения нормативных реакций на осях автопоезда

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= G \cdot \gamma_T \frac{b_T}{L_T} + \frac{1}{L_T} [P \cdot \beta_T h_T - Q(h_T - h)]; \\ Z_2 &= G \cdot \gamma_T \frac{a_T}{L_T} - \frac{1}{L_T} [P \cdot \beta_T h_T - Q(h_T - h)]; \\ Z_3 &= G \cdot \gamma_{II} \frac{b_{II}}{L_{II}} + \frac{1}{L_{II}} [P \cdot \beta_{II} h_{II} + Q(h_{II} - h)]; \\ Z_4 &= G \cdot \gamma_{II} \frac{a_{II}}{L_{II}} - \frac{1}{L_{II}} [P \cdot \beta_{II} h_{II} + Q(h_{II} - h)]. \end{aligned} \right\}, (3)$$

где  $\gamma_T$  – коэффициент распределения веса автопоезда на тягач;

$\gamma_{II}$  – коэффициент распределения веса на прицеп;

$\beta_T, \beta_{II}$  – коэффициенты распределения общей тормозной силы соответственно на тягач и прицеп.

На рис. 1 приведены силы, реакции и параметры тягача и прицепа:

$Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  – нормальные опорные реакции тягача и прицепа (Н);

$G$  – общий вес автопоезда (Н);

$G_T, G_{II}$  – общий вес тягача и прицепа (Н);

$P_1, P_2, P_3, P_4$  – тормозные усилия на осях тягача и прицепа (Н);

$P_{jT}, P_{jII}$  – силы инерции тягача и прицепа (Н);

$Q$  – усилие в сцепном устройстве (Н);

$L_T, L_{II}$  – расстояние между осями тягача и прицепа (м);

$a_T, a_{II}$  – расстояние от передней оси до центра тяжести тягача или прицепа (м);

$b_T, b_{II}$  – расстояние от задней оси до центра тяжести тягача или прицепа (м);

$h_T, h_{II}$  – высота центра тяжести тягача и прицепа (м);

$h$  – высота сцепного устройства (м).

Эти уравнения пригодны и для определения нормальных реакций на осях автопоезда, когда в сцепном устройстве действует или отсутствует усилие растяжения.

Составляются дифференциальные уравнения движения звеньев автопоезда при условии набегания прицепа на тягач (в сцепном устройстве возникает усилие сжатия  $Q$ , как показано сплошной линией на рис. 1)

$$\begin{cases} m_T \cdot \ddot{X}_T = -P_1 - P_2 + Q; \\ m_{II} \cdot \ddot{X}_{II} = -P_3 - P_4 - Q. \end{cases} (4)$$

После преобразования эта система уравнений будет иметь вид

$$\begin{cases} \ddot{X}_T = -A_T \cdot t_1 + \frac{C}{m_T} \cdot X_1; \\ \ddot{X}_{II} = -A_{II} \cdot t_1 - \frac{C}{m_{II}} \cdot X_1. \end{cases} (5)$$

Для получения дифференциального уравнения относительного перемещения звеньев автопоезда используем кинематическую зависимость между звеньями автопоезда (рис. 1)

$$X_T = X_{II} + l - X_1, (6)$$

откуда получим

$$\ddot{X}_T = \ddot{X}_{II} - \ddot{X}_1; \quad \ddot{X}_1 = \ddot{X}_{II} - \ddot{X}_T, (7)$$

где  $m_T, m_{II}$  – массы тягача и прицепа (кг);

$$m_T = G_T/g; \quad m_{II} = G_{II}/g;$$

$g$  – ускорение свободно падающего тела, м/с<sup>2</sup>;

$\ddot{X}_T, \ddot{X}_{II}$  – величины относительного перемещения тягача и прицепа на данном этапе;

$A_T, A_{II}$  – величины темпа нарастания замедления соответственно тягача и прицепа.

$$A_T = \frac{\eta_1 + \eta_2}{m_T} = \ddot{X}_T; \quad A_{II} = \frac{\eta_3 + \eta_4}{m_{II}} = \ddot{X}_{II};$$

$\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$  – коэффициенты пропорциональности величин усилий  $P_1, P_2, P_3, P_4$  времени  $t_0$

$$\eta_1 = P_1/t_0; \quad \eta_2 = P_2/t_0; \quad \eta_3 = P_3/t_0; \quad \eta_4 = P_4/t_0;$$

$t_0$  – время нарастания тормозного усилия передней оси тягача (с);

$C$  – жесткость пружины в сцепном устройстве (Н).

Подставив уравнение системы (5) в уравнение (7), получим дифференциальное уравнение относительного перемещения звеньев автопоезда

$$\ddot{X}_1 + C \left( \frac{1}{m_T} + \frac{1}{m_{II}} \right) X_1 = (A_T - A_{II}) t_1;$$

или

$$\ddot{X}_1 + \omega^2 X_1 = (A_T - A_{II}) t_1, (8)$$

где  $\omega$  – частота собственных колебаний системы,

$$\omega = \sqrt{C \left( \frac{1}{m_T} + \frac{1}{m_{II}} \right)} = \sqrt{\frac{Cg}{G} \left( \frac{1}{\gamma_T} + \frac{1}{\gamma_{II}} \right)} = \sqrt{\frac{Cg}{G} \cdot \frac{\gamma_T + \gamma_{II}}{\gamma_T \cdot \gamma_{II}}} = \sqrt{\frac{Cg}{\gamma_T \cdot \gamma_{II} \cdot G}} \quad (9)$$

При возникновении в сцепном устройстве усилия растяжения, как показано штрих-пунктирной линией на рис. 1, дифференциальные уравнения движения звеньев автопоезда будут иметь вид

$$\begin{cases} m_T \cdot \ddot{X}_T = -P_1 - P_2 - Q; \\ m_{II} \cdot \ddot{X}_{II} = -P_3 - P_4 + Q \end{cases} \quad (10)$$

или

$$\begin{cases} m_T \ddot{X}_T = -P_1 - P_2 - Q; \\ m_{II} \ddot{X}_{II} = -P_3 - P_4 + Q \end{cases} \quad (11)$$

Кинематическая зависимость между звеньями автопоезда

$$X_T = X_{II} + 1 + X_1, \quad (12)$$

откуда получим

$$\ddot{X}_T = \ddot{X}_{II} + \ddot{X}_1; \quad \ddot{X}_1 = \ddot{X}_T - \ddot{X}_{II}. \quad (13)$$

Дифференциальное уравнение относительно перемещения звеньев автопоезда имеет с вид

$$\ddot{X}_1 + C \left( \frac{1}{m_T} + \frac{1}{m_{II}} \right) X_1 = -(A_T - A_{II})t_1,$$

или

$$\ddot{X}_1 + \omega^2 X_1 = -(A_T - A_{II})t_1. \quad (14)$$

Линейные неоднородные дифференциальные уравнения второго порядка (8) и (14) отличаются друг от друга только знаками правых частей. Поэтому решения этих уравнений, которые также будут отличаться только знаками, можно записать одним уравнением

$$X_1 = (A_T - A_{II})/\omega^2 \cdot (t_1 - \sin \omega t_1/\omega). \quad (15)$$

Усилие в сцепном устройстве автопоезда будет

$$Q_1 = C(A_T - A_{II})/\omega^2 \cdot (t_1 - \sin \omega t_1/\omega). \quad (16)$$

Выразим величины темпа нарастания замедления тягача  $A_T$  прицепа  $A_{II}$  и их разность  $(A_T - A_{II})$  через общую тормозную силу  $P$  автопоезда

$$\begin{aligned} A_T &= (\eta_1 + \eta_2)m_T = \eta_T m_T = \\ &= P_T/t_0 m_T = P \cdot g/G \cdot t_0^{-1} \beta_T/\gamma_T \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} A_{II} &= (\eta_3 + \eta_4)m_{II} = \eta_{II} m_{II} = \\ &= P_{II}/t_0 m_{II} = P \cdot g/G \cdot t_0^{-1} \beta_{II}/\gamma_{II} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} A_T - A_{II} &= P \cdot g/G \cdot t_0^{-1} (\beta_T/\gamma_T - \beta_{II}/\gamma_{II}) = P \cdot g/G \cdot t_0^{-1} \times \\ &\times (\beta_T \gamma_{II} - \beta_{II} \gamma_T) / \gamma_T \gamma_{II} = P \cdot g/G \cdot t_0^{-1} (\beta_T - \gamma_T) / \gamma_T \gamma_{II} \end{aligned} \quad (19)$$

Подставим уравнение (9) и (19) в уравнение (16).

Получим окончательно уравнение усилия в сцепном устройстве автопоезда при динамической стадии торможения

$$Q_1 = P(\beta_T - \gamma_T) t_0^{-1} (t_1 - \omega^{-1} \sin \omega t_1),$$

или

$$Q_1 = P(\gamma_{II} - \beta_{II}) t_0^{-1} (t_1 - \omega^{-1} \sin \omega t_1). \quad (20)$$

Усилие  $Q_{ж1}$  в жестком сцепном устройстве ( $C = 0$ ) при динамической стадии торможения автопоезда

$$Q_{ж1} = P(\beta_T - \gamma_T) t_1/t_0. \quad (21)$$

Тогда уравнение (16) можно преобразовать к виду

$$Q_1 = Q_{ж1} (1 - (\omega t_1)^{-1} \sin \omega t_1). \quad (22)$$

Уравнение (22) показывает, что при динамической стадии торможения автопоезда усилие в сцепном устройстве с пружиной, по сравнению с усилием в жесткой сцепке, уменьшается до тех пор, пока знак  $\sin \omega t_1$  положительный.

Уравнения (20) определяют не только величину усилия в сцепном устройстве, но и показывают направление действия.

При положительном знаке в сцепном устройстве будет действовать усилие сжатия, при отрицательном – усилие растяжения. Знак величины  $Q_1$ , зависит только от знака множителя  $(\beta_T - \gamma_T)$  или  $(\gamma_{II} - \beta_{II})$ , т.к. знак второго множителя  $(t_1 - \omega^{-1} \sin \omega t_1)$  всегда положительный, ибо  $\omega t_1 > \sin \omega t_1$ , т.е. значение угла всегда больше значения тригонометрического синуса этого угла.

Таким образом, при торможении автопоезда в сцепном устройстве будут:

отсутствовать усилие

$$\text{при } \beta_T = \gamma_T \text{ или } \gamma_{II} = \beta_{II}; \quad (23)$$

возникать усилие сжатия

$$\text{при } \beta_T > \gamma_T; \text{ или } \gamma_{II} > \beta_{II}; \quad (24)$$

действовать усилие растяжения

$$\text{при } \beta_T < \gamma_T; \text{ или } \gamma_{II} < \beta_{II}. \quad (25)$$

На динамику торможения существенно влияют характерные особенности прицепных автопоездов:

– перераспределение нагрузки между осями автопоезда;

– четырехопорная конструктивная схема автопоезда;

– наличие шарнирной упругой связи звеньев, допускающей высокую относитель-

ную подвижность их в горизонтальной плоскости.

Эти особенности затрудняют обеспечение устойчивости и управляемости при торможении по сравнению с двухосным автомобилем.

В данной статье рассматриваемые явления исследуются для автопоезда с жесткими колесами.

Блокировка колес может происходить в динамических и статических стадиях процесса торможения автопоезда. Как в первом, так и во втором случаях в сцепном устройстве может действовать усилие  $Q$ , которое является продольным для автопоезда. Поперечная составляющая этого усилия, которая появляется при нарушении прямолинейности расположения звеньев автопоезда, может оказывать влияние на его устойчивость.

В начальный момент заноса колес одной из осей автопоезда углы отклонения звеньев будут малы. Следовательно, поперечная сила, составляющая усилия  $Q$  в сцепном устройстве, имея незначительную величину, не будет оказывать существенного влияния на устойчивость автопоезда. При нарастающем заносе и больших углах отклонения звеньев величина поперечного усилия  $Q$  может быть большей и существенно повлиять на характер заноса.

Рассмотрим поочередно занос каждой оси автопоезда для случаев, когда в сцепном устройстве отсутствует усилие, но действует растягивающее или сжимающее усилие.

При заносе какой-либо оси тягача на рис. 2 приводится схема заноса задней оси тягача при отсутствии и действии сжимающего усилия  $Q$  и отклонения тягача на угол  $\sigma$  в сцепном устройстве появляется усилие  $N$ , тангенциальная составляющая  $N_t$  которого возникает за счет деформации упругого элемента на величину  $(m_T' + m_{II}')$ .

$$N_t = C(m_T' + m_{II}') = C(d - d \cdot \cos \sigma + l - l \cdot \cos \sigma) = C[d(1 - \cos \sigma) + l - \sqrt{l^2 - d^2 \cdot \sin^2 \sigma}], \quad (26)$$

где  $d$  – расстояние от задней оси тягача до центра зева крюка сцепного устройства;

$l$  – длина дышла прицепа;

$\sigma$  – угол отклонения дышла прицепа от продольной оси автопоезда при по-

вороте тягача на угол  $\sigma$ , между этими углами существуют зависимости

$$\sin \sigma' = (d / l) \cdot \sin \sigma,$$

$$\cos \sigma' = 1 / l \sqrt{l^2 - d^2 \cdot \sin^2 \sigma}.$$

Нормальная составляющая усилия  $N$

$$N_{II} = N_T \cdot \operatorname{tg}(\sigma + \sigma') = C \cdot [d(1 - \cos \sigma + l \sqrt{l^2 - d^2 \sin^2 \sigma})] \times \frac{\operatorname{tg} \sigma \sqrt{l^2 - d^2 \cdot \sin^2 \sigma} + d \cdot \sin \sigma}{\sqrt{l^2 - d^2 \cdot \sin^2 \sigma} - \operatorname{tg} \sigma \cdot \sin \sigma}. \quad (27)$$

Аналогично усилию  $N_{II}$  определяется нормальная составляющая  $Q$ .

$$Q_{II} = Q_t \cdot \frac{\operatorname{tg} \sigma \sqrt{l^2 - d^2 \cdot \sin^2 \sigma} + d \cdot \sin \sigma}{\sqrt{l^2 - d^2 \cdot \sin^2 \sigma} - \operatorname{tg} \sigma \cdot \sin \sigma}. \quad (28)$$

Назначение величины  $Q_t$  может быть определено уравнениями (16).

Инерционный момент тягача

$$\mu_{JT} = (G / g) \gamma_T \rho_T^2 (d\omega / dt),$$

где  $\rho_T = (G / g) \gamma_T$  – радиус инерции массы тягача относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести  $C_T$

Боковая реакция  $Y_2$  на задних колесах тягача определяется из условия равновесия сил, действующих на тягач, относительно вертикальной оси, проходящей через точку 1

$$Y_2 = \frac{G}{g} \gamma_T \cdot \frac{a_T}{L_T} \left[ \frac{\gamma^2}{R} + \left( l_T - \frac{\rho_T^2}{a_T} \right) \frac{d\omega}{dt} \right] - (N_{II} - Q_{II}) \frac{L_T + d}{L_T}. \quad (29)$$

Для определения боковой реакции  $Y_1$  на передние оси тягача рассмотрим равновесие системы сил, действующих на тягач, относительно вертикальной оси, проходящей через точку 2. Откуда получаем

$$Y_1 = \frac{G}{g} \gamma_T \cdot \frac{b_T}{L_T} \left[ \frac{v^2}{R} - \frac{d\omega}{dt} \left( d_T - \frac{\rho_T^2}{b_T} \right) \right] + (N_{II} - Q_{II}) \frac{d}{L_T}. \quad (30)$$

Рассматривая равновесие системы сил тягача по отношению к вертикальной оси, проходящей через центр тяжести  $C_T$ , получим (принимая  $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = L_T / R$ )

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{a_T}{a_T^2 + \rho_T^2} - \left[ \frac{1}{R} (v^2 - \phi g m_2' L_T) - (N_{II} - Q_{II}) \cdot \frac{g}{G \cdot \gamma_T} \cdot \frac{L_T + \alpha}{d_T'} \right]. \quad (31)$$

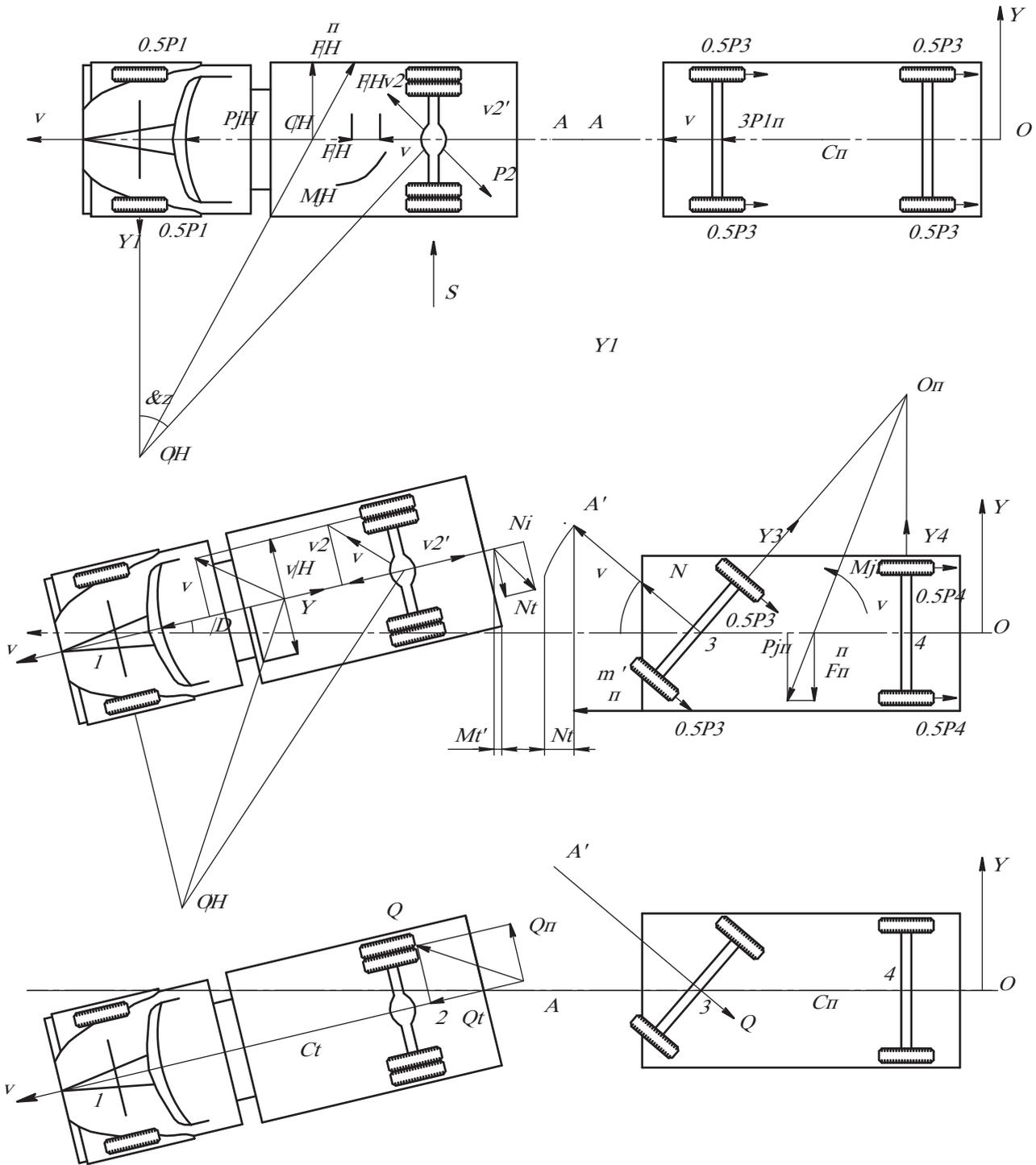


Рис. 2. Схема заноса задней оси тягача

Из этого уравнения видно, что угловое ускорение  $d\omega / dt$  тягача в этом случае может иметь как положительное, так и отрицательное значения. При увеличении скорости  $v$  автопоезда и действия в сцепном устройстве усилия сжатия  $Q$  положительное значение ускорения  $d\omega / dt$  увеличивается и боковое скольжение задней оси тягача возрастает.

Критическая скорость  $v_{кр}$ , при которой начавшийся занос задней оси автоматически прекращается, определяется по выражению

$$v_{кр} \leq \sqrt{\varphi g m'_2 L_T + (N_{\Pi} - Q_{\Pi}) \frac{g}{G j_T} \cdot \frac{L_T + d}{a_T} R}. \quad (32)$$

При отсутствии усилия  $N_n - Q_n$  критическая скорость  $v_{кр}$  получается очень малой.

Усилия растяжения  $N_n$  и  $Q_n$  несколько увеличивают, а усилие сжатия  $Q_n$  уменьшает значение этой критической скорости.

При заносе колес задней оси тягача, когда автопоезд движется со скоростью  $v < v_{кр}$ , положение прицепа будет таким, как и при заносе колес передней оси тягача. Если скорость автопоезда  $v > v_{кр}$ , то занос передней оси прицепа несколько уменьшит значение составляющей центробежной силы, а занос задней оси прицепа будет способствовать «складыванию» автопоезда.

При заносе колес передней оси тягача угловое ускорение  $d\omega / dt$

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{b_r}{b_r^2 + \rho_r^2} \left[ \frac{1}{R} (v^2 + \varphi \cdot g \cdot m'_1 L_r) + (N_{II} - Q_{II}) \frac{g}{G\gamma_r} \cdot \frac{d}{b_r} \right]. \quad (33)$$

Согласно этому уравнению угловое ускорение  $d\omega / dt$  получается отрицательным, т.е. начавшийся занос передней оси тягача весьма быстро и автоматически прекращается, причем это происходит тем быстрее, чем больше скорость  $v$  автопоезда и чем больше усилие  $N_n - Q_n$ , что зависит от величины угла  $\sigma$  отклонения тягача от прямолинейного движения автопоезда и направления действия усилия  $Q$ .

При повороте дышла на угол  $\sigma'$  прицеп начнет поворачиваться вокруг некоторого мгновенного центра поворота  $O_{II}$ . Под действием центробежной силы  $F_{II}$  на колесах осей прицепа появятся боковые усилия  $Y_3$  и  $Y_4$ , которые будут уменьшать имеющийся запас по сцеплению на этих осях, что может привести к блокированию колес прицепа и заносу любой из осей его.

При заносе осей прицепа величины боковых реакций  $Y_3$  и  $Y_4$  выразятся уравнениями (34) и (36).

Зная боковую реакцию  $Y_4$

$$Y_4 = \frac{G}{g} \cdot \gamma_{II} \frac{a_{II}}{L_{II}} \left[ v \cdot \omega + \frac{d\omega}{dt} \left( b_{II} - \frac{\rho_{II}^2}{\alpha_{II}} \right) \right]. \quad (34)$$

Для передней оси прицепа можно записать уравнение для определения углового ускорения  $d\omega / dt$  прицепа (принимая  $\sin \alpha = \text{tg} \alpha = L_{II} / R$ ).

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{b_{II}}{b_{II}^2 + \rho_{II}^2} \left[ \frac{1}{R} (v^2 + \varphi \cdot g \cdot m'_3 L_{II}) + (N_{II} - Q_{II}) \frac{g}{G\gamma_{II}} \cdot \frac{1}{b_{II}} \right]. \quad (35)$$

Так как полученное выражение (35) по структуре аналогично уравнению (33), то вывод, сделанный из уравнения (33), полностью относится к заданному случаю.

Для предотвращения заноса любой из осей тягача при появлении нормальной составляющей усилия в сцепном устройстве автопоезда необходимо, чтобы на колесах тягача были приложены тормозные усилия, несколько меньшие предельных по сцеплению.

При заносе колес задней оси прицепа (рис. 2) передняя ось его поворачивается в сторону заноса на угол  $\sigma$ , равный углу отклонения продольной оси прицепа относительно направления прямолинейного движения автопоезда.

В результате этого прицеп в данный момент поворачивается около некоторого мгновенного центра вращения  $Q_{II}$  (рис. 2). Если бы отсутствовала скорость заноса задней оси, то поворот прицепа в данный момент происходил бы около мгновенного центра вращения  $Q_{II}$ .

Боковая реакция  $Y_3$  определяется из условия равновесия сил относительно вертикальной оси

$$Y_3 = \frac{1}{L_{II} \cos \sigma} \cdot \left\{ \frac{\sigma}{g} \gamma_{II} \cdot b_{II} \left[ v\omega - \frac{dv_3^{II}}{dt} - \frac{d\omega}{dt} \left( a_{II} - \frac{\rho_{II}^2}{b_{II}} \right) \right] - Q_{II} \cdot \sin \sigma \right\}. \quad (36)$$

Исходя из условий равновесия системы сил прицепа по отношению к вертикальной оси, проходящей через центр тяжести  $O_{II}$ , получаем (принимая  $\sin \alpha = \text{tg} \alpha = 0, \varphi / 0, O_{II}$ )

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d_{II}}{a_{II}^2 + \rho_{II}^2} \cdot \left[ \frac{v^2 - \varphi \cdot g \cdot m'_{II} \cdot \overline{0, \varphi}}{0, O_{II}} - \frac{dv_3^{II}}{dt} \right]. \quad (37)$$

Так как в момент начала бокового скольжения задней оси прицепа ускорение  $dv_3^{II}/dt$  всегда положительно, то согласно уравнению (37) угловое ускорение  $d\omega / dt$  прицепа будет уменьшаться. С увеличением угла поворота  $\sigma$  возрастают отрезки  $\overline{0, \varphi}$  и  $\overline{0, O_{II}}$ , что в свою очередь уменьшает ускорение  $d\omega / dt$  (рис. 2).

При определенных значениях ускорения  $dv_3^{II}/dt$  и угла поворота  $\sigma$  угловое ускорение  $d\omega / dt$  прицепа может получить отрицательное значение, что способствует быстрому

прекращению заноса прицепа. Усилие  $Q$  в сцепном устройстве не оказывает никакого влияния на занос задней оси прицепа.

При заносе колес передней или задней осей прицепа тягач движется прямолинейно (рис. 2).

Таким образом, из анализа рассматриваемой схемы можно сделать следующие выводы:

1. Блокирование задних колес тягача может привести к складыванию автопоезда.
2. При заносе заблокированных колес передней оси тягача и передней и задней осей прицепа автопоезд будет устойчивым.
3. Блокирование колес передней оси тягача приводит к потере управляемости автопоезда.
4. Проведенный анализ подтверждает, что величина и направление усилия в сцепном устройстве оказывает влияние на устойчивость затормаживаемого автопоезда. Растягивающее усилие ослабляет, а сжимающее

– усиливает занос той или иной оси тягача и передней оси прицепа. Идеальное решение, с точки зрения разгрузки сцепного устройства и сохранения устойчивости автопоезда, будет при полной синхронности затормаживания и одинаковой интенсивности торможения всех звеньев автопоезда.

#### Библиографический список

1. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т.1 / А.В. Васильев, Б.С. Марышев, В.В. Силкин и др.; под ред. А.П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2005. – 646 с.
2. Силуков, Ю.Д. Экологическая безопасность на автомобильных дорогах: учебное пособие для вузов / Ю.Д. Силуков. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. – 173 с.
3. СНиП 2.05.02-85 Автомобильные дороги. – М.: Госстрой СССР, 1997. – 59 с.
4. Автомобильные дороги. Пути повышения пропускной способности автомобильных дорог / В.В. Сильянов и др.; науч. ред. В.Ф. Бабков. – М.: ВИНТИ, 1976. – 121 с.

## РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТРАКТОРОВ ДЖОН ДИР В УСЛОВИЯХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ф.А. ДАЦ, *асп. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ,*

А.С. НАЗАРЕНКО, *проф. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ, канд. техн. наук*

*dac\_fedor@mail.ru*

**А**нализ факторов, оказывающих влияние на техническое состояние, надежность и эффективность зарубежной лесозаготовительной техники Джон Дир, позволяет сделать вывод о том, что в условиях технического прогресса необходимо управление техническим состоянием. Решение этой проблемы представляется как трудная и в то же время неотложная задача.

Особая сложность в управлении техническим состоянием определяется влиянием таких факторов, как режим работы, внешняя среда, квалификация основного и вспомогательного обслуживающего персонала, организация и качество технического обслуживания и ремонта.

Для выяснения причин возникающих отказов и снижения производительности ис-

пользуется причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикавы). При этом анализируют четыре основных фактора: отказы и дефекты, методы обслуживания, человек и погодные условия (рис. 1).

Диаграмма выявляет отношение между основными показателями и воздействующими на них факторами. Диаграмма этого вида – так называемый «рыбий скелет» – предложена японским экономистом К. Исикавой. Сначала формулируется проблема. Это «голова рыбы». Четыре основных фактора анализа – это «кости скелета». Для каждого фактора на диаграмму наносят вероятные причины дефектов – это «ребра».

Следует учитывать, что характеристики, являющиеся следствием каких-либо факторов, обязательно испытывают разброс.

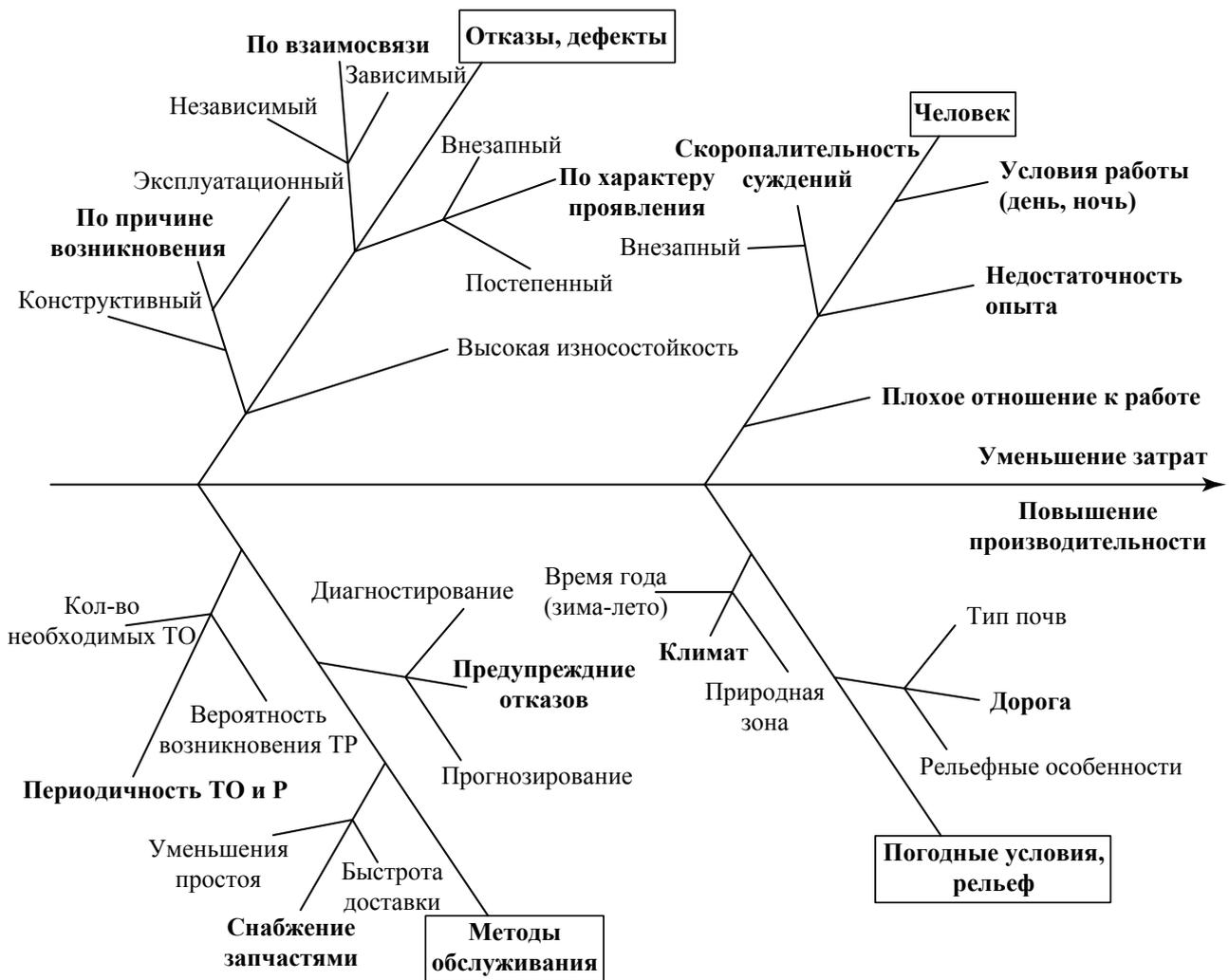


Рис. 1. Диаграмма Исикавы

Поиск факторов, оказывающих особенно большое влияние на разброс характеристик (то есть на результат), называют исследованием причин. При составлении причинно-следственной диаграммы подбирают максимальное число факторов, имеющих отношение к характеристике, которая вышла за пределы допустимых значений.

Основные трудности характеризуются тем, что значение этих факторов неравнозначно по степени влияния на состояние и эффективность. При анализе некоторые факторы выделены как самостоятельные условно. Фактически они воздействуют на состояние и надежность в совокупности. Влияние многих факторов не поддается в настоящее время эффективному теоретическому анализу и обобщающей количественной оценке, пригодной для практического пользования. Некоторые факторы, особенно связанные с организаци-

ей выполнения мероприятий, обеспечивающих надежность, обычно рассматриваются изолированно, без учета всего многообразия конкретных условий в системности [1].

Реально до последнего времени в руководящих материалах по вопросам управления техническим состоянием машин находили отражение следующие факторы: периодичность отказов и как следствие периодичность профилактических мероприятий, предупреждающих появление отказов (и связанных с ними текущих ремонтов), режим работы – нагрузки, воздействие внешней среды. Эффективность системы зависит от того, насколько эффективно функционирование ее подсистемы, и наоборот.

Таким образом, существует сложная динамическая система, включающая совокупность элементов «оператор», «трактор», «дорога», функционирующих в определен-

ной «среде». Эти элементы единой транспортной системы находятся в отношениях и связях друг с другом и образуют определенную целостность: оператор–трактор; трактор–дорога; дорога–оператор.

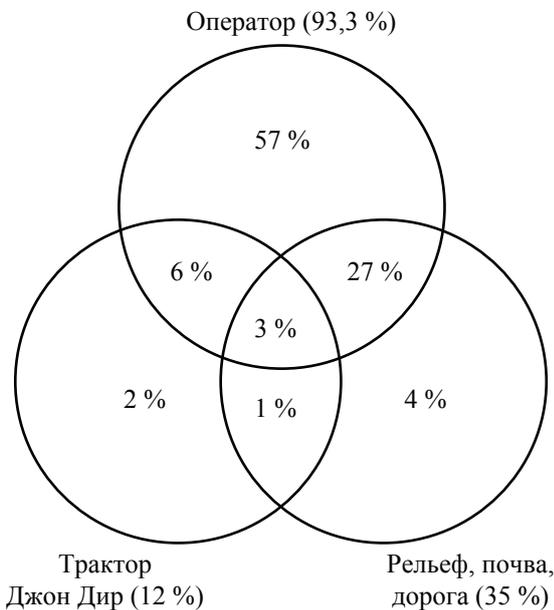


Рис. 2. Роль факторов риска и их сочетание в возникновении отказов системы Человек-Машина-Среда

На рис. 3 представлена роль разных факторов как причин отказов: в 57 % случаев главная причина отказов – ошибка оператора; в 27 % – проблема взаимодействия оператора и дороги; в 6 % – проблема взаимодействия оператора и трактора; в 3 % случаев – проблема сложного взаимодействия оператора, трактора и дороги.

Естественно, надежность техники Джон Дир является исключительно важным, но не единственным показателем, определяющим эффективность, производительность, качество выполнения технологических операций, для которых эта техника предназначена. Любая техника эксплуатируется и обслуживается человеком-оператором, и поэтому последний должен также рассматриваться как одно из важных составных звеньев всей системы, от надежности работы которых зависит эффективность использования машин.

Человек в системе управления является наиболее важным и одновременно менее надежным звеном. Он легко отвлекается, сравнительно быстро утомляется, его поведение подвержено влиянию очень многих

непредсказуемых факторов, и поэтому он не может безошибочно выполнять работу в течение продолжительного времени. Частота отказов в системах управления по вине человека составляет от 20 до 95 %.

Человек-оператор – это человек, основу работы которого составляет взаимодействие с машиной, предметом труда и внешней средой посредством дистанционного управления. Оператор должен быть постоянно готов к действиям в неожиданно меняющейся дорожной обстановке, что обеспечивается его устойчивостью и интенсивностью внимания. Длительность пребывания оператора в подобном состоянии определяется наиболее распространенной категорией теории надежности – запасом прочности. Для таких профессий требуются определенные природные данные: быстрота реакции, стрессоустойчивость.

В определенных моменты трудовой активности возникает необходимость в оценке трудового потенциала человека и сопоставлении ожидаемой трудовой отдачи кандидата с нормативными требованиями, предъявляемыми к конкретной должности. Следовательно, должен быть найден такой механизм, который позволил бы количественно выразить профессиональные и личностные качества человека – в данном случае оператора-водителя, и увязать их со способностью выполнять конкретную работу – управление харвестером или форвардером. В качестве такого комплексного параметра оценки может быть использован достигнутый трудовой потенциал человека (рис. 3).

Трудовой потенциал человека определяется двумя основными компонентами: профессиональными и личностными качествами. Профессиональные качества характеризуют предметную сторону, личностные – социальную и психофизиологическую стороны профессиональной деятельности.

Эффективность трудовой отдачи работника зависит от ряда факторов. Важнейшими являются макроэкономические факторы, под воздействием которых формируется внешняя среда жизнедеятельности предприятия, и микроэкономические факторы, действующие внутри предприятия.

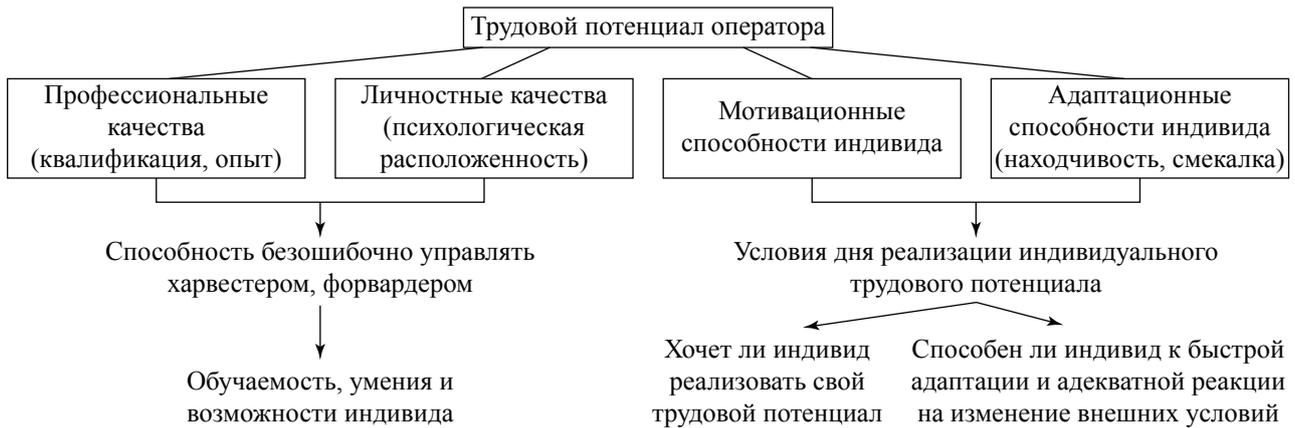


Рис. 3. Трудовой потенциал оператора

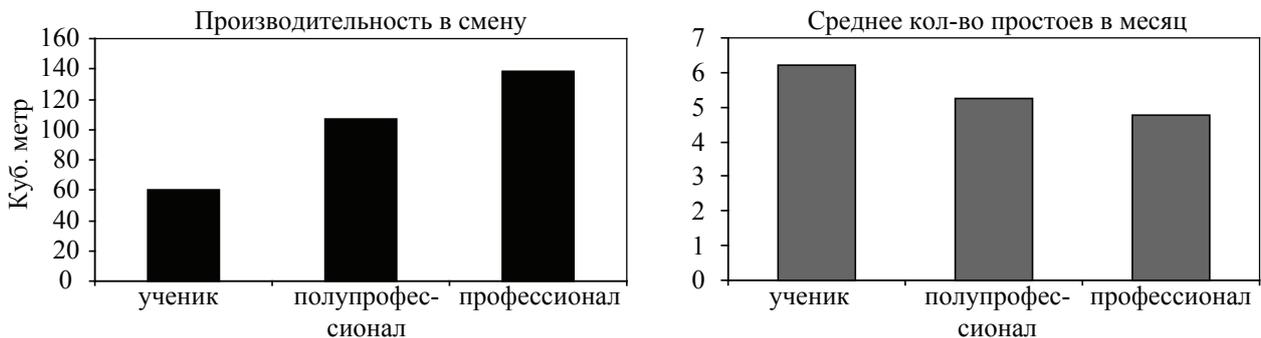


Рис. 4. Зависимость производительности и безошибочности работы операторов от их квалификации

Достигнутый трудовой потенциал отражает те качества человека, которые проявляются в реальных внешних условиях и могут быть задействованы при выполнении работы на конкретной должности. Этот показатель может быть зафиксирован в определенный момент, он характеризует прежде всего операционную компоненту профессионализма и компетентности работника.

Мотивационные качества человека – это совокупность потребностей, мотивов и интересов, определяющих его поведение и принимаемые им решения. В целом эти качества характеризуют желание человека использовать профессиональные и личностные качества для выполнения работы наилучшим образом.

Профессиональная адаптация (профессиональная гибкость) – это способность приспособления профессиональных возможностей человека к условиям конкретного труда на производстве. Она предполагает наличие у человека такого набора специальных знаний, умений и навыков в рамках данной профессии, которые должны позволить

ему быстро приспособиться к изменению условий в процессе всей трудовой деятельности [5].

Надежность оператора – это способность безошибочно управлять лесозаготовительной машиной в любых лесных условиях в течение всего рабочего времени. К основным факторам, определяющим надежность оператора, относятся его профессионализм, подготовленность и высокая работоспособность. А высокая работоспособность зависит от профессионализма и обеспечивает выполнение работы с высокими производительностью и качественными показателями.

На рис. 4 показана зависимость производительности и безошибочности от опыта и квалификации при анализе работы операторов техники Джон Дир за декабрь 2006 г. в Пермской области.

Надежность операторов в значительной степени зависит от их работоспособности.

Причинами снижения работоспособности операторов чаще всего являются утомление, употребление алкоголя, болезненное

состояние, прием некоторых лекарственных веществ и курение. Зависимость количества ошибок от времени работы у курящих и некурящих людей при исследовании сложных сенсомоторных реакций в течение рабочей смены показана на рис. 5 [3].

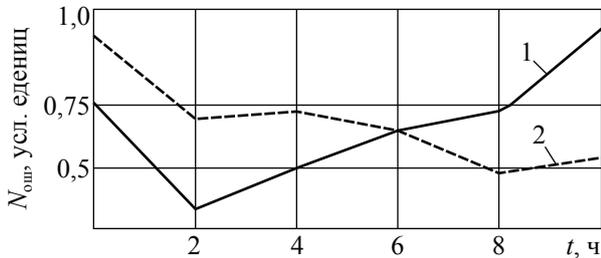


Рис. 5. Зависимость количества ошибок  $N_{ош}$  от времени работы у курящих 1 и некурящих 2 людей при исследовании сложных сенсомоторных реакций в течение рабочей смены

14	18	7	24	21
22	1	10	9	6
16	5	8	20	11
23	2	25	3	15
19	13	17	12	4

22	25	7	21	11
6	2	10	3	23
17	12	15	5	18
1	16	20	9	24
19	13	4	14	8

Рис. 6. Таблицы Шульте

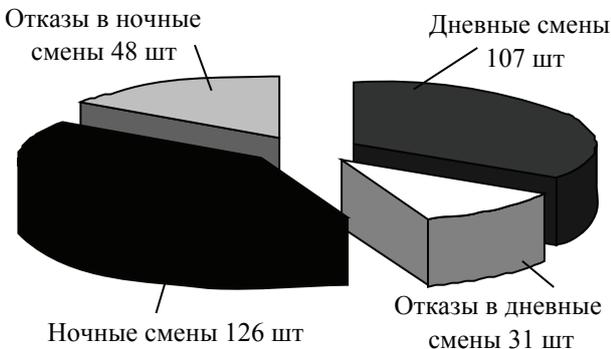


Рис. 7. Сравнительный анализ отказов в ночное и дневное время

Для эффективной деятельности в системе «человек-машина – знаковая система» важны сенсорно-перцептивный (восприятие и внимание) и интеллектуальный (обработка информации, принятие решений) компоненты деятельности.

Для оценки этих качеств могут быть использованы различные методики. Здесь предлагаются таблицы Шульте (рис. 6), с помощью которых исследуется внимание. Их модификации предложил Ф.Д. Горбов.

При работе с таблицами Шульте испытуемый отыскивает и показывает числа в порядке их возрастания. Проба повторяется с пятью разными таблицами Основной показатель – время выполнения. По результатам может быть построена «кривая истощаемости», отражающая устойчивость внимания и работоспособность в динамике.

К факторам, связанным с внешней средой, увеличивающим потенциальный риск проявления отказов, относятся темное время суток, неблагоприятные погодные условия. Эти факторы усиливают нагрузку на психику человека и требуют от него принятия решений в нестандартных ситуациях.

При анализе работы операторов техники Джон Дир за декабрь 2006 г. в Пермской области было установлено, что средняя выработка в смену составляет 112,2 м<sup>3</sup>, отработка смен ночных и дневных и доля ТО и Р, падающая на эти смены, показана на рис. 7.

Из диаграммы видно, что большая доля отказов происходит в ночное время, неблагоприятные погодные условия оказывают более негативное влияние на оператора ночью, чем днем, что снижает его надежность и надежность системы ЧМС в целом [2].

Таким образом, среди многочисленных факторов, характеризующих надежность водителя-оператора, можно выделить профессиональную пригодность, обученность и трудовой потенциал.

### Библиографический список

1. Семенова, Е.И. Управление качеством / Е.И. Семенова, В.Д. Коротнев. – М.: Колосс, 2005. – 184 с.
2. Дац, Ф.А. Управление эффективностью использования техники фирмы Джон Дир на основе моделирования / Ф.А. Дац, А.С. Назаренко // Международный симпозиум «Надежность и качество» – Пенза: ПГУ, 2008. – Т. 2. – С. 41–43.
3. Романов, А.Н. Надежность водителя / А.Н. Романов, П.А. Пегин. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2006. – 376 с.
4. 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.
5. Артамонов, Б.В. Кадровая политика на воздушном транспорте / Б.В. Артамонов, Л.Х. Никифорова. – Н. Новгород: Талам, 2003. – 144 с.

## ОБОСНОВАНИЕ СТРАТЕГИИ СТАДИЙНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В.К. КУРЬЯНОВ, *проф. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, д-р техн. наук,*  
А.В. СКРЫПНИКОВ, *доц. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, канд. техн. наук,*  
В.А. ДОППЕРТ, *ассистент каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА*

Стадийное повышение эксплуатационно-экологического уровня лесовозных автомобильных дорог (ЭЭУ ЛАД) предусматривает мероприятия, связанные с усилением дорожных одежд в порядке проведения капитального ремонта и реконструкции дорожных одежд, уширения проезжей части, обочин в процессе реконструкции отдельных участков лесовозных автомобильных дорог.

Основными причинами снижения прочности дорожной одежды являются воздействие климатических и гидрологических условий, а также многократно повторяющиеся нагрузки от движения транспорта. Требуемую прочность определяют при расчете толщины слоев усиления (при разработке проектов на ремонт и реконструкцию автомобильных дорог), в процессе эксплуатации автомобильных дорог (в том числе при диагностике, паспортизации и инвентаризации дорог, временном ограничении дорожного движения при пропуске транспортных средств, перевозящих тяжеловесные грузы).

Снижение прочности дорожной одежды из-за многократно повторяющейся нагрузки от движения транспорта происходит, в основном, вследствие резкого увеличения количества транспортных средств и массы перевозимых грузов, что зачастую бывает не предусмотрено при проектировании автодороги. Наиболее целесообразно в этих случаях сделать утолщение существующих дорожных одежд в целях повышения несущей способности и в соответствии с возрастающей нагрузкой, основываясь на эквивалентных модулях упругости, полученных при испытаниях пробными нагрузками, или теоретических расчетах [5]. Более выгодно устраивать слои усиления из щебеночных материалов, обработанных органическими вяжущими, а верхние слои покрытий – из битумно-минеральных смесей или

асфальтобетона. Это дает возможность осуществлять усиление стадийно, по мере роста интенсивности движения, путем наращивания новых слоев толщиной 4–5 см.

Модель оптимизации стадийного повышения эксплуатационно-экологического состояния лесовозных автомобильных дорог включает постановку задачи, критерий ограничения и основные количественные зависимости. Если рассматривать ЛАД как управляемую систему, то для обоснования сроков стадийного повышения ЭЭУ ЛАД можно сформулировать следующую задачу. На отрезке времени  $(0, T)$  определить такую последовательность эксплуатационно-экологического состояния (ЭЭС) системы, которая обращала бы в минимум принятый критерий в виде общепринятой целевой функции суммарных приведенных затрат. Методика в общем виде сводится к многошаговым экономическим расчетам. При оценке ЭЭС учитываются ограничения по пропускной способности (ширина проезжей части, число полос движения) и по провозной способности (тип покрытия и требуемый модуль упругости дорожных одежд). Основные количественные зависимости приведены в данном разделе.

ЭЭС дороги оценивается параметрами, характеризующимися для ширины проезжей части дороги  $b = 3,5; 4,5; 6,5; 7,5; 8,5$  м.

Для дорожных одежд устанавливают ограниченные значения требуемого модуля упругости в пределах: 60–100 МПа для переходных (с интервалом через 10 МПа); 80–200 МПа для усовершенствованных (с интервалом через 20 МПа) типов покрытий [1].

Методика обоснования стадийного развития для каждого экономического перегона зависит от стадии задач проектирования и наличия исходных данных по оценке существующего эксплуатационно-экологического состояния дороги.

Т а б л и ц а 1

**Зависимость изменения во времени интенсивности движения**

Вид зависимости изменения во времени интенсивности движения	Формулы оптимального срока перехода
$f(t) = 1 + bt$	$t_p = 1/b((E_n K/\Delta \mathcal{E}_0) - 1)$
$f(t) = 1 + bt + ct^2$	$t_p = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4c(\frac{E_n K}{\Delta \mathcal{E}_0} - 1)}}{2c}$
$f(t) = k^{pt}$	$t_p = (1/p \ln K) \ln(E_n K/\Delta \mathcal{E}_0)$

При ограниченном количестве возможных вариантов для отдельного экономического перегона дороги применяют аналитические или графоаналитические методы с использованием сетки «состояние–время».

Очередность реализации мероприятий по капитальному ремонту или реконструкции отдельных экономических перегонов или участков сети ЛАД производится с учетом планируемых ресурсов на основании полученных в результате расчетов значений коэффициентов экономической эффективности для соответствующего перегона и каждой стадии.

В большинстве случаев возникает проблема многовариантности ЭЭС, преодоление которой возможно при последовательном анализе вариантов. В этом случае просматриваются все возможные варианты, но не все сочетания их исследуются до конца. Производится последовательный отсев вариантов по мере того, как устанавливается, что они не могут быть оптимальными. Такой метод основан на принципах динамического программирования и может быть реализован графоаналитическим методом с использованием сетки «состояние–время» или с помощью алгоритма и программы расчета на ЭВМ. Метод базируется на условии

$$E_n K_{(i,j)} = [(\mathcal{E}_T)_i - [(\mathcal{E}_T)_j], \quad (1)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности,  $E_n = 0,12$ ;

$K_{(i,j)}$  – капитальные затраты на переход из  $i$  в  $j$  состояние;

$(\mathcal{E}_T)_i, (\mathcal{E}_T)_j$  – эксплуатационные затраты в год  $t$  для состояния  $i$  и  $j$ .

На основе формулы (1) разработан способ определения оптимального срока перехода из одного ЭЭС в другое [3]

$$f(t_p) = E_n K_{(i,j)} / \Delta \mathcal{E}_0, \quad (2)$$

где  $\Delta \mathcal{E}_0$  – ежегодная экономия на текущих эксплуатационных расходах, отнесенная к исходному году.

Значение  $f(t)$  соответствует функции, характеризующей изменение во времени интенсивности движения, и представлено в табл. 1

Процесс поиска оптимального развития ЛАД состоит из нескольких этапов.

На первом этапе выбирается последовательность ЭЭС ЛАД, которая изображена (рис. 1) трехмерной сеткой «состояние–время». Сетку можно образно представить в виде книги, в которой страница изображает типы покрытия (низшие – Н, переходные – П, усовершенствованные облегченные – УО, усовершенствованные капитальные – УК); строка на странице – одна конструкция дорожной одежды с модулем упругости  $E_y$ ; набор страниц – количество типов покрытий при одной ширине проезжей части. При каждой ширине может быть несколько типов покрытий, а каждому типу соответствуют конструкции одежды, различные по прочности [2]. Набор величин ширины проезжей части составляет пространство состояний.

Задача состоит в том, чтобы в этом пространстве при заданном росте интенсивности движения найти оптимальную стратегию развития дороги, соответствующую минимуму функционала

$$C = K_1 + \sum_{t_1=1}^{t_2} \frac{\mathcal{E}_{T1} + \mathcal{E}_{g1}}{(1+E)^{t_1}} + \frac{K_2}{(1+E)^{t_2}} + \sum \frac{\mathcal{E}_{T1} + \mathcal{E}_{g2}}{(1+E)^{t_1}} + \dots + \frac{K_n}{(1+E)^{t_n}} + \sum_{t_n=1}^T \frac{\mathcal{E}_{Tn} + \mathcal{E}_{gn}}{(1+E)^{t_1}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $K_1$  – капитальные затраты на строительство ЛАД, соответствующие первому ЭЭС;

$K_2, \dots, K_n$  – капитальные затраты, связанные с переходом из первого ЭЭС во второе, из второго в третье и так далее до  $n$ -го ЭЭС;

$t_1, t_2, \dots, t_n$  – год перехода из предыдущего ЭЭС в последующее;

$\mathcal{E}_{T1}, \mathcal{E}_{g1}, \mathcal{E}_{T2}, \mathcal{E}_{g2}, \dots, \mathcal{E}_{Tn}, \mathcal{E}_{gn}$  – транспортные и дорожные затраты, соответствующие определенному ЭЭС;

$E$  – коэффициент приведения разновременных затрат ( $E = 0,08-0,12$ ).

Затем определяется матрица стоимостей переходов ( $CP_{(i,j)}$ ) при  $1 \leq i \leq j_{\max} - 1$ .

На втором этапе производится имитация эксплуатации каждого состояния во времени с анализом возможности его эксплуатации при заданных эксплуатационно-экологических ограничениях и параметрах лесотранспортного потока и определением экономически рационального года окончания его эксплуатации с переходом в более совершенное состояние. Имитация производится вычислением суммарных затрат и выбором стратегии, которая дает их минимум (рис. 2, 3). Для этого последовательность состояний изображается в виде сетки «состояние-время», где по горизонтальной оси откладываются годы, по вертикальной – номера состояний, а стрелками обозначаются оптимальные годы переходов для пары состояний  $i$  и  $j$ .

На рис. 2 видно, что в состоянии  $j$  возможны оптимальные переходы из пяти предыдущих состояний, дающие пять схем эксплуатации состояния  $j$ . Каждая схема обуславливает минимум затрат для пары состояний, но только одна схема перехода обуславливает минимум для состояния  $j$ . Эта схема и соответствующие ей характеристики ЭЭУ ЛАД принимаются в дальнейших расчетах при обосновании перехода из состояния  $i$  в последующие [3, 4].

Рассмотрим состояние 2 (рис. 3). Переход в него возможен только из состояния 1. Обозначив год входа в состояние  $i$  как  $T_{\text{вх}(i,j)}$ , год перехода из  $i$  в  $j$  как  $GP_{(i,j)}$ , получим

$$GP_{(i,j)} = T_{\text{вх}(i)} + t_{p(i,j)} \quad (4)$$

где  $t_{p(i,j)}$  – период эксплуатации состояния  $i$  до перехода из него в состояние  $j$ .

Допустим  $t_{p(1,2)} = 3$  года, тогда  $GP_{(1,2)} = 0 + 3 = 3$ . Этот год обозначен стрелкой, выходящей из состояния 1 в 3-й год и входящей в состояние 2. Ввиду того, что других состояний, из которых можно перейти в состояние 2, нет, то  $T_{\text{вх}(2)} = GP_{(1,2)} = 3$ , а оптимальным состоянием  $i_{0(2)}$  является переход, в результате которого сумма затрат является минимальной –  $i_{0(2)} = 1$ .

Рассмотрим состояние 3. Переход в него возможен из состояния 1 и состояния 2.

Допустим  $t_{p(1,3)} = 6$  лет, а  $t_{p(2,3)} = 7$  лет. Тогда

$$GP_{(2,3)} = T_{\text{вх}(1)} + t_{p(1,3)} = 0 + 6 = 6,$$

$$GP_{(2,3)} = T_{\text{вх}(2)} + t_{p(2,3)} = 3 + 7 = 10.$$

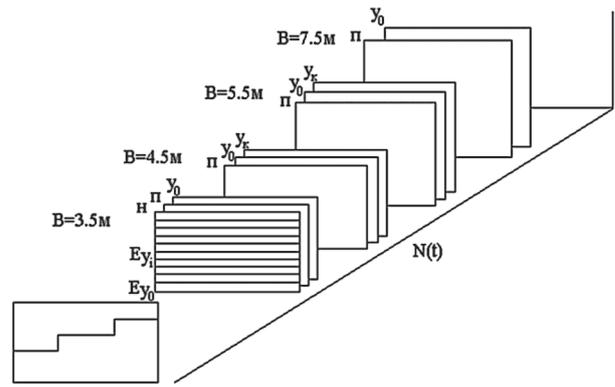


Рис. 1. Трехмерная сетка «состояние-время»

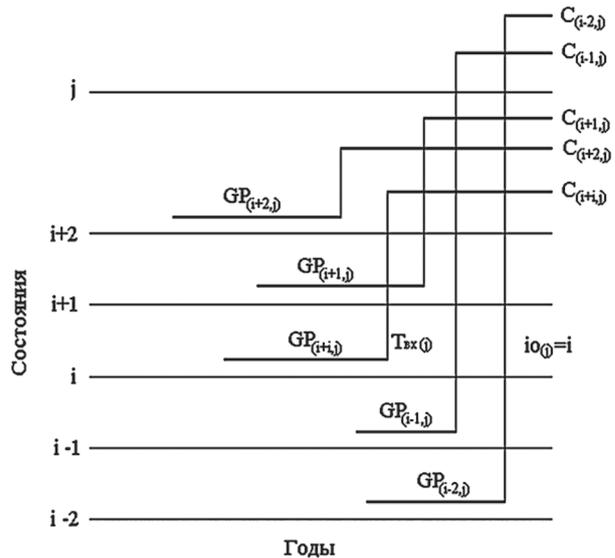


Рис. 2. Последовательность состояний. Пояснение выбора оптимального перехода в состояние  $i, j$

Пусть суммы затрат за 10 лет для схем эксплуатации  $(1,3)_6$  и  $(2,3)_{10}$  различны и  $C_{10}^{(1,3)_6} < C_{10}^{(2,3)_{10}}$ . Тогда схема перехода  $(1,3)_6$  оптимальна и принимается к дальнейшим расчетам.

Рассмотрим состояние 4. В него возможен переход из состояния 1, состояния 2 и состояния 3. Соответственно  $t_{p(1,4)} = 13$  лет;  $t_{p(2,4)} = 13$  лет;  $t_{p(3,4)} = 12$  лет. Тогда

$$GP_{(1,4)} = T_{\text{вх}(1)} + t_{p(1,4)} = 0 + 13 = 13;$$

$$GP_{(2,4)} = T_{\text{вх}(2)} + t_{p(2,4)} = 3 + 13 = 16;$$

$$GP_{(3,4)} = T_{\text{вх}(3)} + t_{p(3,4)} = 6 + 13 = 18.$$

Сумма затрат вычисляется по формуле

$$C_T^{(i,j)GP_{(i,j)}} = C_{GP_{(i,j)}} + CP_{(i,j)} + \sum_{GP_{(i,j)}}^T \mathcal{E}_{(j,t)} \eta_t, \quad (5)$$

где  $C_T$  – сумма затрат за период  $(0, T)$  для схемы эксплуатации  $(i, j)GP_{(i,j)}$ ;

$C_{GP_{(i,j)}}$  – минимальная сумма затрат по эксплуатации состояния  $i$  за период  $(0, GP_{(i,j)})$ .



повысить надежность дорожных одежд. Интенсивность поступления воды в дренирующий слой в основном обуславливается характером деформирования грунтового основания при проходе подвижной нагрузки по покрытию. Существующие методы расчета дорожных одежд предусматривают создание такой конструкции, в которой допускается накопление некоторой части остаточных деформаций в грунтовом основании. Так, при проектировании жесткого покрытия используется модель Винклера, где в расчет принимаются полные деформации грунта, характеризующиеся коэффициентом постели. В этом случае величина остаточных деформаций составляет 70...100 % от величины полных деформаций. При проектировании нежестких покрытий по методам, основанным на гипотезе линейно-деформируемого однородного пространства, в расчет принимается модуль общей деформации, а величина остаточных деформаций составляет 0...30 % от величины полных деформаций. Однако величина остаточных деформаций грунтового основания может увеличиваться в результате процессов промерзания и оттаивания грунтов при избыточном увлажнении. Кроме того, за счет зимнего влагонакопления и льдообразования происходит также и разуплотнение грунтов земляного полотна.

Поэтому такие грунты имеют деформации в 6...10 раз больше по сравнению с незамерзшими.

Установлено, что при приложении динамической нагрузки графики появления и восстановления деформации неодинаковы, что объясняется природой грунта. При этом зависимости, связывающие между собой деформации грунта с напряжениями, возникающими в опорной поверхности, имеют довольно сложный вид и характеризуются наличием гистерезисных петель и остаточными деформациями, что видно из рис. 1.

При обосновании закономерности поступления воды в дренирующий слой из рабочего слоя земляного полотна необходимо тщательно учитывать гистерезисный характер деформирования грунта.

Непосредственное применение экспериментальных кривых в теоретических рас-

четах не представляется возможным. С целью упрощения описания напряженно-деформированного состояния грунта целесообразно аппроксимировать криволинейные участки зависимости  $\varepsilon = f(\sigma)$  прямыми, несущими разный физический смысл (ветвь нагрузки и ветвь разгрузки).

Для описания процесса поступления воды в дренирующий слой для элементарного столба грунта можно заменить подвижную нагрузку, действующую на грунтовый массив, неподвижной, но изменяющейся во времени по кусочно-линейному закону с постоянной скоростью на стадии нагрузки и разгрузки:  $\Delta P_{k1} / \Delta t \geq 0$  при  $0 \leq t \leq T_1$ ,  $\Delta P_{k2} / \Delta t \leq 0$  при  $T_1 \leq t \leq T_2$ , где  $\Delta P_k / \Delta t$  – скорость нагружения или разгрузки грунтового массива, (кгс/см<sup>2</sup>)/сек. В этом случае изменение напряженно-деформированного состояния при действии нагрузки характеризуется следующими уравнениями:

1. При возрастании нагрузки в период  $0 \leq t \leq T_1$

$$\frac{\partial P_w}{\partial t} = \frac{(1+e_{cp})K_\phi}{\gamma_w(m_{01}+a_w e_{cp})} \frac{\partial^2 P_w}{\partial z^2} + \frac{m_{01}}{(m_{01}+a_w e_{cp})} \frac{\Delta P_{k1}}{\Delta t};$$

при  $P_w(z, 0) = 0$   
 $P_w(0, t) = 0$  , (1)

где  $e_{cp}$  – среднее значение начального коэффициента пористости на всю зону сжатия;

$K_\phi$  – коэффициент фильтрации грунта, см/сут.;

$\gamma_w$  – объемный вес воды, кгс/см<sup>3</sup>;

$m$  – объемное содержание твердой фазы в единицу объема.

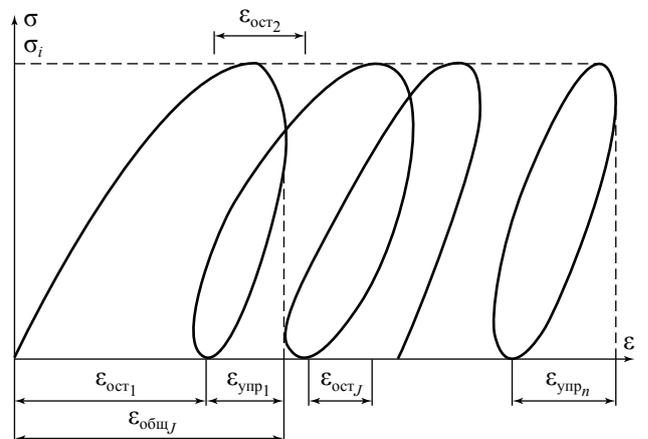


Рис. 1. Зависимость между напряжением и деформацией при циклическом нагружении

$$a_w = (1 - S_r(1 - \mu)) / (P_w + P_{am}), \quad (2)$$

где  $S_r$  – степень влажности;

$\mu$  – коэффициент растворимости газа;

$P_w$  – поровое давление;

$P_{am}$  – величина начального давления, принятая равной атмосферному, кгс/см.

2. Снижение нагрузки в период  $t$ ,

$$T_1 \leq t \leq T_2$$

$$-\frac{\partial P_w}{\partial t} = \frac{(1+e_{cp})K_\phi}{\gamma_w(m_{02}+a_w e_{cp})} \frac{\partial^2 P_w}{\partial z^2} + \frac{m_{02}}{(m_{02}+a_w e_{cp})} \frac{\Delta P_{k2}}{\Delta t},$$

при  $P_w(z, T_1) = P_{w1}$   
 $P_w(0, t) = 0$  . (3)

3. При возрастании нагрузки в период  $0 \leq t \leq T_1$  решение (1) по глубине основания имеет вид

$$P_w(z, t) = \beta \frac{\Delta p_{k1}}{\Delta t} \left[ t - \left( t + \frac{z^2}{2c_{v1}} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{c_{v1}t}} \right) + z \sqrt{\frac{t}{c_{v1}\pi}} \exp \left( -\frac{z^2}{4c_{v1}t} \right) \right],$$

где  $\beta$  – коэффициент, показывающий количество воды, удерживаемое в порах грунта, уплотненного до требуемой плотности ( $\beta = 0,7$  – для супесчаных грунтов,  $\beta = 0,75$  – для суглинистых и глинистых грунтов);

$t$  – время оттаивания в расчетный период, сут.;

$z$  – длина пути фильтрации, соответствующая толщине рассматриваемого слоя, см;

$$c_w = \frac{(1+e_{cp})K_\phi}{\gamma_w(m_0+a_w e_{cp})}$$

– коэффициент консолидации, см<sup>2</sup>/сек.

При снижении нагрузки в период  $T_1 \leq t \leq T_2$  величина функции в любой точке по глубине основания определяется выражением

$$P_w(z, t) = \beta_1 \frac{\Delta p_{k1}}{\Delta t} \left[ T_1 - \left( T_1 + \frac{z^2}{2c_{v1}T_1} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{c_{v1}T_1}} \right) + z \sqrt{\frac{T_1}{c_{v1}\pi}} \exp \left( -\frac{z^2}{4c_{v1}T_1} \right) \right] - \beta_2 \frac{\Delta p_{k2}}{\Delta t} \left[ (t-T_1) - \left( (t-T_1) + \frac{z^2}{2c_{v2}(t-T_1)} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{c_{v2}(t-T_1)}} \right) + z \sqrt{\frac{(t-T_1)}{c_{v2}\pi}} \exp \left( -\frac{z^2}{4c_{v2}(t-T_1)} \right) \right]. \quad (5)$$

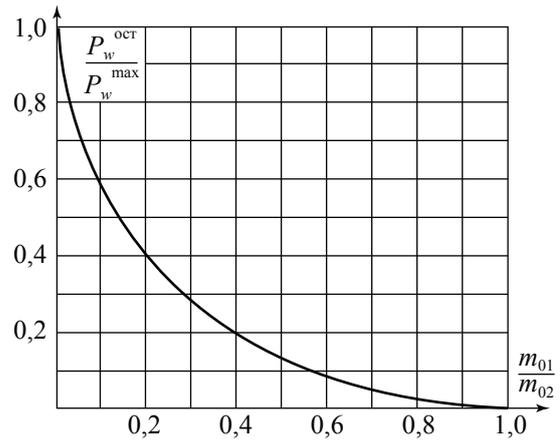


Рис. 2. Характер изменения максимальной величины остаточного напора в поровой воде в зависимости от соотношения коэффициентов  $m_{01}$  и  $m_{02}$

Анализ напряженно-деформированного состояния грунтов  $\varepsilon = f(\sigma)$  показывает, что полные деформации грунта рабочего слоя (ветвь нагружения) при действии нагрузки равны или превышают по величине упругие (ветвь разгрузки) (то есть  $\varepsilon_{пол} \geq \varepsilon_{упр}$ ). Учитывая этот факт при равенстве  $\Delta P_{k1} / \Delta t$  и  $\Delta P_{k2} / \Delta t$ , выражение (5) указывает на то, что грунт после разгрузки не возвращается в исходное состояние. В воде, заполняющей поры грунта, будет сохраняться избыточное поровое давление, которое обусловлено наличием остаточных деформаций  $\varepsilon_{пл}$ , то есть различия коэффициента консолидации при возрастании и снижении нагрузки определяются в основном наличием физических факторов: движение воды, вязкость водяных пленок, взаимосвязь частиц и агрегатов и, как следствие, изменение коэффициента сжимаемости. Исходя из этого, величина относительного остаточного порового давления зависит от соотношения коэффициентов сжимаемости на стадии нагружения и разгрузки  $m_0^{пол}$  и  $m_0^{упр}$ , характеризующих возникновение в грунте соответственно полных и упругих деформаций (рис. 2).

Если в грунте не происходит восстановление упругих деформаций ( $\varepsilon_{упр} = 0$ ,  $m_0^{упр} = 0$ ), то величина остаточного порового давления в рассматриваемой точке будет иметь максимальное значение  $P_w^{ост} = P_w^{max}$ . Если в грунте при действии нагрузки происходят только упругие деформации ( $\varepsilon_{упр} = \varepsilon_{пол}$ ,  $m_0^{пол} = m_0^{упр}$ ), то в этом случае остаточное поровое давление не возникает  $P_w^{ост} = 0$ . Во всех остальных

случаях величина остаточного напора определяется выражением (5). Наличие остаточных деформаций и сохранение остаточного порового давления в воде, заполняющей поры грунта, создает условия для поступления воды в дренирующий слой по мере его спада после прекращения воздействия внешней нагрузки. Причем, количество поступающей воды и продолжительность ее поступления зависят от величины остаточного порового давления и времени его сохранения.

Изучение процессов поступления воды в дренирующий слой и ее движения в дренирующем слое позволят уточнить положения расчета дренирующих слоев для получения адекватных результатов проектных решений конструкций дорожных одежд.

### Выводы

1. В результате воздействия колес транспортного средства на покрытие в переувлажненном рабочем слое земляного полотна возникает движение воды, которое осуществляется по двум принципиально различным схемам: горизонтальной и вертикальной.

2. Схема движения воды во многом определяется конструктивными особенностями покрытия, водопроницаемостью грунтового основания и его деформируемостью под нагрузкой. Горизонтальная схема фильтрации характерна для случая, когда оттаявший рабочий слой земляного полотна заключен между водонепроницаемым покрытием и мерзлым основанием. В этом случае скелет грунта под некоторой частью зоны действия нагрузки остается ненагруженным, величина сил трения в грунте минимальна и сопротивление напряжений сдвигу очень мало, что приводит к недопустимым деформациям в основании и покрытии. Однако если нагрузка на грунтовое основание передается через дренирующий слой, то в результате нагружения скелета на некоторую глубину от поверхности грунтового основания создаются условия значительного увеличения сопротивления грунта воздействию повторных нагрузок, тогда фильтрация воды происходит в вертикальном направлении.

3. Существенное влияние на условия движения воды оказывают характер расположения и скорость перемещения внешней

нагрузки. Нагрузка, передаваемая на малую площадь, размеры которой определяются размерами чаши прогиба, распределяется по ней равномерно. Грунт в основании дорожной одежды подвергается периодическим воздействиям нагрузок, давления от которых превышают давление от собственного веса одежды, при этом изменение величины удельного давления во времени носит немонотонный характер. Таким образом, при изучении закономерностей поступления воды в дренирующий слой необходимо учитывать кратковременность и многократность воздействия.

4. В зависимости от интервалов между приложениями нагрузки в результате многократного прохода транспортных средств происходит накопление остаточного порового давления, что создает условия для интенсивного притока воды в дренирующий слой в течение длительного времени. Величина притока и продолжительность поступления воды в дренирующий слой зависят от характера изменения и времени сохранения остаточного порового давления.

5. Изучение закономерностей поступления воды в дренирующий слой и фильтрации в нем позволит разрабатывать эффективные и относительно дешевые мероприятия по осушению основания дорожных одежд и поверхности рабочего слоя земляного полотна.

### Библиографический список

1. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Под. ред. И.А. Золотаря. – М.: Транспорт, 1971. – 416 с.
2. Тихонов, А.И. Уравнения математической физики / А.И. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 735 с.
3. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд (взамен ВСН 197-91)/ Министерство транспорта РФ / Гос. Служба дорожного хозяйства (Росавтодор). – М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2004. – 135 с.
4. МОДН 2-2001. Проектирование нежестких дорожных одежд / Межправительственный совет дорожников. – М.: ФГУП «СоюздорНИИ», 2002. – 155 с.
5. СНиП 2.05.02-85\*. Автомобильные дороги / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 54 с.
6. СНиП 2.05.07-91\*. Промышленный транспорт / Госстрой России. – М.: АПП ЦИТП, 1996. – 120 с.
7. Подольский, В.П. Технология и организация строительства автомобильных дорог. Т.1: Земляное полотно / В.П. Подольский, А.В. Глагольев, П.И. Поспелов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – 528 с.

## АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ПО НОРМАМ И МЕТОДАМ ОЦЕНКИ ВИБРАЦИИ НА КОЛЕСНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИНАХ

М.В. ПОДРУБАЛОВ, ассистент каф. сопротивления материалов МГУЛ

*podrubalov@mgul.ac.ru*

**В**ыбор типового возбуждения от профили пути для проведения испытаний мобильных машин с целью их тестирования на соответствие допустимому уровню вибрации на сиденье человека оператора обусловлен многими отечественными и международными стандартами [1–6]. Поэтому при построении натуральных или расчетных экспериментов по исследованию вибронагруженности колесной машины выбор из этих стандартов методики, наиболее адекватно отражающей реальные условия эксплуатации, например в лесопарковой зоне, является весьма актуальной.

1. ГОСТ 12.2.140/ГОСТ Р 50863 Тракторы малогабаритные, мотоблоки и мотокультиваторы. Общие требования безопасности (1).

В данном стандарте указаны общие положения и сделана ссылка на допустимые пределы воздействия вибрации, передающейся от опорных поверхностей к телу человека по ГОСТ 12.1.012.

Допустимые уровни определены в третьоктавных полосах частот среднеквадратическими значениями (СКЗ) ускорений по трем направлениям (горизонтально-продольном, горизонтально-поперечном и вертикальном) для времени воздействия от 30 минут до 8 часов. Расчет допустимого уровня вибрации  $U_t$  в зависимости от времени непрерывной работы оператора  $t$  предложено выполнять по ГОСТ 12.1.012. по формуле

$$U_t = U_{480} \cdot \sqrt{480/t};$$

где  $U_{480}$  – допустимое значение параметра вибрации на сиденье оператора для длительности воздействия 480 мин (8 часов).

2. Стандарт ИСО 2631-95. Руководство по оценке воздействия общей вибрации на тело человека.

Указывает допустимые пределы воздействия вибрации, передающейся от

опорных поверхностей к телу человека в частотном диапазоне до 80 Гц. Условия, характерные для эксплуатации тракторов и другой мобильной техники, в том числе легковых машин, полностью попадают под действие стандарта.

Пределы указаны для использования в соответствии с тремя общепризнанными критериями, обеспечивающими комфорт, эффективную работу, здоровье и безопасность. Пределы называются «Порог снижения комфорта», «Граница снижения производительности труда от усталости», «Предел воздействия (сохранения здоровья и безопасности)». Допустимые уровни определены в третьоктавных полосах частот СКЗ ускорений по трем направлениям (горизонтально-продольном, горизонтально-поперечном и вертикальном) для времени воздействия от 1 минуты до 24 часов. Этот стандарт является, очевидно, первоисточником по отношению к вышеприведенному в п.1.

3. ГОСТ 12.2.019. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности.

Хотя этот стандарт более позднего выпуска, в нем можно увидеть существенные недостатки:

– стандарт практически не связан с СТ ИСО 2631-95. В нем отсутствуют такие определяющие моменты, как три предела воздействия вибрации и время воздействия вибрации;

– зачем-то введено и в то же время не раскрыто понятие «основная операция», которое может входить, на наш взгляд, лишь в стандарт по методам оценки вибрации машин. Поэтому стандарт мало пригоден для выбора критерия качества при испытаниях и расчетах машин по оценке вибрации на сиденье оператора;

– допустимые СКЗ вертикальных ускорений на сиденье оператора для различ-

ных тракторов отличаются друг от друга, что противоречит международным стандартам. Очевидно, разработчики предполагали, что на тракторах различных классов и типов будут работать операторы с различной восприимчивостью к вибрации. Это неосуществимо в условиях реального с.-х. и лесопаркового производства;

– регламентируются только СКЗ вертикальных ускорений, что также не соответствует международным стандартам. Нормы по горизонтально-продольной и поперечной вибрациям даны лишь как рекомендуемые.

4. Стандарт ИСО 5008-2004. Сельхозтракторы и машины. Измерение вибрации тела водителя.

Рекомендует проводить испытания по оценке вибрации на сиденье оператора при движении холостым ходом на двух искусственных фонах (ординаты приведены), правая и левая колеи которых отличаются друг от друга: ровная колея длиной 100 м (скорость трактора 12 км/ч), неровная – длиной 35 м (скорость 5 км/ч).

Отклонение скорости допускается в пределах  $\pm 5\%$ . В этой части стандарта сомнительным является то, что при испытаниях трактора холостым ходом давление воздуха в шинах должно быть среднеарифметическим в рекомендуемом изготовителем диапазоне величин. Это приведет к повышенной жесткости шин и росту вибрации по отношению к правильному варианту.

Кроме того, методика измерений, которую указывает стандарт, предусматривает проведение испытаний в типичных для каждой машины условиях эксплуатации с возможной регистрацией профиля грунта и его спектра. Однако нормировка полученных оценок ускорений по отношению к вышеприведенным фонам отсутствует. Нет также указаний по выбору «типичного» фона и соответствующей ему скорости движения.

В стандарте обязательна регистрация и оценка СКЗ виброускорений на сиденье в трех направлениях. Этот стандарт соответствует Британскому стандарту 4220.

5. Стандарт СЭВ 3472-81. Охрана труда. Машины и тракторы сельскохозяйс-

твенные и лесные. Методы измерения параметров вибрации на рабочем месте.

По нему обязательна регистрация и оценка СКЗ виброускорений на сиденье оператора в трех направлениях на следующих фонах: искусственных фонах СТ ИСО 5008-2004 на холостом ходу; искусственных фонах, имитирующих грунтовую дорогу 240 м и агрофон 120 м (ординаты приведены) на холостом ходу; на транспортной операции при движении по грунтовой дороге со скоростью 12 км/ч. Нормировка полученных оценок ускорений по отношению к какому-либо фону также отсутствует. Допусков на скорости не приводится. Колеи совпадают. Это является качественным противоречием по отношению к искусственным фонам СТ ИСО 5008–2004 и самому же себе, регламентирующему те же фоны для испытаний. Кроме того, при движении трактора по фонам без сдвига поперечные ускорения будут возникать только вследствие несимметричности динамической системы трактора и неидентичности профилей по разным колеям, обусловленной строительными допусками. Поэтому уровень этих ускорений не будет соответствовать уровню, который бы мог возникнуть при несовпадении ординат правой и левой колеи (что присуще свойству реальной местности), и требование рассматриваемого стандарта по оценке поперечной вибрации на искусственных фонах с одинаковыми колеями является необоснованным.

6. ГОСТ 12.2.2.002. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности.

Хотя во введении стандарта утверждается, что он полностью соответствует СТ СЭВ 3472-81, из дальнейшего можно видеть, что такое соответствие отсутствует.

Стандарт регламентирует проведение испытания тракторов по оценке только вертикальной (пункт 2.2.15.10) вибрации на сиденье оператора на следующих фонах :

– искусственные треки (фоны) – для колесных универсально-пропашных тракторов (УПТ) класса 0,6-2 и колесных тракторов общего назначения класса 3–5. Однако в отличие от СТ СЭВ и ИСО ординаты

искусственных фонов не приводятся. Ссылки же на то, что параметры типового микропрофиля (табл. 2 стандарта) каким-либо образом связаны с аналогичными параметрами того или иного искусственного фона, также нет;

– в типичных условиях эксплуатации. Например, для указанных выше типов колесных тракторов определено транспортное движение по грунтовой дороге со скоростью  $15 \pm 2$  км/ч (УПТ и общего назначения) и стерне со скоростью 8–10 км/ч (общего назначения). Стандарт предписывает проведение регистрации профиля фона, на котором проведены испытания, и расчет СКЗ высот неровностей этого фона в диапазонах частот первых четырех диапазонов октавы (0,88–1,4; 1,4–2,8; 2,8–5,6; 5,6–11,2 Гц). Неясно, по какой колее необходимо регистрировать профиль и нужно ли усреднять ординаты по правой и левой колеям. Стандарт регламентирует приведение (нормировку) полученных при испытаниях оценок СКЗ ускорений на сиденье по формуле

$$\sigma_i^* = \sigma_i(\sigma_{zi}^* / \sigma_{zi}); \quad (1)$$

где  $\sigma_i^*$  и  $\sigma_i$  – оценочное и измеренное при испытаниях СКЗ виброускорения в  $i$ -ом диапазоне частот, м/с<sup>2</sup>;

$\sigma_{zi}^*$ ,  $\sigma_{zi}$  – СКЗ функции высоты неровностей типовых фонов по стандарту и измеренных при испытаниях в  $i$ -м диапазоне частот, см.

Обоснования такой нормировки в литературных источниках не найдено. Формула (1) неверна с позиции статистической динамики. Корректным является выражение

$$\sigma_i^* = \sqrt{\int_i S_z(f) \frac{H_z^*(f)}{H_z(f)} df}, \quad (2)$$

где  $S_z(f)$  – измеренная при испытаниях спектральная плотность вертикальных ускорений на сиденье;

$H_z^*(f)$ ,  $H_z(f)$  – спектральные плотности вторых производных функций возбуждений от типового фона по стандарту и измеренных во время

испытаний при регламентированных скоростях движения тракторов.

Только при условиях практического совпадения или эквидистантности кривых нормированных спектральных плотностей вторых производных возбуждений от эталонных и реальных фонов в каждом октавном диапазоне можно преобразовать формулу (2) в выражение, более простое с точки зрения инженерного применения и понимания (хотя теоретически получение оценок и расчетные методы остаются прежними)

$$\sigma_i^* = \sigma_i(\sigma_{zi}^* / \sigma_{zi}); \quad (3)$$

где  $\sigma_{zi}^*$ ,  $\sigma_{zi}$  – СКЗ второй производной функции возбуждения (возбуждений по ускорению) от типового фона и измеренных при испытаниях в каждом диапазоне частот при регламентированной скорости движения.

Таким образом, анализ рассмотренных стандартов показал их методологическую противоречивость по отношению друг к другу. При использовании этих стандартов невозможно обеспечить однозначность получения результатов расчетов и испытаний колесных машин и малогабаритной техники по оценке виброн нагруженности и воздействия вибрации на оператора и возможность их корректного сравнения.

### Библиографический список

1. ГОСТ 12.2.140-97/ГОСТ Р 50863-96 Тракторы малогабаритные, мотоблоки и мотокультиваторы. – М.: Изд. стандартов, 1997.
2. Стандарт ИСО 2631-78. Руководство по оценке воздействия общей вибрации на тело человека. – М.: Сборник стандартов, 1997.
3. ГОСТ 12.2.019-86. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. – М.: Сборник стандартов, 1997.
4. СТ ИСО 5008-2004. Сельхозтракторы и машины. Измерение вибрации тела водителя. – М.: Изд. стандартов, 2004.
5. СТ СЭВ 3472-81 Охрана труда. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы измерения параметров вибрации на рабочем месте. – М.: Сборник. стандартов, 1997.
6. ГОСТ 12.2.002-91 Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. – М.: Изд. стандартов, 1991.

## ДОСТУПНОСТЬ РЕСУРСОВ СЫРЬЯ ДЛЯ ЛЕСОПИЛЕНИЯ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Е.С. РОМАНОВ, *проф. каф. экономики отраслей Архангельского ГУ, д-р экон. наук,*  
И.В. ЛАВРОВА, *ст. преподаватель каф. экономики отраслей Архангельского ГУ*

*ec-otrasl@agtu.ru*

На европейских рынках давно признано, что древесина северных (архангельских) сосны и ели отличается особо высокой прочностью и качеством волокна. Благодаря вековым (без преувеличения) традициям лесопиления и лесозэкспорта лесопильная промышленность Архангельской области сохраняет позиции на внешних рынках наперекор всем негативным факторам последнего полувека.

Первый наш вывод состоит в том, что в лесопилении переход России от социалистической экономики к рыночной не только не привел к улучшению, но усугубил старые, дорыночные проблемы и породил новые. Острейшей проблемой стал нарастающий дефицит сырья. Лесозаготовительная отрасль, которая все годы советской власти находилась под опекой партии и правительства, в условиях рынка буквально распалась и находится в критическом состоянии. Лесосплав и лесоперевалочные базы без поддержки государства оказались инородными телами в рыночной среде. Кризис лесозаготовок и крах лесосплава явились новыми и серьезными факторами дефицита сырья для лесопиления. Это особенно ощутимо в Архангельской области, Республике Коми, где нет развитой сети железных и автодорог. При современной экономической политике РФ это состояние продлится долго; останется актуальной и проблема дефицита древесного сырья, причем не только для лесопиления.

Подготовка и принятие (в 2006 г.) нового Лесного кодекса РФ надолго запомнятся острейшими противоречиями участников этого процесса. В проблеме доступности лесных ресурсов кодекс будет иметь далеко идущие последствия. Пока он сделал ресурсы более доступными лишь для крупного капитала. Официально доступность по России повысилась в 2007 г. на 4 % и достигла (по запасу) 252 млн м<sup>3</sup> в год. В Архангельской области доступность не повысилась.

В советской экономике речь шла в основном о недоступности огромных лесных ресурсов Сибири и Европейского Севера из-за неразвитости там транспортной инфраструктуры. В современной практике понятие доступных лесов постепенно приобрело новый смысл: это уже не леса, освоение которых нецелесообразно по народнохозяйственным соображениям, а попросту «нерентабельные» участки леса, не приносящие или не сулящие прибыли лесопользователю, непривлекательные для бизнеса.

В конкретных условиях ограниченная доступность и недоступность лесных ресурсов всегда будет выступать в виде некоторого набора, комбинации разных проявлений. В работе [2] мы предложили семь видов проявлений факторов, ограничивающих доступность лесных ресурсов (леса на корню): транспортные; экономические; ресурсные; институциональные; эксплуатационные; экологические; социальные. Содержание этих понятий раскрыто по тексту [2]. На рисунке дана наша структура понятия доступности лесных ресурсов. Не следует придавать значения очередности проявлений – это не убывание их значимости. Диалектическую взаимозависимость, взаимопроникновение форм проявлений мы считаем само собой разумеющимися как в действительности, так и в исследовании. Одни проявления можно считать доминирующими, другие второстепенными, сопутствующими. Соответственно и решения о том, как преодолевать ограничения, расширять доступность будут разными и разномасштабными.

Пока на поверхности видны транспортные, экономические, ресурсные ограничения. Самое простое, осязаемое представление о доступности/недоступности природных ресурсов связано с наличием транспортной инфраструктуры. Дефицит лесовозных дорог имел место и в СССР, но социалистическая экономика все же находила пути и средства его смягчения.



Рисунок. Структура понятия доступности лесных ресурсов

В СССР большую роль в решении проблем доступности лесных ресурсов играл *лесосплав*. Ни в одной другой стране его объемы, разнообразие технологий не получили такого развития. Поистине роковую роль сыграли принятые в 1984 г. решения о ликвидации молевого сплава. Последовавшее за тем крушение социалистической экономики оказалось для лесосплава «смерти подобным»: распалась система органов, без которых речной лесосплав невозможен. Так, флот Северного речного пароходства растащили 160 мелких частных судовладельцев. В итоге громадные лесные массивы, где нет железных и шоссейных дорог, стали экономически недоступными. Зная, что доставка сырья в Архангельск, Онегу и др. сплавом намного дешевле, чем по суше, частные лесопромышленники тем не менее не задумываются над тем, чтобы, объединив усилия, хотя бы частично возродить лесосплав, разумеется, с соблюдением современных экологических требований. Выход здесь будет зависеть от разработки новых технологий лесосплава и их востребованности бизнесом. Пока слабость регионального бизнеса искусственно делает

недоступными многие массивы, которые можно бы вовлечь в эксплуатацию, развивая плотовой сплав. Появление более состоятельных инвесторов или ассоциация имеющихся могут сразу раздвинуть границы доступности. Следует иметь в виду, что реки и озера становятся транспортной инфраструктурой только при наличии и поддержании условий судоходства: судоходная обстановка, дноуглубление, требования Водного кодекса РФ. Все это – функции государства, т.е. внешняя инфраструктура. Но здесь всегда присутствуют интересы населения, других отраслей; их учет и согласования – обязанность администрации и законодателей субъекта РФ, муниципалитетов. Инициатива может и должна исходить от лесного бизнеса.

Частная собственность разделила лесопромышленников, сделала их конкурентами. Мы по инерции все еще пользуемся термином «комплекс», а на самом деле лесопромышленного комплекса давно нет, есть разнокалиберный набор собственников: в России более 30 тыс., в Архангельской области – свыше 1100 (только зарегистрированных). Вряд ли эти множества могут объединяться для стро-

ительства дорог, для дноуглубительных работ и т.п. Став самостоятельными, присваивая себе прибавочный продукт, они продолжают рассчитывать на государство.

Спорная проблема формулируется так: может ли частный лесозаготовитель рассчитывать на участие государства в финансировании вложений в строительство лесовозных дорог? В общем виде, в обычных условиях ответ может быть только отрицательным: не может, не должен. Государство в России – это федерация и субъекты. Если они пожелают вложиться в лесной бизнес, им это не запрещено. Но обязанности строить лесовозные дороги государство не несет.

Практически около 50 субъектов Федерации имеют лесной сектор и есть примеры участия администраций в строительстве лесовозных дорог. В Пермском крае проект «Лесные дороги», включающий сооружение 21 км трассы общей стоимостью 339 млн руб., финансировался из регионального бюджета. Основная цель проекта – строительство новых трасс и реконструкция существующих для увеличения объемов освоения расчетной лесосеки, а также помощь в развитии труднодоступных лесозаготовительных районов на севере края. Цель, несомненно, благая. Аналогичная проблема стоит в Архангельской области по освоению лесов Лешуконского, Мезенского и Пинежского районов. Бывший губернатор Архангельской области Н.И. Киселев не раз обещал подключиться к решению этой проблемы, но фактически финансирование не состоялось. Губернатор Вологодской области высказывался за участие в освоении неарендованных площадей. Но все это относится к «внешней» транспортной инфраструктуре.

Сухопутную транспортную инфраструктуру, связанную с лесом, можно разделить на внешнюю и внутреннюю (лесную). Соответственно реальностью являются два типа дорог: а) дороги ОАО «РЖД» и шоссейные государственные, а также муниципальные и б) технологические, лесовозные.

О сухопутном транспорте можно сделать следующие выводы:

а) Внешняя транспортная инфраструктура находится в компетенции государства и муниципалитетов, внутренняя – в компетен-

ции субъектов лесного предпринимательства. Каждый из этих владельцев принимает на себя ответственность и решает все вопросы создания, развития, поддержания транспортной инфраструктуры.

б) Государство и муниципалитеты не обязаны строить лесовозные (технологические) дороги для действующих частных субъектов лесного предпринимательства. Государственные и муниципальные унитарные предприятия (ГУП, МУП) строят себе лесовозные дороги на хозрасчетных принципах самокупаемости и самофинансирования.

в) На площадях, еще не вовлеченных в лесопользование, возможны и желательны государственные и муниципальные инвестиции в строительство дорог. Они рассматриваются как вложения во внешнюю инфраструктуру с последующим сохранением за инвестором права собственности, продажи или сдачи в аренду.

г) Строительство лесовозных технологических дорог – обязанность субъекта предпринимательства: частного, ГУП, МУП. Это положение следует закрепить в лесной политике РФ или иным способом и прекратить дискуссии о необходимости участия государства.

д) Для лесозаготовительного предприятия как налогоплательщика важно, чтобы все расходы по строительству лесовозных дорог были признаны расходами, уменьшающими прибыль как налогооблагаемую базу, т.е. включены в себестоимость лесопродукции. Возникающее здесь разночтение со ст.261 Налогового кодекса надо законодательно преодолеть.

е) Промежуточной формой лесотранспортной инфраструктуры могут стать *грузосборочные магистрали*, связывающие нескольких лесозаготовителей с внешней инфраструктурой и между собой. Инвестирование в грузосбор может быть либо долевым частным (ассоциация или другое), либо смешанным государственно-частным. При этом необходимо учесть интересы населения и муниципальные.

С точки зрения доступности ресурсов усыхание лесных массивов междуречья Сев. Двины и Пинеги – явление сразу ресурсное, экологическое и упирается в экономику (необходимость срочно найти инвестиции); возникнут тут и институциональные аспекты (аренда, концессия).

Весьма своеобразен главный для нас вопрос – о доступности ресурсов пиловочного сырья. Ресурсов в Архангельской области достаточно, но дефицит уже явно обозначился. От ассортимента готовой конечной продукции зависит спрос на пиловочник по диаметрам, длинам. Априори ясно, что пиловочник большей толщины менее доступен еще на стадии выхода сортиментов из лесосечного фонда. Это, в свою очередь, может служить основанием для повышения лесозаготовителем цены на более крупный пиловочник. Однако рост цены пиловочника будет ограничивать спрос на него вплоть до недоступности. Стремление переработчика получить более высокий результат наталкивается на ограниченную доступность ресурса. Это ограничение доступности отнесено нами к разряду экономических. Влияние размеров пиловочного сырья на доступность лесных ресурсов и конкретную зависимость между выходом пиломатериалов и диаметрами пиловочника в условиях рамного лесопиления изучала И.В.Лаврова на Соломбальском ЛДК, г. Архангельск [1].

Очевидно, что ограничений уже имеется много, они появляются вновь, но могут быть и ослаблены, сняты. На практике «экономическая доступность ресурса» – это всего лишь образное выражение для тех факторов и ситуаций, когда конкретному предпринимателю невыгодно приобретать этот ресурс. Ресурс, находящийся вблизи существующей дороги или судоходной реки и физически вполне доступный, может оказаться недоступным экономически, если чрезмерно удален от пункта, куда его (ресурс) хотел бы доставить предприниматель. В этом случае ресурс, экономически доступный для одного предпринимателя, может оказаться недоступным для другого. Точно так же доступное сегодня может оказаться недоступным завтра и наоборот. Иными словами, экономическая доступность или недоступность ресурса – понятие относительное сразу в нескольких смыслах: относительно пространства, времени, субъекта. Когда говорят о недоступности пиловочника в Архангельской области, то имеют в виду ситуацию, в которой для данного участка лесного фонда вообще не находится предпринимателей, желающих в данное

время осваивать этот массив. Но изменятся обстоятельства, появятся новые «игроки», и участок может стать экономически доступным. Примерно так же обстоит дело с нормативными ограничениями лесопользования, которые устанавливает государство (институциональные проявления).

Прежде чем идентифицировать конкретные участки как экономически доступные, надо выделить зоны *абсолютно недоступные*. На данный момент абсолютно недоступными можно считать те леса Архангельской области, которые не предполагается ввести в эксплуатацию ни в одной из имеющихся стратегических долгосрочных программ, например, до 2030 г. Все остальные леса можно разделить на относительно доступные и недоступные. Когда говорят о высокой доле России в мировых лесных ресурсах, то кто-то умалчивает, а кто-то и не знает о том, что огромные запасы лиственницы в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке экономически недоступны. Остается надеяться, что эта недоступность относительная, временная.

Такие явления, как истощенность лесосырьевых баз, заболоченность, пересеченная местность и т.п., выступают как ресурсные, эксплуатационные ограничения. Они тоже относительны: лесфонд, не выгодный для лесозавода, да еще и отдаленного, «доступен» во всех смыслах для ближайшего ЦБК; совершенствование лесопильного оборудования сделало «доступным» сырье с кривизной и т.д.

В свое время руководитель Федерального агентства лесного хозяйства В. Рошупкин неоднократно высказывался о намерении Рослесхоза постепенно снижать избыточные ограничения на лесопользование. Он констатировал, что доля лесов, где разрешены рубки, в Финляндии, Германии и др. достигает 98 %, а в среднем находится на уровне 90 %, тогда как в России она составляет лишь 42 %. Агентством проводится инвентаризация действующих ограничений. Предусматривается устранить устаревшие ограничения применения современных многооперационных машин на лесосеке (харвестеры, форвардеры). В нашей классификации это ограничение выступает как недоступность экологическая по существу и институциональная по форме. Другой шаг

Рослесхоза в снятии институциональных ограничений – допустить оставление коммерческой древесины на корню, что в прошлом называли несплошными рубками, оставлением недорубов; в Костромской области уже осуществлен пилотный проект. Доступность лесных ресурсов зачастую ограничивают сами арендаторы: работая неэффективно, они закрывают доступ новым лесопользователям, готовым к серьезному инвестированию. Это примеры институциональной недоступности «со стороны собственности». Сюда же придется добавить ограничение доступности лесного фонда из-за принятия по Лесному кодексу аукциона как единственной формы предоставления аренды. Действующие арендаторы опасаются, что в России найдется немало более состоятельных претендентов, которые на аукционах «перехватят» лесные площади ради целей, далеких от ЛПК. Проницательный политик, хорошо знающий ситуацию в лесном секторе, вологодский губернатор В.Е. Позгалев предостерегает, что принятие нового лесного закона может разрушить сформировавшийся за десять лет класс лесопромышленников и приведет к переделу лесного бизнеса.

Остро стоит вопрос о государственных предпочтениях инвесторам. В постановлении правительства есть только указание о 50 % скидке со стоимости леса на корню и выделении лесфонда без аукционов по приоритетным инвестиционным проектам, но не ясно, распространяется ли это на тех инвесторов, которые вкладывают средства в модернизацию уже существующего производства или только на вновь приходящих. Отечественные ВИС опасаются, что рядом с ними могут появиться более состоятельные и более искусные в бизнесе иностранные инвесторы.

Из изложенного видна многогранность темы доступности лесных ресурсов в России и особенно на Севере. Исследования по ней, несомненно, будут продолжены. На данном этапе можно сделать следующие выводы.

1) Предложена классификация проявлений недоступности [2]. Очевидно, что преодолевать недоступность надо по всем направлениям. Любое представление о недоступности ресурсов относительно и со временем может измениться.

2) Реальным и наименее затратным путем расширения доступности лесных ресурсов на Севере является возрождение лесосплава. В работе [3] предложена новая прогрессивная, экологически безопасная технология единого транспортного пакета. Ее авторы утверждают, что при внедрении в лесных массивах, примыкающих к малым рекам бассейна Сев. Двины, можно освоить сплавом более 250 млн м<sup>3</sup> эксплуатационных запасов, в том числе пиловочника более 100 млн м<sup>3</sup>.

3) Расширение доступности лесных ресурсов носит *экстенсивный* характер. Одновременно следует мобилизовать интенсивный фактор – снижение дефицита сырья путем уменьшения потребности при лучшем, более полном использовании сырья в процессе лесопиления и другой переработки. Недалековидная техническая политика в отечественном лесопилении начиная с 1960-х годов привела к снижению выхода пиломатериалов на 10 % и более; потребность в сырье возросла на 20 %. Одновременно идет процесс старения оборудования. Модернизация и техническое перевооружение лесопильной отрасли снизят потребность в сырье, дефицит ослабнет.

4) Недоступность стимулирует научно-технический прогресс. Глубокая переработка древесного сырья сделает невыгодное ныне выгодным в будущем, расширит границы доступных лесных ресурсов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ и администрации Архангельской области в рамках проекта № 06-02-48203 а/с «Пути расширения зон экономической доступности полноценного сырья для лесопильного производства в Архангельской области».

#### Библиографический список

1. Лаврова, И.В. О влиянии размерно-качественных характеристик пиловочного сырья на доступность лесных ресурсов / И.В. Лаврова // Экономические и социальные проблемы развития Европейского Севера: сб. научн. трудов. – Архангельск, 2006. – С. 72–76.
2. Романов, Е.С. Структуризация понятия доступности лесных ресурсов / Е.С. Романов, И.В. Лаврова // Лесной журнал. – 2006. – № 3. – С. 120–125.
3. Харитонов, В.Я. Единый транспортный пакет на замену молевому сплаву (опыт внедрения) / В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов // Лесной журнал. – 2007. – № 1. – С. 45–52.

## ТРАНСПОРТНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СТАНКОВ В ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕХЕ ПРИ ИХ ГИБКОЙ КОМПОНОВКЕ

А.А. ШАДРИН, проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук

shadrin@mgul.ac.ru

В процессе производства технологическое оборудование лесообработывающего цеха с ГЛП формирует поток заявок на выполнение транспортных операций. Обслуживание заявок (пачек лесоматериалов) выполняется одним или несколькими транспортными средствами. В условиях мелкосерийного, гибкого производства затраты времени на обработку пачек лесоматериалов носят стохастический характер. Проведенные исследования показали [1, 2], что поток заявок на обслуживание транспортной системой также будет случайным. При гибкой компоновке станков лесообработывающего цеха, обслуживаемых транспортной системой, число заявок, поступающих от технологического оборудования на транспортную систему после произвольного момента времени, не зависит от количества заявок, поступивших на транспортную систему до этого времени. Такое свойство независимости потока заявок от числа ранее поступивших заявок и времени их поступления называется отсутствием последствия, а сам поток заявок называется потоком требований без последствия.

В любой момент на транспортную систему лесообработывающего цеха с ГЛП поступает одна заявка, вероятность одновременного поступления двух и более заявок мала. Потоки заявок, обслуживаемые таким свойством, называются ординарными.

При анализе распределения потока пачек лесоматериалов на обслуживание транспортной системой необходимо учитывать, что вероятность поступления определенного числа заявок в течение заданного промежутка времени не зависит от начала отсчета, а является функцией длительности этого промежутка. Такой поток заявок является стационарным.

Таким образом, поток заявок на обслуживание транспортной системой технологического оборудования лесообработывающего

цеха обладает свойствами стационарности, отсутствием последствия и ординарности, т. е. является простейшим. При простейшем потоке интенсивность поступления  $\lambda$  заявок в систему в единицу времени определяется по формуле [3]

$$\lambda = \sum_{j=1}^n \lambda_j P_j(t),$$

где  $\lambda_j$  – число заявок от  $j$ -го станка, поступивших в транспортную систему за время  $t$ ;

$P_j(\lambda)$  – вероятность поступления заявок за время  $t$ ;

$n$  – количество станков в лесообработывающем цехе.

Среднее число заявок  $\lambda$ , поступающих в транспортную систему за единицу времени, определяется производительностью отдельных станков лесообработывающего цеха. Для простейшего потока с интенсивностью  $\lambda$  интервал между соседними событиями имеет распределение с плотностью

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} (t > 0).$$

Следовательно, анализ потока заявок на транспортную систему лесообработывающего цеха можно проводить методами теории массового обслуживания. Такой анализ позволяет определить коэффициент использования транспортной системы, среднее время обслуживания пачек лесоматериалов на станках, коэффициент использования станков и др. с использованием аналитических зависимостей.

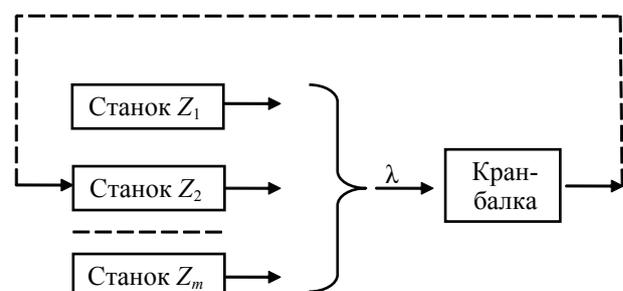


Рис. 1. Схема одноканальной однофазной СМО лесообработывающего цеха

При проектировании гибких лесоперерабатывающих процессов возникает задача определения количества станков, которое может обслуживать транспортное средство. Обслуживание нескольких станков одним транспортным средством (кран-балкой) снижает производственные затраты. Однако при многостаночном обслуживании увеличиваются простои станков.

Для примера можно рассмотреть СМО с ограниченным количеством заявок в системе и интенсивностью поступления требований в систему  $\lambda$  [4]. При известном времени обслуживания заявки кран-балкой  $T_{\text{обс}}$  интенсивность обслуживания будет равна  $\mu = 1/T_{\text{обс}}$ . Схема одноканальной однофазной СМО показана на рис. 1.

Следующие состояния системы: число заявок  $n$  (пачек лесоматериалов), поступающих в систему  $0 < n \leq m$ ; при  $n = m$  в системе находится максимальное число заявок. При  $n = 0$  канал обслуживания (кран-балка) простаивает;

Переход СМО из состояния  $Z_{n-1}$  в состояние  $Z_n$  происходит под воздействием входящего потока пачек лесоматериалов с интенсивностью  $\lambda$ . Переход СМО из состояния  $Z_n$  в состояние  $Z_{n-1}$  происходит по мере обслуживания кран-балкой станков с интенсивностью  $\mu$ .

В соответствии с теорией массового обслуживания вероятность того, что в системе находится  $n$  заявок, составит [3]

$$P_n = (m!p^n/(m-n)!)P_0.$$

Используя равенство

$$\sum_{n=0}^m P_n = \sum_{n=0}^m (m!p^n/(m-n)!)P_0 = 1,$$

получим вероятность простоя канала обслуживания (кран-балки)

$$P_0 = [1 + \sum_{n=1}^m (m!p^n/(m-n)!)]^{-1}.$$

Среднее число заявок, находящихся в очереди

$$N_{\text{оч}} = m - 1/\rho(1 - P_0),$$

среднее число заявок, находящихся в системе

$$N_c = m - 1/\rho(1 - P_0),$$

среднее время ожидания заявки в очереди

$$T_{\text{ож}} = 1/\mu[m/(1-P_0) - (1+\rho)/\rho],$$

среднее время ожидания заявки в системе

$$T_c = 1/\mu[m/(1-P_0) - 1/P].$$

Представление ГЛП как СМО позволяет оценить мероприятия по сокращению

времени обслуживания станков и повышению эффективности функционирования ГЛП.

При формировании гибкого технологического процесса лесоперерабатывающего производства решаются задачи рациональной компоновки оборудования в цехе, обеспечения станков сырьем и полуфабрикатами, выбора транспортной системы и количества транспортных единиц. При обслуживании нескольких станков одним транспортным средством повышается загрузка этого транспортного механизма, но увеличивается вероятность простоя станков в ожидании обслуживания, если возникает потребность в новом сырье или полуфабрикатах.

Проведенные ранее исследования штабелевочно-погрузочных работ на лесных складах [2] показали, что оптимальная загрузка применяемых ПТМ находится в пределах от 40 % до 60 % от их максимально возможной производительности. В противном случае применяемые ПТМ будут оказывать сдерживающее влияние на выполнение технологических операций, что приводит к снижению эффективности функционирования всего технологического процесса обработки древесного сырья. Анализ производственных процессов лесоперерабатывающих цехов показал, что запросы от технологического оборудования на обслуживание внутрицеховыми ПТМ можно представить в виде потока заявок на выполнение транспортных операций.

В условиях лесозаготовительного производства при значительном варьировании размерных и качественных параметров древесного сырья и полуфабрикатов затраты времени на их обработку носят случайный характер. Моменты поступления заявок на ПТМ и их количество также являются случайными величинами. Поэтому поток заявок на транспортную систему в целом следует считать случайным.

Необходимо отметить, что станки в технологическом потоке цеха при их гибкой компоновке выполняют операции независимо друг от друга. Передача пачек заготовок от станка к станку осуществляется с помощью ПТМ подвешенного типа. При этом количество заявок, поступивших от станков в определенный период времени, не зависит от количес-

тва заявок, поступивших на транспортную систему до начала этого периода времени.

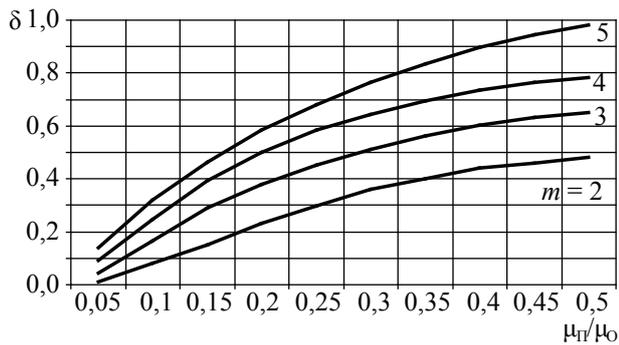


Рис. 2. Влияние количества станков  $m$  в технологическом потоке и интенсивностей поступления заявок  $\mu_n$  на ПТМ и их обслуживания  $\mu_0$  на загрузку ПТМ лесоперерабатывающего цеха

На рис. 2. представлены результаты расчета коэффициента загрузки подвесной ПТМ (кран-балки) в зависимости от интенсивностей потока заявок  $\mu_n$  на ПТМ и обслуживания этих заявок  $\mu_0$ , а также от количества станков в лесоперерабатывающем цехе.

Из графика видно, что с ростом интенсивности поступления пачек древесного сырья и количества станков в технологическом потоке наблюдается рост загрузки приме-

няемого ПТМ. При определенных значениях коэффициент загрузки ПТМ принимает свое максимальное значение и его рост прекращается. При дальнейшем увеличении ПТМ будет оказывать сдерживающее влияние на работу лесоперерабатывающих станков и потребуются устанавливать дополнительный подъемно-транспортный механизм. Как показывают расчеты, в зоне действия одного ПТМ целесообразно размещать до 4–5 единиц лесоперерабатывающего оборудования. Приведенным графиком можно пользоваться как номограммой для определения количества ПТМ лесоперерабатывающего цеха.

### Библиографический список

1. Камусин, А.А. Управление лесоскладскими процессами предприятий с рейдами приплава : автореф. дисс. ... д-р техн. наук / А.А. Камусин. – М., 1998. – 42 с.
2. Редькин, А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: учебник для вузов / А.К. Редькин. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 256 с.
3. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
4. Медведев, В.А. Технологические основы гибких производственных систем: под ред. Ю.М. Соломенцева / В.А. Медведев. – М.: Высшая школа, 2000. – 255 с.

## ГИБКИЕ ЛЕСОПЕРераБАТЫВАЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.А. ШАДРИН, *проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук*

*shadrin@mgul.ac.ru*

Одним из перспективных направлений развития обработки древесного сырья в условиях лесозаготовительных предприятий является создание цехов с гибким лесоперерабатывающим процессом, обеспечивающим возможность быстрого перехода с выпуска одного вида лесопродукции на другой при одновременном обеспечении стабильно высокого качества продукции и ее конкурентоспособности в условиях рынка. В настоящее время в лесоперерабатывающем производстве лесозаготовительных предприятий наблюдается расширение номенклатуры производимой лесопродукции и увеличение ее общего

количества. Изменение номенклатуры обрабатываемых лесоматериалов и номенклатуры выпускаемой продукции требует построения лесоперерабатывающих процессов, способных оперативно адаптироваться к постоянно меняющимся условиям их функционирования. Этому требованию удовлетворяют гибкие производственные процессы лесоперерабатывающих цехов. При этом гибкость лесоперерабатывающего процесса во многом является средством, обеспечивающим устойчивость всего производственного процесса, что положительно сказывается на эффективности его функционирования. В свою очередь, ус-

тойчивость производственного процесса определяется уровнем стабильности выходных характеристик (объема обработки древесного сырья в цехе, объема выхода готовой продукции, номенклатуры, качества и стоимости продукции) [1].

Анализ проведенных исследований [1–3] показывает, что гибкость лесоперерабатывающего производства, обеспечивающая его способность адаптироваться к изменяющимся условиям функционирования, может быть достигнута за счет реализации в процессе производства основных видов гибкости, тесно связанных между собой. При этом различают технологическую гибкость и связанную с переналаживаемостью производственной системы. Эти основные признаки связаны с маршрутной, операционной и номенклатурной видами гибкости, а также с гибкостью объемов выпуска готовой продукции цехов.

Технологическая гибкость лесоперерабатывающего процесса отражает его способность использовать различные варианты технологического процесса для компенсации возможных отклонений от запланированного графика производства и подразделяется на маршрутную и операционную.

Многовариантные технологические маршруты используются для компенсации локальных перегрузок, возникающих на от-

дельных видах оборудования из-за поломок или вследствие изменения размерно-качественных параметров обрабатываемых лесоматериалов. Кроме того, изменение маршрута обработки может быть следствием поступления в цех лесоматериалов различного назначения, что является характерным для производственного процесса комбинированных лесоперерабатывающих цехов. Выбор варианта технологического маршрута и переход с одного варианта на другой в процессе обработки лесоматериалов может осуществляться системой управления производством автоматически на основе анализа текущей информации о состоянии производства или по команде оператора, наблюдающего за производством.

Операционная гибкость предусматривает возможность обеспечения эффективного функционирования гибкого лесоперерабатывающего процесса при переменной длительности цикла обработки различных лесоматериалов. Проведенными исследованиями [4–6] установлено, что размерно-качественные параметры лесоматериалов, поступающих в цех на обработку, варьируются в достаточно широких пределах и существенно влияют на продолжительность цикла их обработки. Поэтому операционную гибкость необходимо задавать еще на этапе проектирования лесоперерабатывающего процесса.

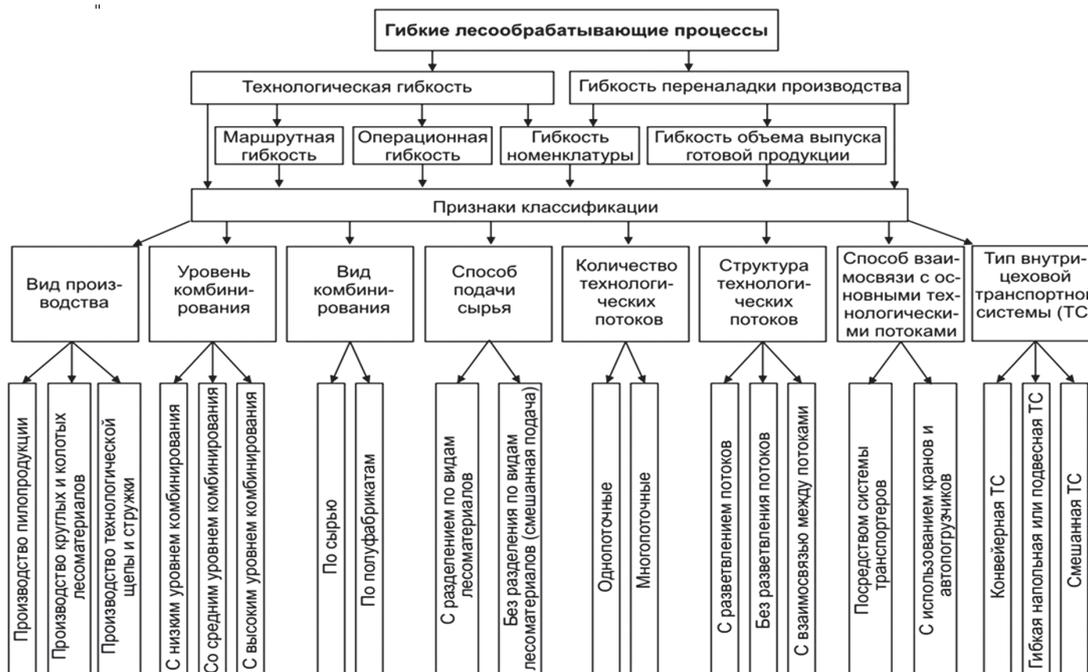


Рис. 1. Классификация гибких лесоперерабатывающих процессов

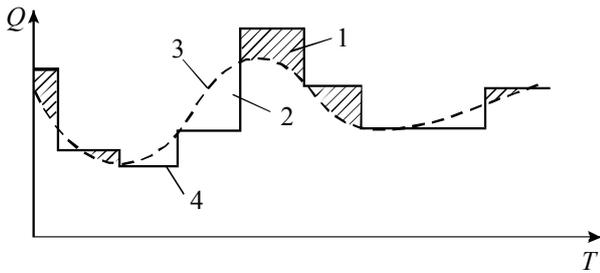


Рис. 2. Изменение объема производства и объема заказов на лесопродукцию лесопrocessing цеха с ГПП: 1 – запас неостребованной лесопродукции; 2 – необеспеченные заказы на лесопродукцию; 3 – заказанная лесопродукция; 4 – произведенная лесопродукция;  $Q$  – объем выпуска готовой продукции за определенный период времени;  $T$  – период времени

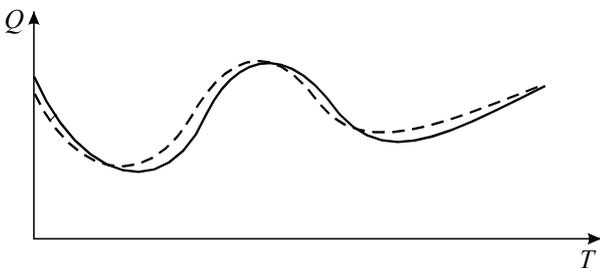


Рис. 3. Изменение объемов заказанной лесопродукции и объемов ее выпуска при прогнозируемом спросе: 1 – заказанная лесопродукция; 2 – фактически произведенная лесопродукция

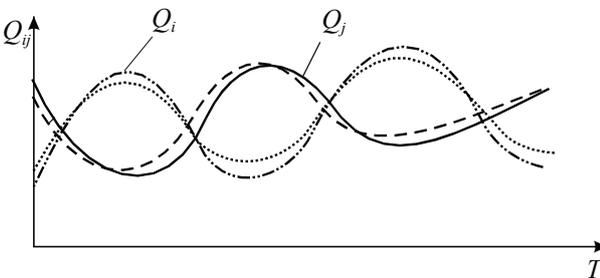


Рис. 4. Принцип максимальной загрузки оборудования комбинированного цеха с гибким лесопrocessing процессом:  $Q_i$  – объем выпуска  $i$ -го вида лесопродукции;  $Q_j$  – объем выпуска  $j$ -го вида лесопродукции

Гибкость переналадки производства отражает длительность перехода лесопrocessing процесса на выпуск нового вида лесопродукции в рамках возможных вариантов номенклатуры и может характеризоваться количеством переналадок в течение определенного периода времени.

Гибкость номенклатуры отражает способность производства к обновлению лесопродукции и может быть характеризована

количеством наименований выпуска готовой продукции и сроками подготовки нового производства. При проектировании гибкого мелкосерийного производства необходимо предусматривать разработку маршрутной и операционной технологии. Следует отметить, что для технологических линий с жесткой автоматизацией стоимость обновления продукции сопоставима со стоимостью всей лесопrocessing линии [1, 7].

Гибкость объемов выпуска лесопродукции отражает способность производства изготавливать готовую продукцию при различных их объемах по каждому наименованию и может быть охарактеризована минимальным объемом лесопродукции, при котором функционирование производства остается экономически эффективным.

Взаимосвязь различных видов гибкости лесопrocessing процесса обеспечивает его универсальность и имеет признаки классификации, характерные для лесозаготовительных предприятий (рис. 1).

При многономенклатурном производстве, каким является гибкое лесопrocessing, появляется возможность достаточно широкого варьирования выпуска лесопродукции по объему и спецификации с учетом требований рынка.

При изменении спроса на лесопродукцию возникает необходимость вносить коррективы в производственный процесс лесопrocessing цеха в той части, которая касается номенклатуры и объемов выпуска готовой продукции. При этом могут возникать ситуации, когда часть продукции, вследствие отсутствия заказов, будет храниться на складе предприятия, что приводит к дополнительным финансовым затратам. В то же время в связи с изменением спроса на лесопродукцию часть новых заказов может быть не удовлетворена, так как на перестройку лесопrocessing процесса требуется определенное время. При этом предприятие также будет нести финансовые потери из-за разрыва между заказом продукции и ее выпуском (рис. 2).

С целью повышения загрузки применяемого оборудования и сокращения запасов сырья и полуфабрикатов в процессе производства в настоящее время находят применение

различные методы прогнозирования спроса на лесопродукцию. В современных исследованиях производственных процессов обработки древесного сырья для прогнозирования изменений на рынке лесопродукции возможно применение методов нейрокompьютерного программирования [8], что позволяет синхронизировать объемы заказов на лесопродукцию (спроса) и объемы ее выпуска (рис. 3).

В цехах с гибким лесообработывающим процессом при многономенклатурном производстве снижение спроса на один вид лесопродукции компенсируется увеличением выпуска продукции другого наименования (рис. 4), что дает возможность максимально загрузить применяемое оборудование и учитывать как изменения в составе обрабатываемого древесного сырья, так и изменения на рынке лесопродукции. Таким образом, гибкие лесообработывающие процессы позволяют оперативно реагировать на изменения условий их функционирования и синхронизировать объемы выпуска лесопродукции и ее спрос на рынке.

Таким образом, гибкие лесообработывающие процессы цехов лесозаготовительных предприятий обеспечивают максимальную загрузку применяемого оборудования за счет возможности обработки в общих потоках различных по назначению лесоматериалов на различную лесопродукцию, что позволяет оперативно учитывать изменения состава обрабатываемого древесного сырья и его размерно-качественные параметры вследствие

колебаний таксационных характеристик разрабатываемых лесосек и объемов лесозаготовок. Кроме того, гибкие лесообработывающие процессы цехов позволяют оперативно реагировать на изменения спроса на лесопродукцию, что положительно сказывается на экономических показателях работы всего лесозаготовительного предприятия.

#### Библиографический список

1. Блехерман, М.Х. Гибкие производственные системы / М.Х. Блехерман // Организационно-экономические аспекты. – М.: Экономика, 1988. – 221 с.
2. Вильке, Г.А. Автоматизация производственных процессов лесопромышленных предприятий / Г.А. Вильке. – М.: Лесная пром-сть, 1972. – 416 с.
3. Фергин, В.Р. Гибкая технология раскря пиловочного сырья / В.Р. Фергин // Деревообработывающая пром-сть, 1996 – № 5. – С. 5–7
4. Камусин, А.А. Управление лесоскладскими процессами предприятий с рейдами приплава : автореф. дисс. д-р техн. наук / А.А. Камусин. – М., 1998. – 42 с.
5. Редькин, А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок : учебник для вузов / А.К. Редькин. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 256 с.
6. Шадрин, А.А. Комбинированные лесообработывающие цехи лесозаготовительных предприятий: Монография / А.А. Шадрин. – М.: МГУЛ, 2006. – 160 с.
7. Кожухов, Н.И. Основы управления в лесном хозяйстве и лесной промышленности: Учеб. для вузов / Н.И. Кожухов. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 232 с.
8. Белозеров, И.Д. Теоретическая основа для нейрокompьютерной оптимизации производственной программы лесопильного предприятия / И.Д. Белозеров, П.П. Кибяков, А.А. Пижурин // Деревообработывающая пром-сть. – 2000. – № 4. – С. 14–16.

## К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВ ХВОРОСТЯНОГО НАСТИЛА НА ВОЛОКАХ ПРИ ПРОХОДАХ ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА

М.А. ПИСКУНОВ, *ст. преподаватель каф. технологии и оборудования лесного комплекса ПетрГУ, канд. техн. наук*

*piskunov\_mp@list.ru*

Улучшение работы трелевочных тракторов в процессе заготовки древесины при движении по грунтам с низкой несущей способностью достигается укреплением волоков лесосечными отходами (сучьями, вершинами и т. д.). В этом случае, по данным работы [1], проходимость тракторов обеспечивается при числе проходов по одному следу в 2–3 раза большем по сравнению с числом проходов по волокам,

которые не укреплены отходами. Но лесосечные отходы также являются ценным вторичным сырьем для промышленной переработки, поэтому при рассмотрении вопросов, связанных с рациональным использованием лесосечных отходов, необходимо стремиться использовать минимальное количество отходов в качестве материала для укрепления волоков, увеличивая тем самым объемы вторичного сырья.

**Количество отходов на исследуемых участках в начале эксперимента**

Номер участка	Количество отходов, кг	Площадь волока, покрытая порцией отходов, м <sup>2</sup>	Количество отходов в пересчете на 1 м <sup>2</sup> волока, кг	Глубина колеи после 6 проходов, мм
1	0	0	0	300
2	4	0,25	16	170
3	8	0,3	24	100
4	12	0,4	30	50

**Основная схема эксперимента**

Участок №3			Участок №4		
Общее количество отходов, <i>V</i> кг	Количество проходов, <i>N</i>	Глубина колеи, <i>H</i> мм	Общее количество отходов, <i>V</i> кг	Количество проходов, <i>N</i>	Глубина колеи, <i>H</i> мм
8	6	100	12	6	50
8	17	170	12	17	120
добавилась порция отходов весом 6 кг					
14	31	200	18	31	130
14	40		18	40	
добавилась порция отходов весом 2 кг			добавилась порция отходов весом 4 кг		
16	58	200	22	58	180
16	70	200	22	70	200
добавилась порция отходов весом 4 кг					
20	84	210	26	84	200
20	100	220	26	100	220

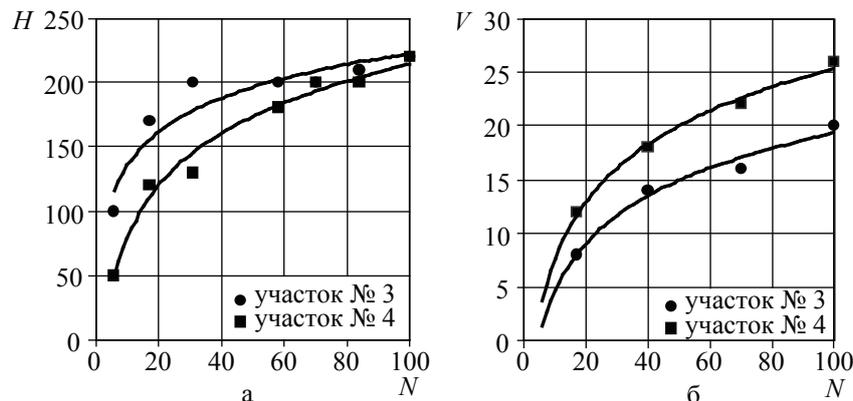


Рис. 1. Графики зависимостей: а) глубины колеи на укрепленном лесосенными отходами участке волока от числа проходов трактора; б) количества отходов, укладываемых на участок волока для его укрепления, от числа проходов трактора

Для анализа защитных свойств сучьев, использующихся для укрепления волоков, был проведен эксперимент, в котором исследовался характер работы сучьев как защитного покрытия на волоках при многократных проходах трелевочного трактора. Определялось количество отходов, которого будет достаточно, чтобы обеспечить проходимость трелевочного трактора в течение всего цикла проходов. В процессе эксперимента также исследовалось образование колеи на укрепленных участках. На волоке были выбраны участки, на которых

формировалась хворостяная подушка. Почвенно-грунтовые условия характеризовались несущей способностью, равной 1,5 МПа, что соответствует 1 удару плотномера ДорНИИ [2]. По укрепленным участкам осуществлялись проходы трелевочного трактора ТДТ-55А, всего было сделано 100 проходов. Для первых проходов образование колеи на исследуемых участках сравнивалось с участком, на котором хворостяная подушка не была сформирована.

Хворостяная подушка формировалась таким образом, чтобы ее ширина превышала

ширину гусеницы трактора не более чем на 50 %, остальная часть волока оставалась неукрепленной. Проходы трактора осуществлялись только по укрепленным участкам, причем хворостяная подушка из лесосечных отходов формировалась не сразу, а отходы добавлялись после серии проходов, в зависимости от интенсивности образования колеи. Это осуществлялось с целью определения минимального количества отходов, которое требуется при формировании хворостяной подушки, чтобы обеспечить при этом работоспособность волока в течение всего цикла проходов. Первоначальные порции отходов для исследуемых участков представлены в табл. 1. Каждые порции отходов, которые добавлялись после серии проходов, предварительно взвешивались. В процессе исследований все время соблюдалось условие – глубина колеи на укрепленном волоке должна быть меньше половины клиренса машины. В экспериментах использовались отходы, уже какое-то время пролежавшие на лесосеке и находящиеся в полусухом состоянии.

После первых шести проходов дальнейшим исследованиям подвергались участки 3 и 4 (табл. 1). Значения глубины колеи после проходов и схема добавления отходов в хворостяную подушку представлены в табл. 2.

Влияние количества отходов на образование глубины колеи и схема добавления отходов в зависимости от проходов, совершенных трактором, а также сглаживающие кривые представлены на рис. 1.

Количество отходов, которое использовалось в представленных экспериментах, значительно меньше того, которое фактически используется на лесозаготовках для укрепления грунтов с такой же несущей способностью. В результате эксперимента подтвердилось влияние на интенсивность колееобразования общего количества отходов, которым укреплен волок. Увеличение количества отходов на волоке приводит к заметному снижению глубины колеи после первых шести проходов трактора, связь носит линейный характер (табл. 1).

Часто для укрепления волоков используется поперечный настил из тонкомерной или низкокачественной стволовой древесины. Как показали исследования, хворостяная подушка, сформированная из сучьев, выдер-

живает необходимое для заготовки древесины количество проходов, которое совершает трелевочный трактор, поэтому целесообразно поперечный настил заменять хворостяной подушкой из сучьев. Высвобождаемая таким образом древесина является дополнительным сырьем для производства древесно-стружечных плит или производства энергии.

При большом числе проходов на процесс образования колеи практически перестает влиять разница в количестве отходов, которое укладывалось на исследованные участки волока первоначально, до осуществления первой серии проходов трактора.

Так как пасечный волок представляет собой транспортный путь с разным числом проходов по длине, то волок следует укреплять в соответствии с распределением проходов по длине волока, на самом нагруженном участке укладывать большее количество отходов, на менее нагруженных участках – количество отходов снижать.

На основе полученных данных, предлагаемых в работе, представим пример распределения отходов по длине пасечного волока в соответствии с распределением проходов.

Рассмотрим распределение проходов по длине пасечного волока при следующих условиях: валка деревьев осуществляется бензопилами; разработка пасек без сохранения подростка с трелевкой хлыстов за вершину; ширина пасеки 45 м (ширина волока 5 м; ширина лент 10 м); длина участка набора пачки на волоке 25 м; на лентах 50 м при запасе леса 160 м<sup>3</sup>/га. Длина пасечного волока 150 м.

Для трелевки каждой пачки требуется два прохода. Ленты разрабатываются последовательно: сначала волок, затем, после трелевки хлыстов с волока, разрабатываются средние ленты, далее – крайние.

Результатирующее распределение проходов будет складываться из распределений проходов, образующихся в процессе трелевки хлыстов с лент. Основные принципы построения распределений проходов представлены в работе [3]. Вид распределения проходов представлен на рис. 2, а.

Рассчитаем количество отходов, которое требуется для укрепления волоков на основе результатов, полученных в ходе эксперимента.

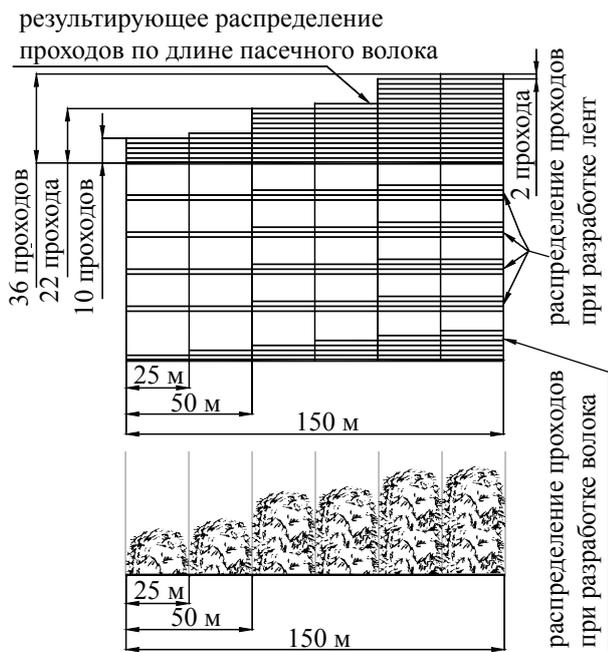


Рис. 2. Распределение проходов и лесосечных отходов по длине волокна

Расчет произведем для данного участка №4, так как из-за большого количества отходов на волокне в начале эксперимента в диапазоне проходов 10 – 36 глубина колеи для этого участка наименьшая из всех исследованных участков. В соответствии с распределением проходов определяем с помощью регрессионной зависимости количество отходов, которое необходимо положить на участки волокна: для 10 проходов – 19 кг/м<sup>2</sup>; для 12 – 23 кг/м<sup>2</sup>; для 22 – 34 кг/м<sup>2</sup>; для 24 – 36 кг/м<sup>2</sup>; для 34 – 43 кг/м<sup>2</sup>; для 36 – 44 кг/м<sup>2</sup> (масса отходов в эксперименте соответствует массе сучьев, находящихся в полусухом состоянии). Эскиз распределения лесосечных отходов по длине волокна в относительных величинах представлен на рис. 2, б.

В соответствии с исследованиями ЦНИИМЭ, ВНИПИЭИлеспром, количество отходов в виде сучьев, ветвей, вершин составляет 14 % от вывезенной древесины. Для рассматриваемых в данной работе условий количество сучьев при запасе леса 160 м<sup>3</sup>/га составляет 22,4 м<sup>3</sup>/га. На участке лесосеки, который ограничен длиной пасечного волокна и шириной пасеки (150 × 45 м), количество лесосечных отходов – 15 м<sup>3</sup>. Общее количество отходов, которое требуется для укрепления всей длины пасечного волокна в местах прохода гусениц трактора, составляет 5,9 м<sup>3</sup> (9,9 т). Если в рассматриваемом примере формиро-

вать хворостяную подушку в соответствии с распределением проходов, то 40 % отходов достаточно для обеспечения проходимости трактора на пасечном волокне.

Если предложенные в данной работе положения рассмотреть для сортиментной технологии, когда валка, обрезка сучьев, раскряжевка осуществляется ручными бензопилами, то тезис о том, что все сучья необходимо стаскивать на волок с целью его укрепления, актуален только для участков волокна, на которые приходится большое количество проходов трелевочного трактора (наиболее нагруженных). Для участков с меньшим числом проходов в этом аспекте можно отказаться от обязательного перетаскивания сучьев на волок, а формировать их в кучи в тех местах, где наиболее удобно самому вальщику. Это положение подкрепляется и тем, что если при работе трелевочных тракторов на слабых грунтах сучья вдавливаются в грунт, то на грунтах с более высокой несущей способностью сучья остаются на поверхности и это приводит к дополнительным динамическим нагрузкам при движении трактора. Это утверждение подтверждается исследованиями, представленными в работе [4], где указывается, что на повреждение волокон большое влияние оказывает равномерность распределения порубочных остатков на волокнах. При образовании подушки из сучьев груженная тележка форвардера раскачивается при подъеме и спуске с нее, образуя ямы.

### Библиографический список

1. Лапшин, В.А. Улучшение работы машин на грунтах с низкой несущей способностью / В.А. Лапшин // Лесоэксплуатация и лесосплав: Экспресс-информация. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1987. – Вып. 19. – С. 2–22.
2. Иванкович, А.С. Пособие дорожному мастеру леспромхоза / А.С. Иванкович, Р.И. Волосова, В.И. Котляр. – М.: Лесная пром-сть, 1972. – 176 с.
3. Пискунов, М.А. Повышение эффективности лесосечных работ путем рационального использования образующихся на лесосеке древесных отходов: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01; утв. 09.03.07. / М.А. Пискунов. – Петрозаводск, 2006. – 187 с.
4. Минаев, В.Н. Повреждения древостоев при проведении несплошных рубок отечественной и зарубежной лесозаготовительной техникой / В.Н. Минаев // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: Межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: СПбГЛТА, 2002. – С. 125–134.

## ОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ПНЕЙ КОНИЧЕСКОЙ ФРЕЗОЙ С ЖИДКОСТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

В.В. ЦЫПЛАКОВ, *проф. каф. механизации лесного хозяйства Саратовского ГАУ, д-р с.-х. наук,*  
С.В. ФОКИН, *доц. каф. механизации лесного хозяйства Саратовского ГАУ, канд. техн. наук*

*feht@mail.ru*

Лес является сложным экологическим комплексом, оказывающим важное влияние на жизнедеятельность человека. Сохранение и приумножение лесных ресурсов является одной из важнейших задач общества. В России ежегодно вырубается леса с площади в 2 млн га [1]. В результате неправильного ведения реформирования экономики незаконные рубки увеличились в 1993 г. сравнительно с 1992 г. в 3 раза и составили 2 млн га (по данным Госкомстата РФ), а по данным конгресса США – 12 млн га. Поэтому в Концепции развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2003–2010 гг. ставится задача качественного воспроизводства лесов [2].

В России естественным путем восстанавливается около 1/3 ежегодно рубяемых лесов, остальные требуют специальных мер по их возобновлению. На 50% площади достаточно только содействия естественному возобновлению, а на остальной – нужны посев и посадка деревьев. Для того, чтобы решить поставленную задачу, необходимо внедрять в производство следующие виды технологий лесовосстановления:

- технологии, обновляющие и дополняющие уже существующие производственные процессы с целью снижения свойственного им воздействия на экологию леса;

- интегрированные технологии, использующие принципиально новые технические подходы, которые позволяют минимизировать или полностью устранить отрицательное воздействие на экологию леса, предотвращая заранее саму возможность появления этих негативных факторов [3,4].

Реализация таких технологий возможна путем разработки и внедрения в производство специальных машин и механизмов для работы в лесу, которые бы удовлетворяли лесоводственным, экологическим и социально-экономическим требованиям.

Территория Среднего Поволжья относится к степной и лесостепной климатическим зонам. Леса этих зон представлены в основном твердолиственными породами (дуб – 52 %, липа – 9 %, сосна – 21 %). Так как в настоящее время в Среднем Поволжье лесокультурные работы, главным образом, ведутся на вырубках, то возникает проблема расчистки этих вырубок от пней, так как для вырубок степной и лесостепной лесорастительных зон характерно наличие большого количества пней на 1 га (свыше 600 штук) и захламленность порубочными остатками [5]. Наличие таких препятствий затрудняет движение тракторных агрегатов (МТА), вызывая снижение качества обработки почвы при посеве и посадке лесных культур. Поэтому основным препятствием для движения МТА являются пни. Их удаление связано с большими материальными и энергетическими затратами.

Исследования форм поверхности торцевого среза пней показали, что в Среднем Поволжье наиболее распространены пни со сложной формой торцевой поверхности. В связи с данным фактом процесс торцевого фрезерования пней, имеющих сложную поверхность среза, можно разделить на 2 этапа: начальный – неустановившийся режим резания, основной – установившийся режим резания. Начальный этап непродолжителен по времени. Однако вследствие кратковременной неравномерной загрузки рабочего органа и отсутствия жестких наложенных связей возможно отклонение оси вращения конструкции от нормали. Это может привести к поломке оборудования.

Поэтому в целях совершенствования технологических схем расчистки вырубок от пней в степной и лесостепной зонах предлагается новая конструкция конической фрезы с жидкостным наполнителем (КФЖН) (рис. 1) [6], способная измельчать пни со сложной формой торцевого среза.

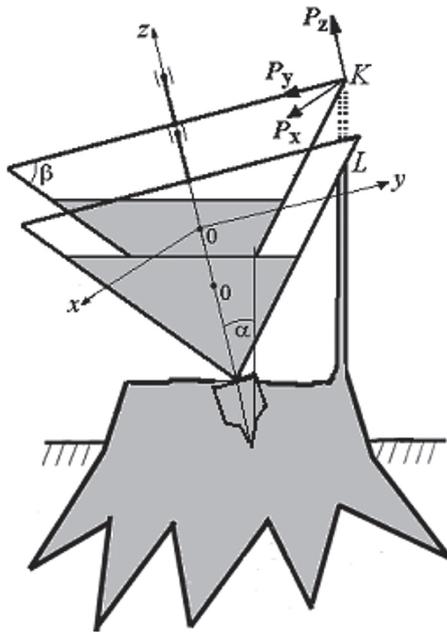


Рис. 1. Рассматриваемое движение КФЖН при измельчении пня

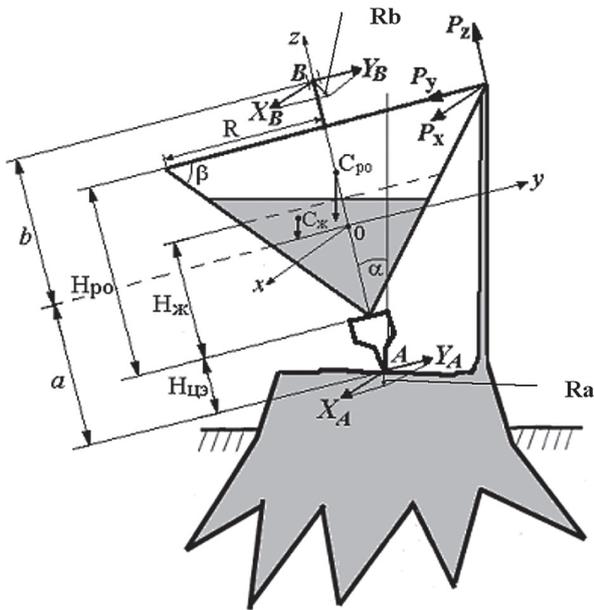


Рис. 2. Схема сил, действующих на КФЖН при фрезеровании пня с торца

Для обоснования конструктивных параметров фрезы и технологических режимов измельчения пней рассматривается следующая технология измельчения пней: при помощи двигателя, обеспечивается равномерная угловая скорость вращения фрезы  $\omega = \omega_0 = \text{const}$ , а поддерживающий привод обеспечивает равномерная подача механизма  $\Pi = v_0 / \omega_0 = \text{const}$ .

Кинематика и динамика при такой технологии измельчения пней учитывается в

выражениях (1–3) для режущих сил, в которые входит подача механизма  $\Pi = v / \omega$ , и в дифференциальных уравнениях (4–5) винтового движения механизма [7, 8]

$$P_z = k_{Pz}(3R/n)\Pi^{0,7}(HB)^{0,75}, \quad (1)$$

$$P_x = k_{Px}(3,2R/n)\Pi^{0,8}(HB)^{0,6}, \quad (2)$$

$$P_y = P_z \text{tg} \beta. \quad (3)$$

$$J_z \ddot{\phi} = M_z^E, \quad (4)$$

$$M \ddot{z}_{1c} = F_{z1}^E. \quad (5)$$

В расчетах принимается одна из самых худших случаев формы пня (форма с выступом). При этом выступ попадает на крайнюю режущую кромку конической фрезы с жидкостным наполнителем. Характер возникающей при этом сталкивающей силы  $R_A$  и силы реакции  $R_B$  (рис. 2) зависит от геометрической конфигурации пня, поскольку в процессе работы фрезы режущие силы изменяют точки приложения от самой дальней на расстоянии  $R$  (радиуса фрезы) до нуля.

Также характер сталкивающей силы  $R_A$  и силы реакции  $R_B$  зависит и от угла отклонения фрезы и от степени наполнения корпуса КФЖН жидкостью. Поэтому справедливы следующие соотношения

$$H_{жс} \leq H_{про} = R \text{tg} \beta, \quad (6)$$

$$\text{tg} \alpha \leq \text{tg} \beta - H_{жс} / R. \quad (7)$$

Возникающие при измельчении пней со сложной формой торцевой поверхности сталкивающие силы и силы реакции – сложные функции геометрических и массовых характеристик рабочего органа и жидкости, угла отклонения КФЖН от вертикали, действующих режущих сил и параметров движения.

В результате теоретических расчетов получена математическая модель, являющаяся основой для автоматизированного расчета конструктивно-технологических параметров КФЖН

$$X_A = (P_z \eta R / (a + b)) [0,25 \text{tg} \beta - \gamma_b], \quad (8)$$

$$Y_A = (P_z R / (a + b)) [-1 + \gamma_b \text{tg} \beta - 0,25 \text{tg}^2 \beta], \quad (9)$$

$$X_B = -(P_z \eta R / (a + b)) [0,25 \text{tg} \beta + \gamma_a], \quad (10)$$

$$Y_B = (P_z R / (a + b)) [1 + \gamma_a \text{tg} \beta + 0,25 \text{tg}^2 \beta], \quad (11)$$

$$R_A = (P_z R / (a + b)) \times \sqrt{\eta^2 [0,25 \text{tg} \beta - \gamma_b]^2 + [-1 + \gamma_b \text{tg} \beta - 0,25 \text{tg}^2 \beta]^2}, \quad (12)$$

$$R_B = (P_z R / (a + b)) \times \sqrt{\eta^2 [0,25 \text{tg} \beta + \gamma_a]^2 + [1 + \gamma_a \text{tg} \beta + 0,25 \text{tg}^2 \beta]^2}, \quad (13)$$

Разработанная компьютерная программа позволяет рассчитывать и визуализировать выходные параметры построенной

математической модели и определять конструктивно-технологические параметры фрезы [9]. Автоматизированные расчеты показали, что наименьшее значение сталкивающая сила  $R_d$  и сила реакции  $R_b$  имеют при угловой скорости вращения 5–15 об/с и скорости подачи, равной 2–4,5 мм/с. При увеличении угла наклона режущих кромок  $\beta$  соотношение сталкивающей силы  $R_a$  и силы реакции  $R_b$  составляет для  $\beta = 30^\circ$ –2,34 раза,  $\beta = 45^\circ$ –3,62 раза,  $\beta = 60^\circ$ –9,27 раза. Исходя из этого приняты следующие конструктивные параметры конической фрезы:

- угол наклона режущих кромок –  $45^\circ$ ;
- высота корпуса рабочего органа – 200 мм;
- высота центрирующего элемента – 150 мм;
- масса рабочего органа (с учетом жидкостного наполнителя) – 37 кг;
- высота приводного вала – 92,2 мм.

#### Библиографический список

1. Степановских, А.С. Охрана окружающей среды / А.С. Степановских. – Курган: ГИПП «Зауралье», 1988. – 512 с.
2. Концепция развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2003-2010 годы. Одобрена рас-

- поряжением Правительства Российской Федерации от 18 января 2003 года. № 69-р. – 22 с.
3. Лосев, А.В. Социальная экология: учеб. пособие для вузов / А.В. Лосев, Г.Г. Провадкин. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1998. – 312 с.
4. Пахомова, Н.В. Экономика природопользования и охраны окружающей среды: учеб. пособие / Н.В. Пахомова, К.К. Рихтер. – СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2003. – 220 с.
5. Шелгунов, Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства / Ю.В. Шелгунов, Г.М. Кутуков, Г.П. Ильин – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 453 с.
6. Рабочий орган для измельчения пней: Пат. на изобретение № 2170005 А 01 G 23/06 / А.В. Зацепин, В.В. Цыплаков, С.В. Фокин; заявл. 05.01.2000.; опубл. 10.07.2001., бюл. № 19.
7. Шихельман, Х.Л. Фрезерование на прецензионных станках / Х.Л. Шихельман. – М.: Машиностроение, 1978. – 249 с.
8. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики. Динамика / А.А. Яблонский. – М.: Высшая школа, 1977. – Ч. 2 – 283 с.
9. Цыплаков, В.В. Компьютерная программа для расчета конструктивно-технологических параметров измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем / В.В. Цыплаков, С.В. Фокин // Инновации в науке и образовании. – 2008. – № 2(37) – С. 36.

## ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Е.В. КОНДРАШОВА, доц. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, канд. техн. наук

*konlenasoul@mail.ru*

**Р**ешение задач повышения скорости, уменьшения перерасхода горючего, удобства и безопасности движения, снижения негативно-го воздействия транспорта лесного комплекса и дорог на экосистемы придорожной полосы, составляющих комплекс транспортно-экологических качеств лесовозных дорог в сложной системе «водитель–автомобиль–дорога–среда» требует системного подхода в теоретических и экспериментальных исследованиях.

За последние годы автомобильный транспорт обеспечивает свыше 60 % объемов внутренних грузовых перевозок с тенденцией увеличения этой доли, являясь таким образом «главным перевозчиком» для растущих секторов экономики России.

Поиск резервов, которые помогут решить проблему интенсификации автомобильного транспорта, приводит к необходимости исследовать пути совершенствования транспортно-экологических характеристик лесовозных автомобильных дорог. Разработка мероприятий по снижению негативных воздействий на окружающую придорожную среду является одной из важнейших задач подпрограммы «Автомобильные дороги» до 2010 г., концепции развития автомобильной промышленности, основных направлений развития лесной промышленности до 2015 г.

Это обуславливает необходимость использования научных подходов к решению задач составной части автоматизированного

проектирования – имитационной подсистемы, позволяющей видеть дорогу в действии. При этом ЭВМ выступает в роли полигона для испытания проектируемой дороги. Концепцию научного направления, рассматривающую транспортно-эксплуатационные качества лесовозных автомобильных дорог с учетом всех существенных компонентов и взаимосвязей, в системах автоматизированного проектирования исследовали профессора А.И. Алябьев, Ю.Я. Дмитриев, Б.А. Ильин, Б.И. Кувалдин, В.К. Курьянов, И.И. Леонович, Н.П. Вырко, В.П. Немцов, Э.О. Салминен и др., а их труды способствовали развитию лесного комплекса России.

Исследования проводились на кафедре транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА. Основная задача заключалась в разработке принципов оптимизации проектных решений с использованием комплекса программ имитации функционирования дороги. Требование всесторонности испытания проектируемой дороги заставило рассчитать в процессе моделирования не только общие и средние показатели, но и эпюры видимости, детальные эпюры расхода топлива, себестоимости перевозок, эмиссии токсичных веществ и т.п., позволяющие выявлять элементы и участки дорог, требующие вариантного проектирования. Таким образом, алгоритм моделирования обеспечил данными подсистему направленного выбора варианта оптимального по комплексу показателей иногда взаимно противоречивых.

Основная трудность при проектировании дороги – это выбор параметров. Таких параметров сотни и тысячи: параметры земляного полотна, дорожной одежды, искусственных сооружений, обстановки дороги, объемы строительных работ, сметная стоимость, транспортно-эксплуатационные расходы, приведенные затраты, стоимость отчуждения земель, затраты на зимнее содержание дороги, обеспечение видимости, оценка зрительной ясности и плавности трассы и вписывания ее в окружающий ландшафт, время сообщения, уровни удобства и безопасность движения, пропускная способность, степень загрязнения окружающей среды транспортным шумом и прочее. Первоначальный вариант до-

роги не будет достаточно хорошим по всем критериям. Типичная задача проектирования дороги – это улучшение параметров дороги, но изменение одной группы параметров влечет за собой изменение другой. Транспортно-эксплуатационные характеристики дороги в результате этого становятся нестабильными.

Проблема выбора новых параметров, улучшающих дорогу при вариантном проектировании, очень сложная, и необходим направленный поиск наилучшего варианта, основанный на методах прикладной математики. Конечной целью проектирования в результате является сужение полосы поиска наилучшего варианта дороги и возрастание детализации проектных проработок.

Основной принцип технико-экономического сравнения вариантов дороги, то есть минимизация приведенных суммарных затрат, основан на идеях окупаемости и сравнительной эффективности [1].

Известны методики расчета приведенных суммарных затрат [2]. Однако составить выражение, в которое входили бы параметры дороги, и затем минимизировать приведенные затраты, то есть выбрать соответствующий набор параметров, который обеспечивал бы наименьшую величину – это задача непосильна ни для исследователей, ни для ЭВМ.

При направленном поиске автор проекта может оперировать небольшим количеством параметров. Поэтому именно декомпозиция проблемы, предложенная В.М. Глушковым [3], Г.С. Поспеловым [4], Н.Н. Моисеевым [5], наиболее приемлема для вариантного проектирования дорог. Декомпозиция заключается в установлении относительно небольшого количества агрегированных характеристик дороги. Агрегирование заключается в замене большого комплекса характеристик и конструктивных параметров дороги небольшим количеством обобщенных характеристик и параметров.

Таковыми в настоящее время считают экономичность и безопасность дорожного движения. Экономичность обусловлена дорожной и транспортной составляющими. Поэтому для дальнейшего используются характеристики:  $C$  – стоимости дороги,  $D$  – количество дорожно-транспортных проис-

шествий, Э – затраты на перевозки. Эти характеристики являются функциями параметров земляного полотна, дорожной одежды, искусственных сооружений, обстановки дороги и т.д.

Из этих параметров на каждом этапе проектирования выбирают наиболее важные. Так, например, на этапе вариантного проектирования трассы такими обобщающими параметрами можно считать  $V$  – расчетную скорость,  $H$  – условия проложения дороги через населенные пункты,  $\Pi$  – условия пересечения с другими дорогами. Расчетная скорость обусловит геометрические параметры трассы (продольные уклоны, радиусы вертикальных и горизонтальных кривых, расстояние видимости поверхности дороги встречного автомобиля, параметры полученного профиля); с величиной  $H$  связаны такие параметры, как наличие в населенном пункте полос местного движения, тротуаров, пешеходных переходов, светофорной сигнализации, освещения и т.п.); параметр  $\Pi$  можно оценить общим числом конфликтных точек, или средним их количеством на пересечении.

Так как проектирование дорог – это всегда решение иерархически все более детальных задач (от выбора общего направления трассы к проектированию земляного полотна, дорожной одежды, пересечений и т.п.), то в каждой задаче более низкого уровня существенными будут параметры, более близкие к конструктивным.

В задаче вариантного проектирования трассы характеристики  $C, D, \text{Э}$  связаны с параметрами  $V, H, \Pi$  определенными зависимостями, которые можно представить параблами

$$C = C_V + C_H + C_{\Pi} \quad (1)$$

$$C_{V,H,\Pi} = C_{OV,OH,OP} + (x - x_{\min}) \times (a_{CV,CH,CP} + b_{CV,CH,CP}(x - x_{\min})), \quad (2)$$

где  $C_{V,H,\Pi}$  – затраты на строительство дороги, на благоустройство населенных пунктов, на строительство пересечений и примыканий соответственно;

$a_{CV,CH,CP}, b_{CV,CH,CP}$  – эмпирические коэффициенты, которые уточняются в процессе проектирования;

$x$  – значения параметров  $V, H, \Pi$ ;

$x_{\min}$  – минимальные значения параметров  $V, H, \Pi$ , обеспечивающие минимальные затраты  $C_{OV,OH,OP}$

Аналогично любую  $i$ -ю характеристику представляем зависимостью

$$F_i = F_{io} + \sum_{j=1}^n [(x_j - x_{j\min})(a_{ij} + b_{ij}(x_j - x_{j\min}))], \quad (3)$$

где  $F_{io} = \sum_{j=1}^n F_{ijo}$ ,  $j$  – номер параметра  $x_j$ ;

$n$  – общее количество параметров;

$a_{ij}, b_{ij}$  – коэффициенты для  $j$ -го параметра и  $i$ -ой характеристики.

Для направленного поиска оптимального варианта в системе автоматизированного проектирования (САПР) необходимо знать идеальные характеристики, максимально допустимые возможности дороги. В окончательном варианте дороги эти идеальные характеристики должны гармонично сочетаться. При этом приведенные суммарные затраты  $P$  должны быть минимальны.

Имеется набор параметров  $V_C, H_C, \Pi_C$ , при которых дорога имеет наименьшую стоимость  $C_{\min}$ , другой набор  $V_D, H_D, \Pi_D$ , при которых прогнозируется наименьшее количество ДТП, оцениваемое величиной  $D_{\min}$ , имеется набор  $V_{\text{Э}}, H_{\text{Э}}, \Pi_{\text{Э}}$ , обеспечивающий минимум затрат на перевозки  $\text{Э}_{\min}$ .

Любой вариант дороги отличается по своим характеристикам  $C, D, \text{Э}$  от идеальных решений. Это отклонение можно определить величинами

$$\chi_i = (F_i - F_{i\min}) / (F_{i\max} - F_{i\min}). \quad (4)$$

Коэффициенты  $\chi_i$  находятся в пределах от 0 до 1 и показывают, насколько тот или иной вариант дороги хуже соответствующего идеального решения по  $i$ -ой характеристике.

Характеристики  $C, D, \text{Э}$  не одинаково важны для оптимального варианта. Для определения их важности введем относительные веса  $\lambda_C, \lambda_D, \lambda_{\text{Э}}$ , и оптимальный вариант дороги будем искать по минимуму

$$\Pi = \lambda_{C,D,\text{Э}} \chi_{C,D,\text{Э}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \chi_i \rightarrow \min. \quad (5)$$

Для оптимального варианта существует такое сочетание  $\lambda_C, \lambda_D, \lambda_{\text{Э}}$ , которое обеспечивает минимум приведенных затрат. Задача направленного вариантного проектирования заключается в установлении этих значений. И здесь без имитационной системы, моде-

лирующей работу дороги, ее «испытание» на ЭВМ, не обойтись. По каждому варианту дороги с уровнем затрат  $C$  следует промоделировать пропуск транспортных потоков расчетной интенсивности, определить по результатам моделирования характеристики  $D$ ,  $\mathcal{E}$ , приведенные суммарные затраты  $P$ .

Так как значения  $\lambda_C, \lambda_D, \lambda_{\mathcal{E}}$  заранее известны, то ими нужно задаться в виде сетки с узлами  $\lambda(\lambda_C, \lambda_D, \lambda_{\mathcal{E}})$ . Для каждого  $k$ -го узла (набора значений  $\lambda_{Ck}, \lambda_{Dk}, \lambda_{\mathcal{E}k}$ ) следует найти значения  $V_k, H_k, P_k$ , при которых  $\mathcal{C} \rightarrow \min$ . Этим самым отсеиваются варианты, далекие от гармонического сочетания характеристик  $C, D, \mathcal{E}$ . Значения  $V_k, H_k, P_k$  находят решением уравнений  $d\mathcal{C}/dx_{ik} = 0$ , которые дают в общем виде

$$x_{ik} = \frac{[\sum_{j=1}^n \lambda_{ik} (2b'_{ij} - a'_{ij})]}{2 \sum_{j=1}^n \lambda_{ik} b'_{ij}}, \quad (6)$$

где  $a'_{ij}, b'_{ij}$  получены путем деления коэффициентов  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  на  $F_{imax} - F_{imin}$ .

Если  $x_{ik} < x_{imin}$ , принимать  $x_{ik} = x_{imin}$ , и если  $x_{ik} > x_{imax}$ , принимать  $x_{ik} = x_{imax}$ , если  $V_k < V_{min}$ , принимать  $V_k = V_{min}$  и если  $V_k > V_{max}$ , принимать  $V_k = V_{max}$ .

Значения  $V_k, H_k, P_k$  направлены определяют требования к новому варианту трассы. Конструктивные параметры этого варианта служат исходной информацией для моделирования дорожного движения имитационной системой. Результаты этого моделирования используют для вычисления критерия  $P$ . Затем выбирают другой узел  $\Lambda_k$  (другие значения  $\lambda_C, \lambda_D, \lambda_{\mathcal{E}}$ ), процесс повторяют и вычисляют новое значение  $P$ . Таким образом, на сетке  $\Lambda$  находят узел, при котором  $P$  достигает минимума. Этим окончательно определяют вариант трассы, наилучшим образом сочетающий основные транспортно-эксплуатационные характеристики – стоимость, безопасность, экономичность, и обеспечивающий минимум приведенных затрат.

При необходимости в число характеристик  $F$  можно ввести энергетические, эргономические, эстетические и т.п., а также расширить количество параметров  $x$ . Разработанные методы оценки проектных решений автомобильных дорог способствуют повышению качества проектов в системе автома-

тизированного проектирования лесовозных автомобильных дорог (САПР ЛАД). Путем направленного поиска лучшего варианта оптимальность обеспечивается гармоническим сочетанием обобщенных характеристик дороги, которыми считаются сейчас стоимость дороги, экономичность и безопасность движения и минимумом приведенных затрат.

При направленном поиске оптимального варианта дороги следует руководствоваться весовыми коэффициентами отклонения каждой характеристики от идеального значения, не стесненного ограничениями. Весовые коэффициенты, заданные вначале интуитивно, в процессе оптимизации окончательно определяются.

Всесторонней глубокой оценке проектных решений по каждому из вариантов дороги и их соответствующей корректировке способствует разработанный на кафедре транспорта леса и инженерной геодезии пакет программ комплексного моделирования процесса функционирования дорог (свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2004612478, 10.11.2004 г.). Результат моделирования показывает проектировщику направление оптимизации проектного решения.

С использованием комплекса программ достигается снижение срока разработки проектов за счет уменьшения времени поиска оптимального варианта, что обеспечивается повышением достоверности и существенным расширением номенклатуры транспортно-эксплуатационных показателей работы дороги, необходимых для оптимизации проектных решений, уменьшением времени моделирования работы дороги.

### Библиографический список

1. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учеб. / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1982. – 280 с.
2. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог: учеб. / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1984. – 287 с.
3. Глушков, В.М. Автоматизация проектирования вычислительных машин: монография / В.М. Глушков. – Украина, 1975.
4. Поспелов, Г.С. Искусственный интеллект: учеб. / Г.С. Поспелов. – М.: Знание, 1985.
5. Моисеев, Н.Н. Математика ставит эксперимент / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1979. – 223 с.

## ПРОЦЕСС ПИТАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА МАШИНЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО УХОДА ЗА ЛЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ

А.А. КОТОВ, доц. каф. механизации сельскохозяйственных работ МГУЛ, канд. техн. наук

kotov@mgul.ac.ru

По сравнению с опрыскиванием контактный способ химического метода борьбы с сорняками исключает потери препарата за счет сноса ветром и выпадения на почву, значительно сокращает нормы расхода и практически не допускает загрязнение окружающей среды, так как препарат наносится непосредственно на объекты, мешающие росту и развитию культур [7]. Все это говорит о перспективности контактного способа.

На основании изучения литературных и патентных источников устройства контактного типа можно классифицировать следующим образом. Они подразделяются [1, 2, 5]:

- по кинематике рабочего органа на приводные (барабан, валик, бесконечный бегущий фитиль, ротор) и неприводные;

- по способу питания контактора на гравитационный (поле тяготения Земли), инерционный (центробежная сила), капиллярный (капиллярный эффект), адгезионный (эффект смачивания), под давлением (насос, компрессор) и смешанный (комбинация способов);

- по способу удерживания препарата на рабочем органе на капиллярный и адгезионный.

В качестве объекта исследования выбран вращающийся относительно горизонтальной оси барабан с пористым покрытием, реализующим капиллярный способ удерживания препарата на рабочем органе [3]. Рассмотрим некоторые перечисленные способы питания контактора: капиллярный (посредством фитиля), под давлением (с помощью распылителя) и гравитационный (капельница).

При нанесении жидкости с помощью фитиля обеспечивается равномерное распределение ее по всей ширине барабана. Недостаток заключается в возможности фильтрации рабочего раствора, а значит, в снижении его концентрации, а также в ограниченной влажпроводности.

Распыление препарата на рабочую поверхность посредством расположенных над барабаном вдоль его оси форсунок (распылителей) также обеспечивает равномерность нанесения. Условие сплошности смачивания в этом случае можно определить неравенством (рис. 1)

$$d \geq b,$$

где  $d$  – ширина факела распыла на границе с барабаном,

$b$  – шаг расстановки капельниц.

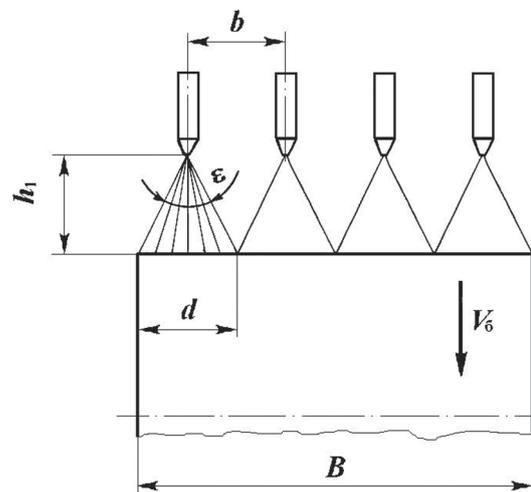


Рис. 1. Питание рабочей поверхности барабана посредством распылителей

Если  $d$  – высота расположения распылителя над поверхностью барабана  $h_1$ , а угол факела распыла  $\varepsilon$ , это неравенство выглядит так

$$b \leq h_1 \cdot \operatorname{tg} \varepsilon / 2.$$

Но недостатком нанесения рабочей жидкости на поверхность барабана с помощью распылителей является возможность ее сноса воздушным потоком и испарения тонко диспергированных частиц.

При питании поверхности барабана с помощью капельниц рабочий раствор наносится дискретно (рис. 2). Из точек падения капель на поверхность контактора жидкость за счет капиллярных сил распространяется концентрическими окружностями, которые

затем смыкаются друг с другом и перекрываются. Движение жидкости продолжается до тех пор, пока не сравняется значение влажности в отдельных точках материала покрытия контактора.

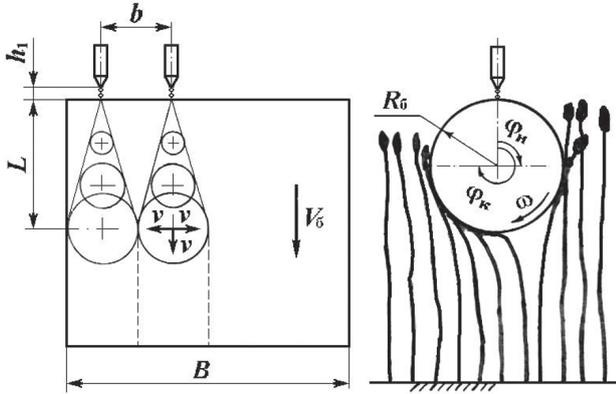


Рис. 2. Питание рабочей поверхности барабана посредством капельниц

Пористый материал образует сложную капиллярную систему, обладающую хорошей проницаемостью для жидкостей и газов. Жидкость, содержащаяся в материале, в зависимости от местоположения и характера связи с материалом, подразделяют на адсорбционную, микрокапиллярную и макрокапиллярную [6]. Адсорбционная влага удерживается силами физико-химического взаимодействия. Микрокапиллярная влага – силами капиллярного взаимодействия. Макрокапиллярная влага содержится в макрокапиллярах и удерживается механически.

Жидкость в материале перемещается в результате градиентов влажности, температуры, избыточного давления водяного пара. Относительная роль каждого из этих факторов и особенности механизма движения жидкости определяются конкретными условиями.

Плотность потока жидкости в заданной точке по объему материала определяется в общем случае уравнением [6]

$$i = -\rho_0 \cdot D \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \delta \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right) - b \cdot \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (1)$$

где  $i$  – плотность потока жидкости, т.е. количество жидкости, перемещающейся в единицу времени через единицу площади;

$D$  – коэффициент влагопроводности;

$\rho_0$  – плотность материала в абсолютно сухом состоянии;

$u$  – влагосодержание (безразмерная влажность) материала;

$x$  – координата точки в направлении потока влаги;

$\delta$  – термоградиентный коэффициент;

$t$  – температура;

$b$  – коэффициент молярного влагопереноса;

$P$  – давление паровоздушной смеси внутри материала.

При низкой температуре, когда градиент температуры  $\partial t / \partial x \rightarrow 0$  и градиент избыточного давления  $\partial P / \partial x \rightarrow 0$ , уравнение (2.18) упрощается

$$i = -\rho_0 \cdot D \cdot (\partial u / \partial x).$$

Это уравнение представляет собой формулировку закона изотермического переноса влаги, или закона влагопроводности, основанного на экспериментально установленном положении, что при постоянной температуре плотность тока влаги пропорциональна градиенту влажности. На его основании выводится дифференциальное уравнение нестационарного процесса изотермического влагопереноса, определяющее характер влагосодержания любой заданной точки тела по времени

$$\partial u / \partial \tau = D \cdot \nabla^2 \cdot u,$$

где  $\tau$  – время;

$\nabla^2$  – оператор Лапласа,

$$\nabla^2 = (\partial^2 / \partial x^2) + (\partial^2 / \partial y^2) + (\partial^2 / \partial z^2),$$

$x, y, z$  – координаты заданной точки.

Коэффициент влагопроводности определяется на основании анализа послойной влажности и скорости тока

$$-\partial M / \partial \tau = D \cdot F \cdot \partial \omega / \partial x.$$

где  $M$  – количество влаги, проходящей через образец, кг;

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

$\omega$  – концентрация жидкости в рассматриваемом сечении, кг/м<sup>3</sup>;

$\partial M / \partial \tau$  – скорость тока влаги, кг/с;

$\partial \omega / \partial x$  – градиент концентрации влаги, кг/м<sup>4</sup>.

Градиент концентрации влаги может быть определен через величины, устанавливаемые из эксперимента, по формуле

$$\partial \omega / \partial x = (\rho / 100) \cdot (dW / dx),$$

где  $dW / dx$  – градиент влажности, %/м.

Преобразовав выражение скорости тока влаги, можно получить:

$$v = dM/(\rho_{\text{ж}} \cdot F \cdot dt),$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – скорость распространения жидкости в материале, м/с.

Из рис. 2 следует, что

$$\left. \begin{aligned} \frac{b}{2} &\leq v \cdot t, \\ L &= V_6 \cdot t; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $b$  – расстояние между капельницами, м;

$L$  – длина дуги, соответствующая углу  $\varphi$ , на который поворачивается барабан за время  $t$ , м;

$v$  и  $V_6$  – скорость распространения жидкости и линейная скорость барабана, м/с, соответственно.

Определив из выражений (2) время  $t$  и приравняв их, а затем заменив  $L = \varphi \cdot R_6$  и  $V_6 = \omega \cdot R_6$ , получим

$$b \leq 2 \cdot (v/\omega) \cdot \varphi, \quad (3)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения барабана, с<sup>-1</sup>.

Зная  $v$ ,  $\omega$  и  $\varphi$ , из формулы (3) можем определить расстояние между капельницами из условия оплошности смачивания. При анализе этой формулы видно, что шаг расстановки капельниц  $b$ , равный

$$b = B/n, \quad (4)$$

где  $B$  – ширина захвата барабана, м;

$n$  – число капельниц над барабаном, шт, прямо пропорционален  $v$  и  $\varphi$  и обратно пропорционален  $\omega$ .

Если использовать условие нанесения препарата на каждое растение, контактирующее с рабочим органом, то выражение (3) предстанет в виде

$$b \leq s + 2 \cdot \varphi \cdot (v/\omega), \quad (5)$$

где  $s$  – ширина контакта барабана с одним растением, м.

Угол  $\varphi$  ограничивается углами начала контакта  $\varphi_{\text{н}}$  точки поверхности барабана с нанесенной на нее жидкостью с растениями и конца контакта  $\varphi_{\text{к}}$ .

Для определения численных значений входящих в формулу (5) параметров проведе-

ны дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования [4]. Они позволили определить конструктивные и кинематические параметры контактора: шаг расстановки капельниц  $b = 0,05$  м, углы начала и конца контакта в зависимости от материала покрытия и высоты обработки соответственно  $\varphi_{\text{н}} = 120^\circ \dots 150^\circ$  и  $\varphi_{\text{к}} = 300^\circ \dots 330^\circ$ , радиус барабана  $R_6 = 0,15$  м, угловую скорость его вращения в зависимости от скорости движения агрегата  $\omega = 3,5 \dots 9,5$  с<sup>-1</sup>, радиальное расстояние капельниц от поверхности контактора  $h = 0,01$  м; число капельниц на барабане  $n = 13$  шт., ширину захвата рабочего органа  $B = 0,7$  м.

В результате исследования выбран способ питания контактора – гравитационный с помощью капельниц – и обоснованы его параметры.

### Библиографический список

1. Исаева, Л.И. Применение путей селективного нанесения гербицидов на вегетирующие сорные растения. Сельскохозяйственная наука и производство: Обзорн. информ. / Л.И. Исаева. – М.: ВАСХНИЛ, 1986. – Вып. 4. – С. 56 – 64.
2. Исаева, Л.И. Селективное внесение гербицидов / Л.И. Исаева // Земледелие. – 1987. – № 2. – С. 57–58.
3. Котов, А.А. Обоснование типа рабочего органа машины для химического ухода за лесными культурами контактным способом / А.А. Котов // В сб. докл. конференции молодых ученых западного отделения ВАСХНИЛ: Интенсификация лесного хозяйства в Западном регионе СССР. – Тез. докл. – Гомель: БелНИИЛХ, 1990. – С. 142–144.
4. Котов, А.А. Параметры машины для химухода за лесными культурами / А.А. Котов // В сб. докл. всесоюзной научно-техн. конференции: Теория, проектирование и методы расчета лесных и деревообрабатывающих машин. – Тез. докл. – М.: МГУЛ, 1997. – С. 202–204.
5. Львов, С.И. Контактный способ нанесения гербицидов и арборицидов / С.И. Львов, Ю.П. Путятин, М.В. Шашова // Лесное хозяйство. – 1990. – № 12. – С. 43–45.
6. Лыков, А.В. Тепломассообмен: Справочник / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1972. – 560 с.
7. Ченцов, В.В. Новые перспективные способы и средства механизации защиты растений: Обзорн. информ. / В.В. Ченцов, Т.Ф. Аленичкова, Т.И. Кузькина. – М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1988. – Вып. 6. – 53 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ПРЕПАРАТА ИЗ ПОКРЫТИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА КОНТАКТНОЙ ГЕРБИЦИДНОЙ МАШИНЫ

А.А. КОТОВ, доц. каф. механизации сельскохозяйственных работ МГУЛ, канд. техн. наук

kotov@mgul.ac.ru

Исследования по повышению экологической безопасности и хозяйственной эффективности химического метода защиты растений ведутся во многих странах [9]. Наиболее перспективным с этой точки зрения является контактный способ этого метода.

В МГУ леса также выполнены исследования по созданию машины для химухода за культурами контактным способом. Ее рабочие органы представляют собой два вращающихся барабана, раздвинутых на ширину защитной зоны с двух сторон рядка [2]. Рассмотрены условия работы и параметры контактора, обеспечивающие его экологически безопасную работу.

При работе машины на барабан действуют, кроме сил реакции растений, ударные нагрузки о препятствия, вибрация, передаваемая на машину с трактора, дисбаланс барабана. Эти силы передаются на частицы препарата, находящегося в покрытии. Кроме этого на частицу рабочей жидкости оказывают влияние центробежная сила при вращении барабана, силы тяжести, поверхностного натяжения и сопротивления движению (трение).

Разделим условно эти силы на удерживающие  $F_{уд}$  и вырывающие  $F_{в}$  (рис. 1). Их соотношение влияет на потери препарата из материала покрытия контактора. В общем случае систему сил, действующих на частицу, можно представить как

$$\vec{F} = \vec{F}_{виб} + \vec{F}_y + \vec{G} + \vec{F}_{дб} + \vec{F}_{ц} + \vec{F}_k + \vec{F}_c + \vec{F}_н, \quad (1)$$

где  $F$  – сила инерции при движении жидкости по капиллярам;

$F_{виб}$  и  $F_y$  – соответственно силы вибрации и удара;

$G$  – сила тяжести;

$F_{дб}$  – сила от дисбаланса барабана;

$F_{ц}$  – центробежная сила;

$F_k$  – сила Кориолиса;

$F_c$  – сила сопротивления движению;

$F_н$  – сила поверхностного натяжения.

Рассмотрим действие этих сил в трех точках поверхности барабана: вверху (точка  $A$ ), сбоку (точка  $B$ ) и внизу (точка  $C$ ). Как видно из рис. 1, наиболее опасной с точки зрения потерь является точка  $C$ , т.е. практически жидкость теряется из нижней части барабана. В зависимости от угла поворота точки расположения частицы рассмотренные силы могут являться для нее как удерживающими, так и вырывающими, или отсутствовать совсем. К удерживающим будут постоянно относиться силы поверхностного натяжения, сопротивления движению и инерции.

Изучим ударные силы, которые в условиях работы машины на вырубках могут оказывать наибольшее влияние на потери жидкости из поверхности барабана. Ударные явления в механических системах весьма разнообразны, но их объединяют следующие общие черты:

– с кинематической стороны – кратковременность акта удара, в течение которого происходят резкие изменения скоростей точек системы;

– с динамической стороны – возникновение, а затем исчезновение весьма больших ударных сил  $P$  (рис. 2) [4, 10].

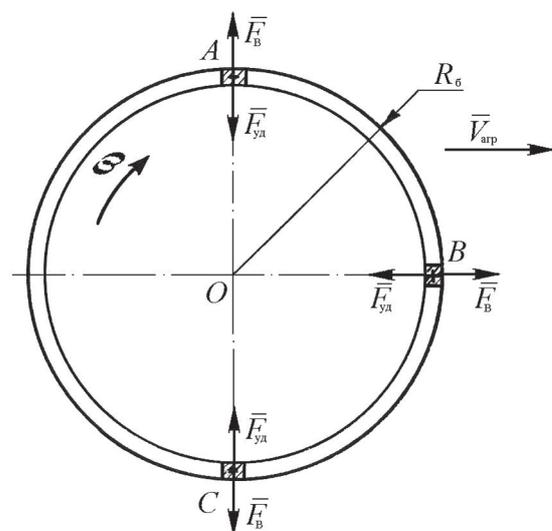


Рис. 1. Силы, действующие на жидкость в материале покрытия контактора

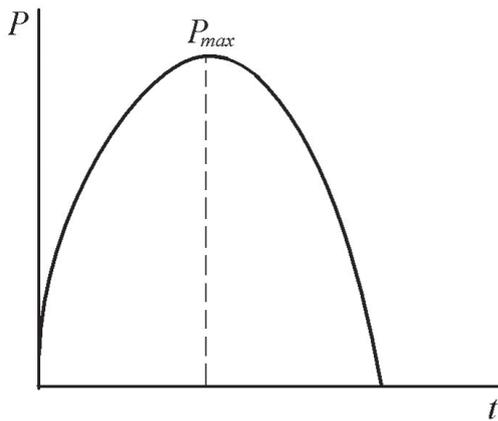


Рис. 2. К анализу сил удара

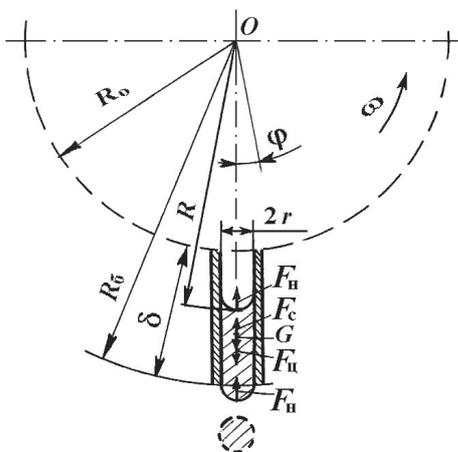


Рис. 3. К расчету сил, действующих на столбик жидкости в капилляре

Главная особенность задач о соударениях твердых тел состоит в том, что для их решения принципиально недостаточно соотношений, устанавливаемых в механике абсолютно твердых тел и материальных точек. Достаточно отказаться от понятия абсолютно твердого тела и учесть деформируемость соударяющихся тел, как задача становится вполне определенной. Но строгие решения, которые могут быть получены таким путем, оказываются, как правило, очень сложными. Поэтому часто пользуются приближенными способами, одним из которых является способ, предложенный Ньютоном.

Полученная этим способом ударная сила оказывается бесконечно большой, ее называют мгновенной ударной силой. Представление о мгновенности акта соударения, принимаемое в упрощенной Ньютоновской схеме удара, не позволяет определить силы взаимодействия между соударяющимися твердыми телами. Для приближенного оп-

ределения сил удара предложена схема [10], которая учитывает деформацию выступов соударяющихся тел (статическая теория упругости Герца). Здесь дополнительное соотношение для определения ударных сил формулируется с помощью деформационных соображений.

Учитывая неопределенность формы выступов соударяющихся тел и трудность ее определения в условиях работы машины на вырубке, а следовательно, и невозможность теоретического определения ударной силы, действующей на рабочий орган, при исследованиях потерь препарата будем имитировать ударные силы центробежными. Максимальное центробежное ускорение примем равным  $20g$  [8]. Оно принято из расчета, что скорость агрегата в лесу  $V_{арп}$  не превышает  $1-2$  м/с, а длительность соударения  $t$  составляет  $0,01...0,1$  с [10]. Разделив изменение скорости на длительность удара, получаем, что ускорение  $a = 10...200$  м/с<sup>2</sup>.

Материал покрытия контактора представляет собой сложную капиллярную систему. Известно, что время и интенсивность потерь жидкости существенно зависят от радиуса капилляров материала [6]. Поэтому из всех свойств материала, с учетом решаемой задачи, доминирующее значение имеют радиусы эквивалентных капилляров материала в радиальном направлении по отношению к барабану, функция распределения количества капилляров по их радиусам. Под эквивалентным понимается капилляр постоянного радиуса, время движения жидкости по которому равно времени движения жидкости по капилляру переменного сечения.

Учитывая, что материал моделируется пучком изолированных друг от друга параллельных цилиндрических капилляров, рассмотрим силы в единичном заполненном жидкостью капилляре, помещенном в поле центробежных сил (рис. 3). Известно, что при отсутствии внешних воздействий жидкость под действием сил поверхностного натяжения имеет вогнутую поверхность. Под действием силы тяжести и центробежной силы столбик жидкости начинает перемещаться, меняя на конце капилляра знак кривизны поверхности [5]. По мере движения столбика жидкости на

конце капилляра образуется капля, которая при некоторой величине критической массы (определяемой в том числе скоростью обтекающего ее воздушного потока) отрывается от капилляра. Таким образом, масса столбика жидкости, движущегося в капилляре, переменна.

Перемещение жидкости в отдельном капилляре можно описать уравнением динамики тела переменной массы

$$F = \frac{d(mV)}{dt} = m \cdot \frac{dV}{dt} + V \cdot \frac{dm}{dt}, \quad (2)$$

где  $F$  – сумма сил, действующих на отсек жидкости;

$V$  – скорость движения жидкости вдоль оси капилляра;

$m$  – масса отсека жидкости в капилляре.

Масса жидкости в цилиндрическом капилляре при  $l \gg r$  равна

$$m = \rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot (R_0 - R),$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости;

$R$  – расстояние от оси барабана до ближайшего к оси центра мениска жидкости;

$l$  – длина столбика жидкости;

$r$  – радиус капилляра.

Определяя  $V$  как скорость движения мениска столбика жидкости, т.е.  $V = dR/dt$ , и подставляя значение  $m$  и  $V$  в выражение (2), получим

$$F = \rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \left[ -\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 + (R_0 - R) \cdot \frac{d^2R}{dt^2} \right]. \quad (3)$$

Предполагая столбик жидкости в капилляре неразрывным, течение – ламинарным [3], а поступление воздуха в освобождающийся от жидкости объем извне, а также пренебрегая кориолисовыми силами (они направлены по касательной к поверхности барабана и поэтому не влияют на потери препарата), можно выделить следующие силы, действующие на отсек жидкости в капилляре:

1. Сила тяжести жидкости

$$G(t) = G \cdot \cos\varphi, \quad (4)$$

где

$$G = \int_{m(R)}^{m(R_0)} g \cdot dm = \int_R^{R_0} g \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot dR = g \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot (R_0 - R), \quad (5)$$

$\varphi$  – угол поворота капилляра от точки  $C$ , град (рис. 1).

2. Центробежная сила

$$F_{\text{ц}} = \int_{m(R)}^{m(R_0)} R \cdot \omega^2 \cdot dm = \int_R^{R_0} R \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot dR = \rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot ((R_0 - R) / 2). \quad (6)$$

3. Сила поверхностного натяжения [5]

$$F_{\text{н}} = 2 \cdot \sigma \cdot \pi \cdot r \cdot \cos\theta, \quad (7)$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения;

$\theta$  – краевой угол смачивания.

4. Сила сопротивления движению (трение)

$$F_{\text{с}} = 8 \cdot \pi \cdot \mu \cdot l \cdot V = 8 \cdot \pi \cdot \mu \cdot (R_0 - R) \cdot (dR/dt), \quad (8)$$

где  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости жидкости.

Здесь и далее теоретический анализ проводится при допущении, что величины  $\sigma$ ,  $\mu$ ,  $\rho_{\text{ж}}$ ,  $\theta$  не зависят от температуры.

Сумма сил, действующих на столбик жидкости в капилляре, в общем случае будет равна

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{ц}} + \vec{F}_{\text{н}} + \vec{F}_{\text{с}} + \vec{G}(t).$$

Условно движение жидкости в капилляре под действием системы сил можно представить в виде трех последовательных этапов.

1. При отсутствии вращения барабана ( $\omega = 0$ ) столбик жидкости неподвижен и равнодействующая всех сил равна нулю (рассматриваем точку  $C$  на рис. 1). В этом случае имеем  $G(t) - 2F_{\text{н}} = 0$  или, используя выражение (4) с учетом (5) и (7)

$$\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot r \cdot (R_0 - R) - 4 \cdot \sigma \cdot \cos\theta = 0. \quad (9)$$

2. При угловой скорости вращения капилляра  $\omega$ , меньшей критической  $\omega_{\text{кр}}$ , т.е.  $\omega \leq \omega_{\text{кр}}$ , столбик жидкости неподвижен и равнодействующая, как и в первом случае равна нулю  $G(t) + F_{\text{ц}} - 2F_{\text{н}} = 0$  или

$$\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot \pi \cdot r^2 \cdot (R_0 - R) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot ((R_0^2 - R^2) / 2) - 4 \cdot \sigma \cdot \pi \cdot r \cdot \cos\theta = 0.$$

Разделив все члены этого уравнения на  $\rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot r^2$ , получим

$$g \cdot (R_0 - R) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \omega^2 \cdot ((R_0^2 - R^2) / 2) - (4 \cdot \sigma \cdot \cos\theta / \rho_{\text{ж}} \cdot r) = 0. \quad (10)$$

3. При  $\omega > \omega_{\text{кр}}$  столбик жидкости движется с отрывом капель на конце капилляра, т.е. масса его непрерывно уменьшается и движение столбика описывается уравнением динамики переменной массы

$$F = F_{\text{ц}} + G(t) - 2 \cdot F_{\text{н}} - F_{\text{с}}.$$

Подставив сюда выражения (3–8) и разделив на  $\rho_{ж} \cdot \pi \cdot r^2$ , получим

$$(R_0 - R) \cdot \frac{d^2 R}{dt^2} - \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 - \omega^2 \cdot \frac{R_0^2 - R^2}{2} - g \cdot (R_0 - R) \times \\ \times \cos(\omega \cdot t) + \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho_{ж} \cdot r} + \frac{8 \cdot \mu}{\rho_{ж} \cdot r^2} (R_0 - R) \cdot \frac{dR}{dt} = 0. \quad (11)$$

Таким образом, динамику столбика жидкости в цилиндрическом капилляре под действием гравитационной и центробежной сил можно описать системой уравнений (9–11).

Для решения этой системы необходимо знать радиус эквивалентного капилляра, а также  $\sigma$ ,  $\theta$ ,  $\mu$ ,  $\rho_{ж}$ , и предварительно задаться значениями  $\omega$ ,  $R_0$ ,  $r$ . Из выражения (9) выразим

$$r = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho_{ж} \cdot g \cdot (R_0 - R)} \text{ или } r = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho_{ж} \cdot g \cdot l}. \quad (12)$$

Подставив в формуле (12) вместо  $l$  значение толщины покрытия  $\delta$ , получим максимальное значение радиуса эквивалентного капилляра, заполненного жидкостью в статике

$$r_{\max} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho_{ж} \cdot g \cdot \delta}. \quad (13)$$

Это значение является границей; капилляры, радиус которых выше  $r_{\max}$ , будут свободными от жидкости при  $\omega = 0$ .

Из выражения (10) выразим  $r$ , приняв  $R$  равным  $R_0$ , заменив  $R_0 - R_0 = \delta$  и  $\omega^2 \cdot ((R_0 - R_0) / 2) = a_n$ , при  $t = 0$  и получим

$$r_{\max} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho_{ж} \cdot \delta \cdot (g + a_n)}. \quad (14)$$

Очевидно, что выражение (13) является частным случаем уравнения (14). Последнее определяет значение максимального радиуса капилляра, заполненного жидкостью, при произвольном центробежном ускорении  $a_n$ . Из этого выражения видно, что значение радиуса капилляра, который еще может удерживать жидкость, обратно пропорционально толщине покрытия  $\delta$  и суммарному ускорению  $a = g + a_n$ .

Для перехода к потерям жидкости с единицы площади покрытия необходимо знать долю объема порового пространства

$\eta$ , соответствующего  $r_{\max}$  и не заполненно жидкостью, т.е. функцию распределения объема капилляров в зависимости от их радиуса. Для этого необходимо провести экспериментальные исследования. Изменяя значение ускорения  $a$  и толщины материала  $\delta$ , можно найти объем вытесняемой жидкости  $\Delta V_{ж}$  в зависимости от этих факторов и привести его в соответствие с  $r_{\max}$ , полученным из уравнения (14)

$$\Delta V_{ж} = (W/100) \cdot V_m \cdot (\eta_k - \eta_n) = \\ = (W/100) \cdot S \cdot \delta \cdot (\eta_k - \eta_n), \quad (15)$$

где  $W_n$  – полная влагоемкость, %;

$V_m$  – объем материала, м<sup>3</sup>;

$\eta_n$  и  $\eta_k$  – соответственно начальная и конечная доля объема порового пространства с вытесненной жидкостью.

Тогда

$$\Delta V_s = r \cdot (\Delta V_{ж}/S) = (W/100) \cdot \delta \cdot (\eta_k - \eta_n). \quad (16)$$

Для определения критической угловой скорости барабана  $\omega_{кр}$ , соответствующей положению отсутствия потерь жидкости и полному заполнению ею капилляров с радиусом  $r < r_{\max}$ , из выражения (10) выразим  $\omega$ , заменив  $(R_0 - R) = \delta$

$$\omega \leq \sqrt{\frac{2 \cdot \left( \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho_{ж} \cdot r} - g \cdot \delta \right)}{\delta \cdot (2 \cdot R_0 - \delta)}}. \quad (17)$$

Здесь для исключения возможности потерь препарата выбраны худшие условия:  $G(t) = G$ . Как следует из выражения (17),  $\omega_{кр}$  повышается с увеличением  $\sigma$  и уменьшением  $\rho_{ж}$ ,  $r$ ,  $R_0$  и  $\delta$ , а так как  $r$  определяет влажность материала  $W$ , то она тоже влияет на  $\omega_{кр}$ .

Таким образом, экологически чистая работа машины может осуществляться при выполнении, кроме указанных выше, условия (17).

Решив уравнение (10) относительно  $R$  и преобразовав его, можно получить, исходя из физического смысла процесса, следующее неравенство

$$R \leq \frac{g}{\omega^2} + \sqrt{R_0^2 - \frac{8 \cdot \sigma \cdot \cos \theta - 2 \cdot R_0 \cdot g \cdot \rho_{ж} \cdot r}{\rho_{ж} \cdot r} + \frac{g^2}{\omega^4}}. \quad (18)$$

Это выражение показывает, что при  $\omega \rightarrow \infty$  за конечное время  $R \rightarrow R_0$  полной потери жидкости в материале не происходит, а ос-

тавшаяся ее часть скапливается у наружной поверхности покрытия.

Следует заметить, что выражение (16) лишь приближенно определяет потери жидкости из материала в предположении, что капилляры с радиусом  $r > r_{\max}$  совсем не имеют жидкости. Поэтому указанное выражение дает завышенные значения потерь. Для более точного их определения необходимо знать объемы вытесненной жидкости в капиллярах радиуса  $r > r_{\max}$ . Это позволяет выполнить неравенство (18), которое в статике определяет положение ближайшего к оси вращения мениска жидкости в капилляре.

Выражение (18) можно получить из уравнения (11), когда движение столбика жидкости в капилляре прекращается, т.е.  $dR/dt = 0$  при  $t \rightarrow \infty$ ,

Для определения потерь рабочей жидкости из покрытия барабана в произвольный момент времени  $t$  воспользуемся выражением (11), которое является неоднородным нелинейным дифференциальным уравнением 2-го порядка. Решаем его относительно  $t$  на ЭВМ по составленной нами программе методом Рунге-Кутта [1, 7]. Для этого уравнение преобразуем к виду

$$R'' = \frac{(R')^2}{R_0 - R} - \frac{8 \cdot \mu}{\rho_{\text{ж}} \cdot r^2} \cdot R' - \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho_{\text{ж}} \cdot r^2 \cdot (R_0 - R)} + \frac{\omega^2 \cdot (R_0 + R)}{2} + g \cdot \cos(\omega \cdot t). \quad (19)$$

Начальными условиями при решении являются:  $R_0 = R_0 - \delta$  и  $V = dR/dt = 0$  при  $t = 0$ .

Неучтенная в формуле (16) жидкость, оставшаяся в капиллярах радиуса  $r > r_{\max}$  определяется после решения уравнения (19) из выражения

$$\Delta V'_s = \sum_{i=1}^{n_0} \pi \cdot r_i^2 \cdot l_i, \quad (20)$$

где  $n_0$  – число капилляров радиуса  $r > r_{\max}$  в единице площади покрытия, шт./м<sup>2</sup>;

$l_i$  – высота столбика жидкости, оставшейся в капилляре радиуса  $r_i$ ,  $l_i = R_0 - R_i$ ,  $R_i = f(t)$ .

Тогда уточненные потери жидкости  $\Delta V_{sy}$  с учетом выражений (16) и (20) представим так

$$\Delta V_{sy} = \Delta V_s - \Delta V'_s. \quad (21)$$

Потери жидкости из покрытия контактора определяются из формулы

$$\Delta V = \Delta V_{sy} \cdot S_0 = 2 \cdot \Delta V_{sy} \cdot \pi \cdot R_0 \cdot B \cdot m, \quad (22)$$

где  $S_0$  – площадь поверхности барабанов, м<sup>2</sup>;

$B$  – рабочая ширина захвата одного барабана, м;

$m$  – число барабанов, шт.

Анализируя выражение (22) и минимизируя  $\Delta V$ , видим, что  $\Delta V_{sy}$  и  $R_0$  должны стремиться к нулю: это обеспечит экологически чистую работу машины.

### Библиографический список

1. Бронштейн, И.Н. Семендяев, К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
2. Винокуров, В.Н. Машина для химического ухода за культурами / В.Н. Винокуров, А.А. Котов, В.В. Пельтек // В сб. докл. второй всесоюзной научно-техн. конференции: Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов. – Тез. докл. – М.: МЛТИ, 1991. – Ч. 2. – С. 195–196.
3. Дж. Бэтчелер. Введение в динамику жидкости / Дж. Бэтчелер; пер. с англ. под ред. Г.Ю. Степанова. – М.: Мир, 1973. – 760 с.
4. Добронравов, В.В. Курс теоретической механики / В.В. Добронравов, Н.Н. Никитин. – М.: Высш. школа, 1983. – Изд. 4-е. – 575 с.
5. Калицун, В.И. Основы гидравлики и аэродинамики / В.И. Калицун, Е.В. Дроздов. – М.: Стройиздат, 1990. – 247 с.
6. Клевицкий, М.М. Исследование центробежного способа обезвоживания круглых березовых лесоматериалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.М. Клевицкий. – М.: МЛТИ, 1980. – 19 с.
7. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
8. Повышение надежности и долговечности лесохозяйственных машин / П.С. Нартов. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1974. – 37 с.
9. Омелюх, Я.К. Для обезвреживания остатков пестицидов / Я.К. Омелюх, Е.А. Барыш // Защита растений. – 1990. – № 7. – С. 61–62.
10. Пановко, Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г. Пановко. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

В.И. АЗАРОВ, *проф. каф. химической тех-гии древесины и полимеров МГУЛ, д-р техн. наук,*  
Г.Н. КОНОНОВ, *проф. каф. химической тех-гии древесины и полимеров МГУЛ, канд. техн. наук,*  
А.Н. ВЕРЕВКИН, *доц. каф. химической тех-гии древесины и полимеров МГУЛ, канд. хим. наук,*  
В.С. ДРОЗДОВА, *асп. каф. химической тех-гии древесины и полимеров МГУЛ*

*caf-htdip@mgul.ac.ru*

**К**арбамидоформальдегидные смолы представляют собой коллоидные системы карбамидоформальдегидных олигомеров (КФО) в воде. Они широко применяются в различных отраслях промышленности, в строительстве, для изготовления мебели.

Карбамидо- и меоаминоформальдегидные олигомеры и полимеры – это продукты конденсации карбамида и меламина с формальдегидом и отверждения образовавшихся олигомеров. Этот класс олигомеров применяют в самых больших объемах из всех олигомеров и полимеров, используемых в деревообрабатывающей, мебельной и целлюлозно-бумажной промышленности [1].

**Карбамидоформальдегидные смолы (КФС).** КФС – продукты поликонденсации карбамида с формальдегидом. Выпускаются они в виде 30–90 %-х водных растворов и сухих смол.

Первоначальные продукты взаимодействия карбамида и формальдегида – растворимые в воде кристаллические вещества моно- и диметилкарбамида.

Водные растворы метилольных производных карбамида переводят в карбамидоформальдегидные смолы по специальной технологии (мольное соотношение карбамида и формальдегида 1:2, температура конденсации не ниже 75–80° С, рН – не ниже 5,5).

Характерной особенностью КФС является наличие на концах цепей и в основных цепях метилольных групп –  $\text{CH}_2\text{OH}$ , обеспечивающих адгезию к бумаге.

Карбамидоформальдегидные смолы бесцветны, легко окрашиваются в любой цвет, способны отверждаться на холоде и при нагревании. Катализаторами являются минеральные и органические кислоты и ароматические сульфокислоты.

Структура и свойства *карбамидоформальдегидных олигомеров* достаточно сложны и не до конца изучены. Имеющиеся многочисленные данные говорят о возможности получения линейных, линейно-циклических и разветвленных олигомеров со степенью поликонденсации 5–10.

По внешнему виду это вязкие прозрачные или белого цвета продукты с содержанием основного вещества 60–65 %, обладающие высокой адгезией к различным материалам и растворимостью в воде.

Карбамидоформальдегидным олигомерам присущи хорошие связующие свойства при превращении в полимерное твердое состояние, на чем основано их широкое применение в промышленности.

Макромолекулы отвержденных олигомеров хрупки и неэластичны, что является основным недостатком этого класса аминокальдегидных синтетических материалов. Высокое содержание свободного формальдегида также является недостатком карбамидоформальдегидных олигомеров. Значительное снижение отрицательных свойств, а в некоторых случаях и их полное устранение достигаются в процессе их химической модификации [1].

**Химическая модификация карбамидоформальдегидных олигомеров** имеет цель улучшить их физико-механические и токсикологические свойства: повысить эластичность полимера и стойкость к действию воды, моющих средств, органических растворителей и ультрафиолетовых лучей; повысить стабильность разбавленных растворов олигомеров и значительно снизить содержание в них свободного формальдегида и исключить его выделение из готовых изделий народного хозяйственного потребления. Улучшение перечисленных свойств олигомеров открывает

возможности их практического применения в качестве связующих и пленкообразующих синтетических материалов в производстве бумаги и картона.

*Катионирование.* Катионные карбаминоформальдегидные олигомеры, имея положительный заряд, легко притягиваются отрицательно заряженными целлюлозными волокнами, и удержание олигомеров достигает 45–70 %, а прочность бумаги во влажном состоянии составляет 20–40 %.

Катионные карбаминоформальдегидные олигомеры получают модификацией их полифункциональными аминами: диэтиленамином, триэтиленамином, полиэтиленполиамином и др.

*Эластифицирование.* Несмотря на высокую эффективность катионных карбаминоформальдегидных олигомеров для улучшения качества бумаги при введении в массу, они не лишены основного отрицательного свойства – хрупкости. Повышение их содержания в бумаге свыше 5 % увеличивает ее хрупкость и гидрофобность. По той же причине карбамидные олигомеры не нашли применения для поверхностной обработки бумаги, хотя карбаминоформальдегидные олигомеры обладают хорошей пленкообразующей способностью даже при комнатной температуре. В целях уменьшения или устранения хрупкости отвержденных олигомеров их эластифицируют химической модификацией. В качестве эластифицирующих соединений применяют одно- и многоатомные спирты, высшие жирные кислоты, полиакриламид и его производные, поливиниловый спирт и поливинилацетат, сложные полиэфиры, крахмал и другие полимеры.

При модификации мочевиноформальдегидной смолы Diacol M-1 метакрилатными олигомерами и хлоропреновым каучуком на водостойкость добавки 10 % митекрилатного олигомера значительно повышают водостойкость смолы. Влияние обработки дисперсией хлоропренового СК слабее [5].

*Снижение токсичности.* Применение карбаминоформальдегидных олигомеров в бумажно-картонном производстве ограничивается также высоким содержанием свободного формальдегида как в исходном про-

дукте, так и особенно из-за его выделения в процессе производства из готовой продукции в период эксплуатации. В промышленных смолах содержание свободного формальдегида достигает 1–3 % [2].

Наиболее эффективным методом снижения токсичности, как считает В.И. Азаров, является модификация карбаминоформальдегидных олигомеров, причем такая, при которой модификатор образует с формальдегидом более стойкие к нагреванию химические связи, чем в *N*-метилольных карбамида. Это достигается добавлением в олигомеры более нуклеофильных чем карбамид аминов, амино- и амидоэпоксидов. Образующиеся метилольные производные более стабильны к гидротермической деструкции и, кроме того, участвуя в отверждении, улучшают качество олигомеров [2].

Эффективным модификатором в этом отношении является эпихлоргидрин. Активно взаимодействуя со свободным формальдегидом, эпихлоргидрин связывает его в ацеталь, который соединяется с гидроксимелитильными производными, образуя метиленэфирные группировки [2].

При модификации карбаминоформальдегидной смолы добавками органического и неорганического происхождения, а именно мелкодисперсным кремнеземом – вулкасил, спиртами – этиловым, *n*-бутиловым, этиленгликолем и глицерином. Вулкасил обеспечивает хемосорбцию свободного формальдегида за счет наличия контактных микропор и высокой способности образовывать водородные связи. Так как хемосорбция проявляется при температуре ниже температуры прессования древесно-стружечных плит, это обеспечивает высокую скорость отверждения смолы и частоту трехмерной полимерной сетки, которая, в свою очередь, ответственна за прочностные показатели плит. Использование в качестве модификаторов спиртов основано на их способности вступать с формальдегидом в химическую реакцию с образованием полуацеталей и ацеталей, что способствует стабилизации смолы и удлиняет срок ее хранения без снижения физико-химических свойств. Введение модификаторов обеспечивает существенное увеличение реакцион-

ной способности смолы, которая проявляется в уменьшении времени желатинизации по сравнению с исходной немодифицированной смолой. При этом оптимальными концентрациями для н-бутилового спирта, вулкасила, этилового спирта оказались соответственно 0,5; 1; 1,5 %. Этиленгликоль и глицерин оказались менее эффективны. Изучение кинетики связывания свободного формальдегида различными модификаторами показало, что значительное преимущество перед спиртами имеет вулкасил, однако время выхода его на максимальную конверсию формальдегида наибольшее.

С целью снижения токсичности карбамидоформальдегидных смол, которые являются наиболее распространенными связующими для ДСтП, были разработаны композиции на основе КФС с добавлением сульфатного мыла (СМ), выделенного из упаренных черных щелоков, содержащего значительное количество смоляных кислот, которые вступают, как известно, в реакцию с формальдегидом. Была изучена зависимость физико-химических свойств композиций от количества вводимого СМ (1–7 %). Наблюдалось снижение содержания свободного формальдегида с увеличением доли СМ. Оптимальное количество СМ составляет 5 % от массы сухой смолы. Полученные композиции использовались для получения ДСтП. Ана-

лиз физико-механических показателей полученных материалов позволяет сделать вывод, что присутствие СМ в композиции с карбамидоформальдегидной смолой не ухудшает качеств готовой продукции и в то же время снижает ее токсичность.

Также предпринимаются попытки модификации КФС путем частичной замены формальдегида на глиоксаль и мочевины на продукты взаимодействия мочевины с глиоксалем (гликольурилом). Синтез проводится по технологии производства смолы марки КФ-О с разным мольным соотношением карбамид: формальдегид: глиоксаль (гликольурил). Глиоксаль и гликольурил вводят на первой стадии. Свойства исследованных смол показывают, что применение модификаторов уменьшает содержание свободного формальдегида, улучшает смешиваемость смолы с водой, они становятся более реакционноспособными.

Одним из методов комплексного улучшения свойств карбамидоформальдегидных олигомеров (КФО) является сополиконденсация мочевины и формальдегида с соединениями, имеющими активный атом водорода. В качестве такого соединения в данной работе использовались аминокислоты. Они способны взаимодействовать с формальдегидом по свободным аминогруппам и оказывать стабилизирующее действие на КФО.

Т а б л и ц а 1

**Результаты опытов по получению карбамидоформальдегидных олигомеров, модифицированных NaKMЦ, меламином, катионным крахмалом**

№	Карбамид			Формальдегид			Меламин			NaKMЦ		Крахмал		Содержание сухого остатка, %
	масса, г	% от сух. ост.	моль	масса, г	% от сух. ост.	моль	масса, г	% от сух. ост.	моль	масса, г	% от сух. ост.	масса, г	% от сух. ост.	
1	15	36,6	0,3	20	48,8	0,6	5	12,2	0,04	1	2,4	–	–	55
2	15	35,7	0,3	20	47,6	0,6	5	11,9	0,04	2	4,8	–	–	47
3	15	34,9	0,3	20	46,5	0,6	5	11,6	0,04	3	7,0	–	–	47
4	15	34,1	0,3	20	45,5	0,6	5	11,4	0,04	4	9,0	–	–	48
5	15	55,6	0,25	12	44,4	0,4	–	–	–	0	0	–	–	46
6	15	54,4	0,25	12	43,6	0,4	–	–	–	0,55	2	–	–	47
7	15	53,3	0,25	12	42,7	0,4	–	–	–	1,125	4	–	–	48
8	15	52,2	0,25	12	41,8	0,4	–	–	–	1,723	6	–	–	48
9	15	51,1	0,25	12	40,9	0,4	–	–	–	2,35	8	–	–	49
10	15	52,5	0,25	12	42	0,4	–	–	–	0,57	2	1	3,5	50
11	15	51,5	0,25	12	41,1	0,4	–	–	–	1,17	4	1	3,4	48
12	15	50,4	0,25	12	40,3	0,4	–	–	–	1,79	6	1	3,3	45
13	15	49,3	0,25	12	39,5	0,4	–	–	–	2,4	8	1	3,2	45

**Результаты опытов по получению карбамидоформальдегидных олигомеров, модифицированных гидроксиэтилцеллюлозой, гидроксипропилцеллюлозой, этилцеллюлозой**

№	Карбамид			Формальдегид			Гидроксиэтилцеллюлоза		Гидроксипропилцеллюлоза		Этилцеллюлоза		Содерж. сухого остатка, %
	масса, г	% от сух. ост.	моль	масса, г	% от сух. ост.	моль	масса, г	% от сух. ост.	масса, г	% от сух. ост.	масса, г	% от сух. ост.	
14	15	42	0,3	20	56	0,6	0,7	2	–	–	–	–	40
15	15	41	0,3	20	55	0,6	1,4	4	–	–	–	–	42
16	15	40,3	0,3	20	53,7	0,6	2,1	6	–	–	–	–	41
17	15	39,4	0,3	20	52,6	0,6	2,8	8	–	–	–	–	40
18	15	42	0,3	20	56	0,6	–	–	0,7	2	–	–	39
19	15	41	0,3	20	55	0,6	–	–	1,4	4	–	–	45
20	15	40,3	0,3	20	53,7	0,6	–	–	2,1	6	–	–	42
21	15	39,4	0,3	20	52,6	0,6	–	–	2,8	8	–	–	43
22	15	42	0,3	20	56	0,6	–	–	–	–	0,7	2	43
23	15	41	0,3	20	55	0,6	–	–	–	–	1,4	4	40
24	15	40,3	0,3	20	53,7	0,6	–	–	–	–	2,1	6	39
25	15	39,4	0,3	20	52,6	0,6	–	–	–	–	2,8	8	41

**Результаты испытаний КФО**

КФО	Время желатинизации, сек	Время жизнеспособности, ч	Сод. своб. CH <sub>2</sub> O, %	Вязкость, сек	pH
1	63	6,33	1,4	22	9
2	62	5,92	1,25	23	10
3	59	5,83	1,12	25	9
4	56	5,78	0,7	27	9
5	90	8,25	1,8	19	8,5
6	83	7,92	1,53	22	9
7	79	7,75	1,5	25	9
8	76	7,58	1,2	27	8,5
9	70	7,5	0,8	29	8,5
10	70	11	1,3	36	9
11	66	10,5	1,1	39	9
12	62	9,83	1,0	45	8,5
13	58	9	0,6	50	9
14	103	7	1,2	25	9
15	97	6,25	1,13	25,8	10
16	93	5,75	1,07	26	9
17	87	5,5	0,95	26,4	8,5
18	107	7,92	1,3	24,6	9
19	103	7,75	1,19	25,2	10
20	97	7,25	1,09	25,8	8,5
21	94	7,08	1,01	26	9
22	112	7,5	1,2	22,1	9
23	109	7,25	1,0	22,5	10
24	101	6,67	0,83	23	8,5
25	97	6,33	0,74	23,2	9

При введении МЭА на второй стадии происходит увеличение вязкости, времени желатинизации и массовой доли свободного формальдегида по сравнению с модифицированным олигомером на первой стадии. Проводились опыты с разным количеством добавляемого агента в мольных соотношениях карбамид: формальдегид: МЭА 1:1,2:(0,015–0,069). Получена закономерность изменения некоторых свойств олигомеров и ДСП на их основе от количества МЭА. Определено оптимальное соотношение карбамид: формальдегид: моноэтаноламин, равное 1:1,2:0,037. В процессе хранения олигомеров изучались изменения вязкости, времени желатинизации, радиусов надмолекулярных частиц и функционального состава КФО [3].

Авторами были получены карбамидоформальдегидные олигомеры, модифицированные эфирами целлюлозы – НаКМЦ, гидроксиметилцеллюлозой, гидроксипропилцеллюлозой, этилцеллюлозой, гидроксипропилцеллюлозой, крахмалом, меламинам. Были проведены исследования влияния модификаторов на технологические параметры модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров. Рецептура олигомеров приведена в табл. 1,2. Результаты испытания свойств полученных олигомеров приведены в табл. 3.

Было установлено, что при увеличении количества вводимого модификатора уменьшается время желатинизации (при

100 °С) и жизнеспособности (при 20 °С) карбамидоформальдегидных олигомеров и увеличивалась вязкость растворов. Однако снижалось содержание свободного формальдегида в КФО.

### Библиографический список

1. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов / В.И. Азаров, А.В. Бузов, А.В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
2. Азаров, В.И. Полимеры в производстве древесных материалов: Учебник для студентов спец. 260300, 260200 / В.И. Азаров, В.Е. Цветков. – М.: МГУЛ, 2003.
3. Денисов, С.В. Эффективная технология склеивания хвойной фанеры модифицированными клеями / С.В. Денисов, Д.С. Русаков // Труды братского государственного технического университета. – Т. 2. – Братск: Изд-во БрГТУ, 2004. – С. 192–195.
4. Kimberly-Clark Worldwide, Inc., Lindsay Jeff, Shannon Tom G., Goulet Mike, Lostocco Mike, Runge Troy, Branham Kelly, Flugge Lisa, Foster Jamie, Lang Fred, Sun Tong, Garnier Gil. Fibrous materials treated with a polyvinilamine polymer. Волокнистые материалы, обработанные поливиниламиновыми полимерами: Пат. 6824650 США, МПК<sup>7</sup> D 21 H 23/76. № 10/023489; Заявл. 18.12.2001; Опубл. 30.11.2004; НПК 162/168.2. Англ.
5. Dziurka Dorota, Jablonski Marek, Sedliacik Jan. Modification of Diakol M-1-urea-formaldehyde resin in order to improve its water resistance. Модификация мочевиноформальдегидной смолы Diakol M-1 для повышения водостойкости. Ann. Warsaw Arg. Univ.– SGGW. Forest. and Wool Technol. 2004, № 55, с. 175 – 179. Библ.13. Англ.; рез. пол.

## НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ СТРУКТУРЫ 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*

*alexandr0205@rambler.ru*

Древесно-стружечные плиты используются как конструкционный материал в производстве мебели и строительстве, поэтому их механические характеристики являются одними из важнейших показателей качества и регламентируются соответствующими стандартами, в которых нормируются мак-

ропоказатели прочности и жесткости плит. Плиты – это композиционный материал с дискретной структурой, микронапряжения в элементах которой (древесных частицах, клеевых соединениях) существенно отличаются от соответствующих макропоказателей, и именно они их определяют.

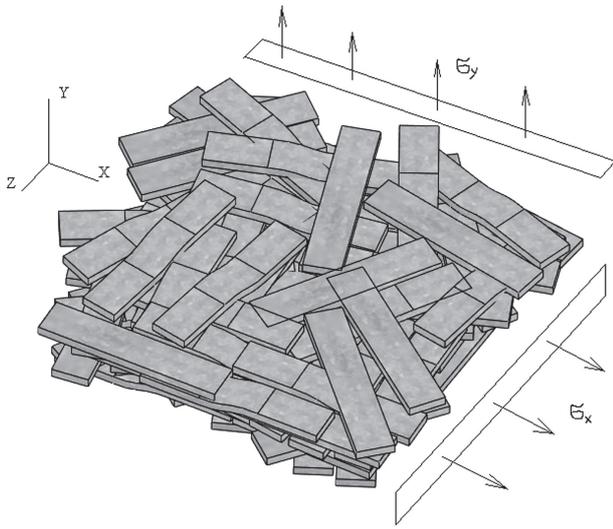


Рис. 1. Структурная схема и расчетные случаи нагружения,  $\sigma_y$  – растяжение модели поперечно ее пласти,  $\sigma_x$  – растяжение модели вдоль ее пласти

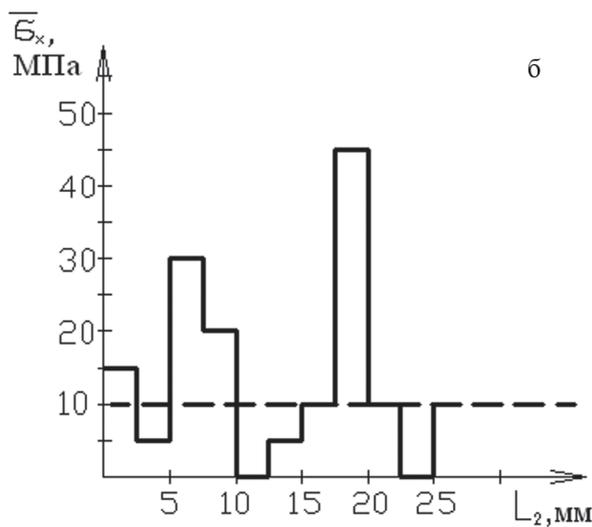
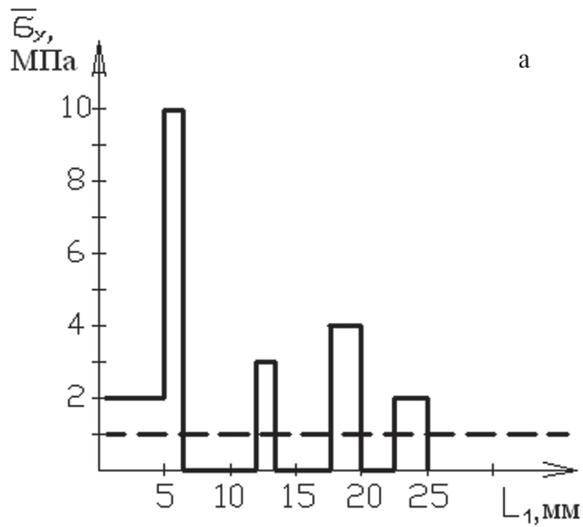


Рис. 2. Эпюра микронапряжений в клеевых соединениях  $\sigma_y$  и  $\sigma_x$  в среднем сечении модели при растяжении модели: а – поперек пласти; б – вдоль пласти

Проведено много экспериментальных исследований о влиянии размеров древесных частиц, расходе связующего, плотности плит на их прочность и жесткость, получены эмпирические зависимости между этими параметрами. Гораздо меньше работ теоретического характера, где рассматриваются различные структурно-геометрические модели и расчетным путем при определенных допущениях определяются эти зависимости (1, 2, 3, 4). Такой подход позволяет прогнозировать величины макропоказателей плит, исходя из механических свойств древесины и смолы, с учетом размеров и характеристик распределения связующего.

В статье приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния в элементах структуры древесностружечной плиты, выполненных «методом конечных элементов» с использованием прикладной программы CosmosWork. Расчеты выполнены на модели из равновеликих частиц, имеющих форму вытянутых параллелепипедов. На рис. 1 представлены структурная модель и расчетные случаи нагружения. При проектировании модели были использованы древесные частицы размерами  $15 \times 3 \times 0,75$  мм двух типов: прямые (25%) и изогнутые (75%). Всего модель насчитывает 70 частиц. Средняя площадь контакта двух частиц в модели –  $35 \text{ мм}^2$ . Изогнутые частицы имитируют реальную геометрическую форму частиц после прессования. Модель рассчитана на растяжение вдоль и поперек пласти плиты. Макронапряжения вдоль и поперек пласти плиты соответственно равны  $\sigma_x = 10 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_y = 1 \text{ МПа}$ .

Как видно из данных, приведенных на рис.2а, максимальные микронапряжения в пять раз превышают значения усредненных макропоказателей и приближаются к пределу прочности древесины вдоль и поперек волокон при заданных нагрузках соответственно.

Анализ касательных напряжений в клеевых швах приведен на расчетной схеме соединения частиц внахлест на рис.3. При этом варьировались следующие параметры: толщина частиц  $h$  от 0,2 до 0,4 мм, толщина клеевых прослоек от 0,02 до 0,04 мм, модуль упругости клея от  $3,5 \cdot 10^4 \text{ МПа}$  до  $7 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ .

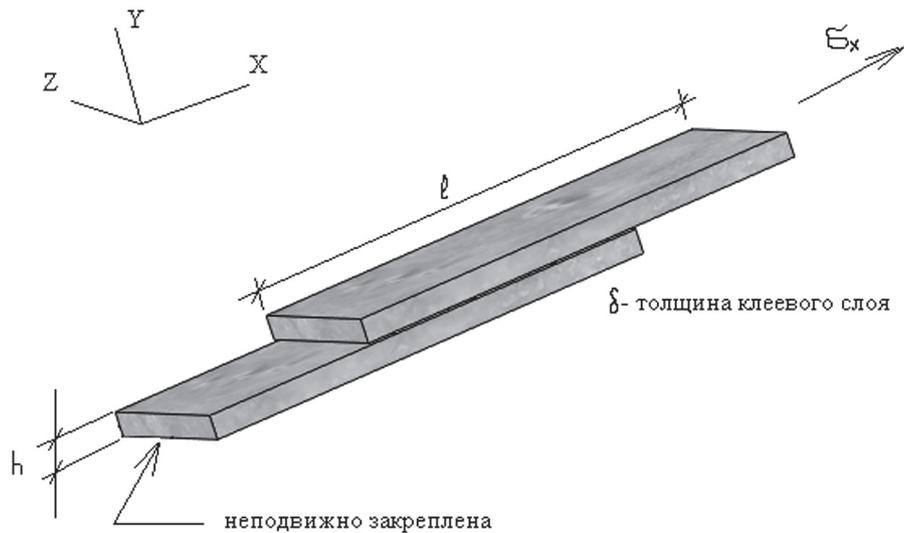


Рис. 3. Расчетная схема модели для определения напряжений в месте контакта частиц с клеевым слоем

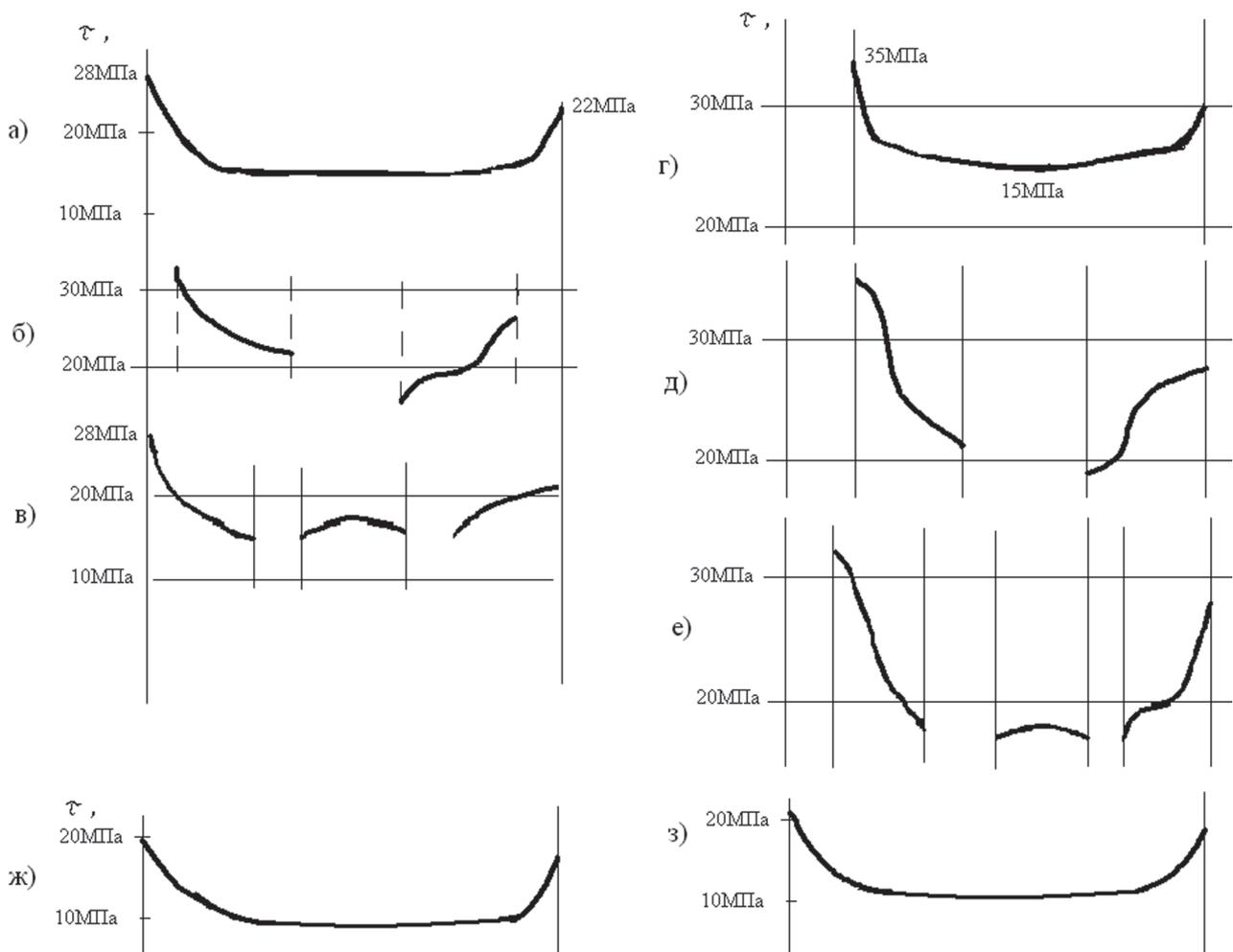


Рис. 4. Эпюры касательных напряжений: а) – сплошное осмоление контакта частиц при  $h = 0,4$ ,  $\delta = 0,04$  мм,  $E_{кл} = 7 \cdot 10^4$  МПа; б) – два клеевых контакта частиц при  $h = 0,4$ ,  $\delta = 0,04$  мм,  $E_{кл} = 7 \cdot 10^4$  МПа; в) – два клеевых контакта частиц при  $h = 0,4$ ,  $\delta = 0,04$  мм,  $E_{кл} = 7 \cdot 10^4$  МПа; г) – сплошное осмоление контакта частиц при  $h = 0,2$ ,  $\delta = 0,02$  мм,  $E_{кл} = 7 \cdot 10^4$  МПа; д) – два клеевых контакта частиц при  $h = 0,2$ ,  $\delta = 0,02$  мм,  $E_{кл} = 7 \cdot 10^4$  МПа; е) – два клеевых контакта частиц при  $h = 0,2$ ,  $\delta = 0,02$  мм,  $E_{кл} = 7 \cdot 10^4$  МПа; ж) – сплошное осмоление контакта частиц при  $h = 0,4$ ,  $\delta = 0,04$  мм,  $E_{кл} = 3,5 \cdot 10^4$  МПа; з) – сплошное осмоление контакта частиц при  $h = 0,4$ ,  $\delta = 0,02$  мм,  $E_{кл} = 3,5 \cdot 10^4$  МПа

Рассмотрены три случая осмоления: сплошное осмоление зоны контакта частиц, контакт в двух и трех точках.

На рис. 4 представлены эпюры касательных напряжений  $\tau$  для различных расчетных случаев.

Проанализировав полученные результаты расчетов касательных напряжений, можно отметить, что максимальные напряжения 35 МПа возникают при двухконтактном соединении, но незначительно отличаются от напряжений при сплошном осмолении зоны контакта. Следовательно, можно сделать вывод, что при осмолении частиц необходимо добиваться контактного осмоления, что снизит расход связующего, незначительно повлияв на механические свойства ДСтП.

### Библиографический список

1. Гамов, В.В. Экспериментально-теоретическое исследование структурно-механического упрочнения древесно-стружечных плит, автореферат дис. / В.В. Гамов. – М., 1968.
2. Жуков, В.П. О предельной прочности древесно-стружечных плит / В.П. Жуков // Лесной журнал. – 1976. – № 2. – С. 73–78.
3. Поташев, О.Е. Механика древесных плит / О.Е. Поташев, Ю.Г. Лапшин. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 112 с.
4. Поздняков, А.А. Степень нагруженности различных ориентированных стружек древесно-стружечной плиты / А.А. Поздняков // Лесной журнал. – 1973. – №3. – С. 58–60.
5. Леонович, А.А. ДСП: Технологии. Новое в исследованиях и разработках древесно-стружечных плит / А.А. Леонович // Мебельщик. – 1999. – № 2.
6. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация: Пер. с англ. / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986.

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИХ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ

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

*caf-sopromat@mgul.ac.ru*

Определение экспериментальных зависимостей деформирования древесно-стружечных плит от изменения влагосодержания и температуры – это частная задача, которая входит в реологические уравнения для описания деформационного поведения древесно-стружечных плит. Определение самих реологических соотношений позволит в первую очередь определять нагрузку на ДСтП со стороны плит пресса, а также рассчитывать распределение плотности по толщине материала. Повышенная плотность в поверхностных слоях приводит к росту показателей прочности при изгибе, что хорошо для мебельных полок. Повышенная плотность в середине плиты увеличит способность держать крепежные элементы, что очень важно для стоек мебельных гарнитуров.

В первую очередь была проведена оценка коэффициента линейного расширения ДСтП. По литературным источникам известно [1], что расширение древесины при нагревании имеет малую величину и зависит

от направлений по отношению к волокнам – наименьшее вдоль волокон и наибольшее поперек волокон в тангенциальном направлении. Максимальные значения коэффициента линейного расширения для сухой древесины не превышают  $64 \times 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>. Если принять толщину материала 20 мм, то при нагреве на 100 °С максимальная расчетная деформация от теплового расширения материала не превысит 0,1 мм.

Однако в реальных технологических процессах при нагревании древесных материалов помимо теплового расширения одновременно имеет место существенная влажностная деформация. При уменьшении влажности на несколько процентов происходит значительно большая усушка, чем рост толщины материала при нагреве на несколько десятков градусов. Учитывая невысокий порядок коэффициента линейного расширения ДСтП, температурными деформациями древесно-стружечной плиты в дальнейших расчетах мы пренебрегали.

С целью определения экспериментальных зависимостей деформирования ДСтП от изменения влагосодержания материала были проведены отдельные испытания, для чего на лабораторном прессе были изготовлены опытные плиты. Затем из этих плит были выпилены образцы для одновременного определения плотности, влажности, разбухания и усушке по толщине плиты.

Первые опытные плиты были изготовлены из сосновых стружек. Варьировались следующие факторы:

– расход связующего  $q$  (в % от массы абсолютно сухой стружки) – 6 %; 9 %; 12 % и 15 %;

– плотность плит  $\rho$  (в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) – 450  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; 600  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; 900  $\text{кг}/\text{м}^3$  и 1050  $\text{кг}/\text{м}^3$

– фракция древесных стружек  $\Phi_r$  – 2/1; 5/7 и 10/7.

На первом этапе экспериментов все образцы были помещены в сушильный шкаф и высушены до нулевого влагосодержания. Контроль влагосодержания осуществлялся весовым методом.

Для создания воздушной среды с постоянным содержанием влаги в воздухе были подготовлены эксикаторы с водным раствором серной кислоты под решеткой эксикатора. Эксикаторы разместили в комнате с постоянной температурой помещения  $20 \pm 2$  °С.

Процентное содержание серной кислоты в различных эксикаторах было разным для того, чтобы влажность воздуха, и, естественно, равновесное влагосодержание образцов можно было изменять.

Образцы поэтапно перекладывались из первого эксикатора с невысоким значением влажности воздуха в следующий эксикатор с большей величиной влажности воздуха, вплоть до последнего эксикатора, в котором была налита дистиллированная вода без серной кислоты.

Образцы в каждом эксикаторе выдерживались в течение нескольких недель до достижения ими состояния равновесного влагосодержания. Контроль производился весовым методом до момента, когда масса образца, находящегося в эксикаторе, переставала увеличиваться. После этого производилось окончательное взвешивание и измерение толщины образцов для расчета разбухания плит.

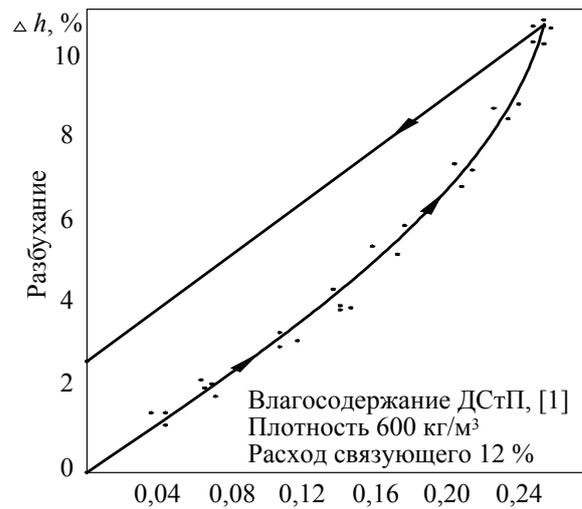


Рис. 1. Разбухание и усушка образцов древесно-стружечных плит в процессе экспериментов

На заключительном этапе все образцы вновь были помещены в сушильный шкаф и высушены до нулевого влагосодержания с фиксацией толщины плиты в сухом состоянии.

Ниже представлены результаты испытаний по определению величины усушки и разбухания древесно-стружечных плит из сосновой стружки от изменения влагосодержания этого материала.

На рис. 1 изображена динамика роста деформаций ДСтП при увеличении влаги в материале и последующее уменьшение толщины плиты при сушке ее до нулевого значения влажности. Данные проведенных экспериментов показывают, что с ростом влагосодержания ДСтП от нулевого значения до 0,14–0,16 разбухание материала происходит по линейному закону. С дальнейшим увеличением содержания влаги в плите происходит отклонение от прямолинейной зависимости. В проведенных экспериментах максимальное значение влагосодержания ДСтП не превышало 0,25 (при выдерживании в эксикаторе с дистиллированной водой без серной кислоты). Необходимо отметить, что отклонение показателя разбухания материала от линейной зависимости при превышении влагосодержания значения 0,14 отмечалось и ранее другими исследователями [2, 3].

Заключительные измерения толщины плиты в сухом состоянии показали, что толщина плиты при прохождении полного цикла увлажнения и последующей усушки увеличилась на 2–3 %. Цельная древесина ведет

себя подобным образом, обладая свойством гистерезиса сорбции [4].

При анализе первой серии экспериментов было установлено, что размеры древесных частиц (их фракционный состав) не влияют на показатели разбухания и усушки – определяющим является величина плотности опытных образцов. Разбухание образцов из стружек фракций 10/7, 7/5 и 2/1 статистически достоверно не отличалось между собой. Поэтому в последующих экспериментах фракционный состав стружек был исключен из числа варьируемых факторов.

Поскольку основная цель экспериментов состояла в определении значений разбухания и усушки при описании деформационного поведения древесно-стружечных плит в процессе их производства, а, как известно, влагосодержание ДСтП при горячем прессовании и последующем кондиционировании не превышает значений 0,10–0,12 [5]; мы провели отдельную серию опытов, в которой часть образцов, достигших влагосодержания 0,12, были также помещены в сушильный шкаф и высушены до нулевого влагосодержания. В этом случае толщины плит в сухом состоянии не отличалась от их первоначального значения до набора влаги в эксикаторах.

После обработки результатов испытаний по определению величины усушки и разбухания древесно-стружечных плит из сосновой стружки методом наименьших квадратов была получена следующая зависимость

$$\varepsilon = [0,170826 + 0,408695 \cdot 10^{-3} \cdot \rho - [5,105271 \cdot 10^{-3} + 8,458 \cdot 10^{-6} \cdot \rho]q] \cdot U, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – относительная влажностная деформация ДСтП, [1];

$U$  – влагосодержание ДСтП, [1].

$q$  – расход связующего [(в % от массы абсолютно сухой стружки)];

$\rho$  – плотность ДСтП [кг/м<sup>3</sup>].

В представленной формуле влагосодержание древесно-стружечной плиты ( $U$ ) и относительная влажностная деформация ДСтП ( $\varepsilon$ ) – величины безразмерные (их значения измеряются в долях от единицы). При подстановке в формулу влагосодержания ДСтП ( $U$ ), измеряемое в процентном отношении, мы получим значение разбухания плит ( $\varepsilon$ ) также выраженное в процентах.

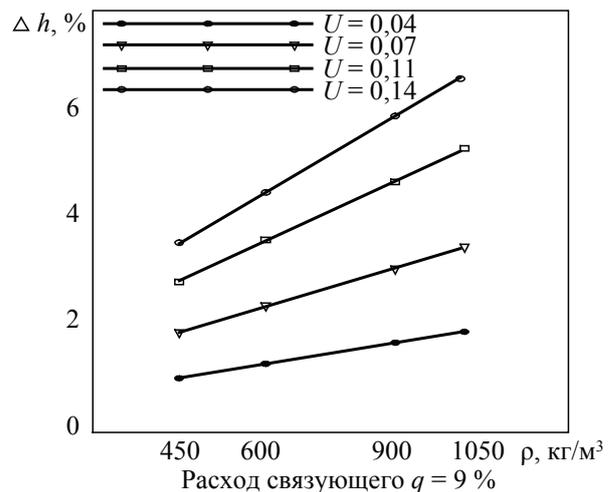


Рис. 2. Зависимость разбухания ДСтП от плотности плит

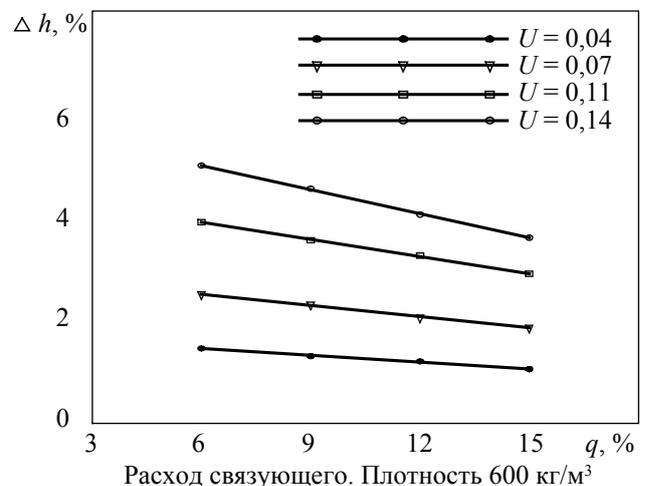


Рис. 3. Зависимость разбухания ДСтП от расхода связующего

Учитывая допущение о линейности разбухания и усушки древесно-стружечных плит до значений влагосодержания материала 0,12–0,14; предполагая также, что общий вид зависимости будет аналогичным представленной формуле (1), количество экспериментальных запрессовок из березовых и осиновых частиц было уменьшено.

По результатам обработки экспериментов с плитами из других пород древесины зависимость усушки и разбухания ДСтП имеет вид:

– для плит из березовой стружки:

$$\varepsilon = [0,19837 + 0,7065 \cdot 10^{-3} \cdot \rho - [7,8533 \cdot 10^{-3} + 3,586 \cdot 10^{-6} \cdot \rho]q] \cdot U, \quad (2)$$

– для плит из осиновой стружки:

$$\varepsilon = [0,1183043 + 0,434782 \cdot 10^{-3} \cdot \rho - [3,394 \cdot 10^{-3} + 10,87 \cdot 10^{-6} \cdot \rho]q] \cdot U, \quad (3)$$

Экспериментальными зависимостями (1), (2) и (3) можно пользоваться в интервале влажосодержания материала от 0 до 0,14.

Основные выводы и результаты:

1. Древесно-стружечная плита аналогично натуральной древесине обладает свойством гистерезиса сорбции, которое проявляется при превышении влажосодержания ДСтП значений 0,14–0,16;

2. Размеры древесных стружек (их фракционный состав) не влияют на показатели разбухания и усушки;

3. Наибольшим влажностным деформациям подвержены древесно-стружечные плиты, изготовленные из березовых стружек, меньшему разбуханию и усушке подвержены плиты из сосновой стружки, и наименьшее значение эти показатели принимают у плит из осинового стружки.

4. При прочих равных значениях факторов наиболее сильно на усушку и разбухание образцов оказывает влияние плотность материала. На рис. 2 показано, что при влажосодержании ДСтП 0,14 изменение плотности плиты от 450 кг/м<sup>3</sup> до 1050 кг/м<sup>3</sup> вызывает рост показателя разбухания почти в два раза (с 0,035 до 0,068).

5. Увеличение расхода связующего приводит к снижению влажностных деформаций в древесно-стружечной плите. Рис. 3 иллюстрирует линейное уменьшение усушки – разбухания ДСтП при изменении расхода связующего от 6 % до 15 %, однако влияние расхода связующего на влажностные деформации плиты в указанном диапазоне не столь велико по сравнению с воздействием на эти деформации плотности ДСтП.

### Библиографический список

1. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М: Лесная промышленность, 1973. – 383 с.
2. Тереньтьев, В.Я. Влияние влажности на свойства древесно-стружечных плит / В.Я. Тереньтьев // Деревообрабатывающая промышленность. – 1965. – № 1. – С. 5–7.
3. Хрулев, В.М. Долговечность древесно-стружечных плит / В.М. Хрулев, К.Я. Мартынов. – М: Лесная промышленность, 1977. – 168 с.
4. Серговский, П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П.С. Серговский. – М.: Лесная промышленность. 1968. – 448 с.
5. Обливин, А.Н. Тепло- и массоперенос в производстве древесно-стружечных плит / А.Н. Обливин, А.К. Воскресенский, Ю.П. Семенов. – М: Лесная промышленность, 1978. – 192 с.

## РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ОЦИЛИНДРОВАННЫХ БРЕВЕН

Р.Р. САФИН, доц. каф. арх-ры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, д-р техн. наук,  
 В.И. ПЕТРОВ, проф. каф. арх-ры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, д-р техн. наук,  
 М.К. ГЕРАСИМОВ, проф. каф. арх-ры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, д-р техн. наук,  
 Е.Ю. РАЗУМОВ, каф. арх-ры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, канд. техн. наук,  
 Н.Р. ГАЛЯВЕТДИНОВ, каф. арх-ры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ,

*cfaby@mail.ru, nour777@mail.ru*

В последнее время при постоянном росте тарифов на энергоносители особенно актуальной становится проблема энергосбережения в производственно-хозяйственной деятельности предприятий. При этом доля энергетических затрат в структуре себестоимости продукции деревообрабатывающих предприятий достигает значительных величин (20-30 %), что говорит о высокой энергоемкости производства. Поэтому внедрение энергосберегающих технологий является одним из важных направлений повышения эф-

фективности производства и умелого ведения технологических процессов в рыночных условиях хозяйствования предприятий.

Затрагивая вопрос энергосбережения на деревообрабатывающих предприятиях, нельзя обойти стороной самый энергоемкий процесс данной отрасли – сушку древесины, затраты на которую составляют до 30 % от стоимости сухих пиломатериалов. Поэтому повышение энергетической эффективности сушки древесины на сегодняшний день представляется одной из наиболее актуальных проблем.

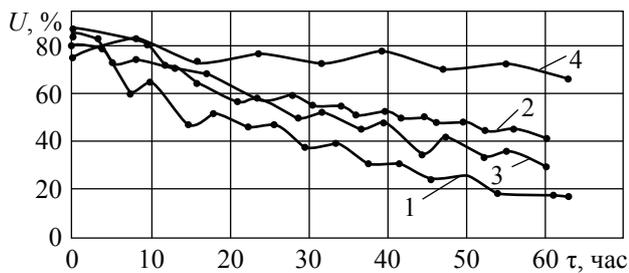


Рис. 1. Кривые сушки бревен различных пород в гидрофильной жидкости

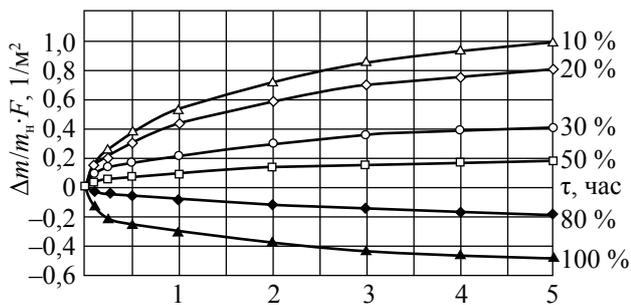


Рис. 2. Кинетика относительного количества впитавшейся в 1 м<sup>2</sup> поверхности древесины жидкости при различной влажности бревен

В рамках национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» возросло значение деревянного малоэтажного строительства. В последнее время строительство деревянных домов в основном осуществляют из оцилиндрованного бревна. Однако традиционная технология строительства домов из оцилиндрованного бревна имеет недостатки, к числу которых можно отнести использование атмосферной сушки бревен, которая, несмотря на высокую продолжительность процесса, не обеспечивает надлежащее качество, вызывая продольное трещинообразование вследствие особой геометрии бревна. Использование же конвективных технологий, вследствие существенной продолжительности процесса, которая порой достигает двух месяцев, приводит к большим теплотерям и, соответственно, энергозатратам. Учитывая качество, не надо забывать и о низкой био- и огнестойкости высушенных бревен, что снижает эстетический вид, значительно сокращает срок службы и увеличивает риск возникновения пожаров в домах, построенных данным способом.

С целью устранения перечисленных недостатков были проведены исследования осциллирующей сушки оцилиндрованных

бревен в гидрофильных жидкостях, в которых процесс складывается из последовательно чередующихся стадий нагрева древесины в гидрофильной жидкости и вакуумирования.

Результаты исследований представлены в виде кривых на рис. 1–3. На рис. 1 представлены результаты, полученные при осциллирующей сушке древесины различных пород в гидрофильной жидкости. Анализ зависимости показывает, что наилучший эффект наблюдается при осциллирующей сушке пихты, что объясняется высокой стойкостью данной породы к увлажнению на стадии прогрева. Напротив, сушка березы подобным образом практически невозможна вследствие ее хорошей проницаемости, что позволяет сделать вывод о возможности использования предложенной технологии для удаления влаги из умеренно- и труднопропитываемых пород древесины.

С целью разработки рациональных режимных параметров были приведены экспериментальные исследования по определению кинетики изменения количества впитавшейся в 1 м<sup>2</sup> поверхности древесины жидкости в процессе нагрева сосновых бревен различной влажности в водном растворе поваренной соли температурой 353 К (рис. 2). Анализ результатов показывает, что в случае высокой влажности древесины даже на стадии нагрева наблюдается ее сушка; при низкой влажности древесины, напротив, происходит впитывание жидкости. Аналогичные исследования были проведены для различных температур среды и диаметра бревна. Установлено, что с повышением температуры количество впитавшейся жидкости увеличивается, что объясняется снижением вязкости раствора. В то же время увеличение диаметра бревна приводит к снижению относительного количества впитавшейся жидкости, что объясняется увеличением массы бревна, приходящийся на 1 м<sup>2</sup> ее поверхности.

Математическая обработка результатов проведенных экспериментальных исследований позволила определить минимальную разницу температур на стадиях прогрева и вакуумирования при осциллирующей сушке древесины в гидрофильных жидкостях, обеспечивающую на стадии вакуумирования удаление жидкости, поглощенной древесиной

при ее прогреве (рис. 3). Таким образом, для возможности сушки оцилиндрованных бревен, применительно к деревянному домостроению (минимальный диаметр бревен 180 мм), до значений конечной влажности 10 % и 20 % разница температур на стадиях прогрева и вакуумирования должна составлять более 50 К. Отсюда, принимая на стадии вакуумирования температуру равной 293 К, температура жидкости на стадии прогрева должна составлять 353–363 К, что соответствует нормальным режимам конвективной сушки древесины и не вызывает снижения физико-механических свойств материала. При увеличении диаметра высушиваемых бревен необходимая разница температур на стадиях нагрева и вакуумирования уменьшается. Кроме того, результаты экспериментов указали на увеличение величины влагосъема за один цикл «прогрев–вакуумирование» при увеличении диаметра высушиваемых бревен, что объясняется существенным повышением количества аккумулированной тепловой энергии на стадии нагрева при незначительном увеличении площади поверхности материала.

В ходе проведенных исследований установлено, что при снижении текущей влажности высушиваемой древесины ниже 28–35 % происходит заметное уменьшение интенсивности процесса осциллирующей сушки в гидрофильных жидкостях, поэтому на данной стадии процесса рекомендуется переход к технологии вакуумно-кондуктивной досушки с периодическим подводом тепловой энергии. Для апробации данной технологии применительно к оцилиндрованным бревнам были проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены в виде кривых сушки (рис. 4).

Полученные результаты научной обработки экспериментальных данных по опытно-исследовательским процессам осциллирующей сушки в гидрофильных жидкостях с досушкой материала вакуумно-контактным методом позволяют расширить границы эксперимента для дальнейшего его изучения и определения оптимальных режимных параметров данного процесса. Для этого была спроектирована пилотная установка комбинированной сушки, схема которой представлена на рис. 5.

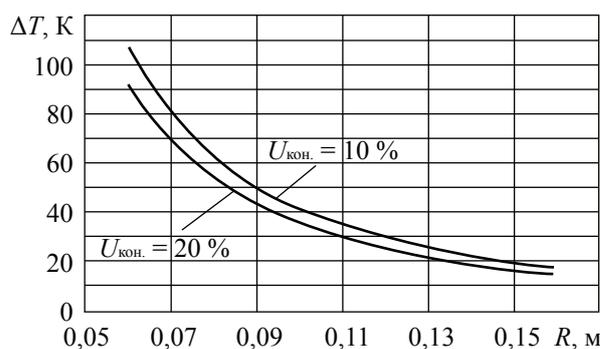


Рис. 3. Минимальная разница температур на стадиях нагрева и вакуумирования в зависимости от радиуса соснового бревна

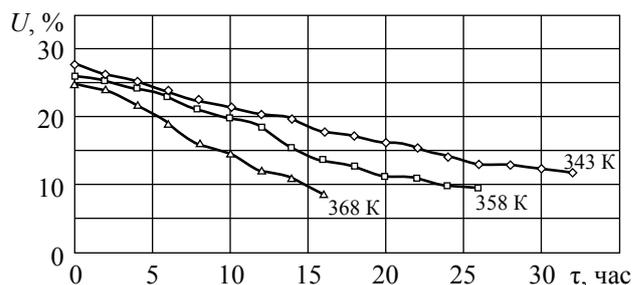


Рис. 4. Кривые досушки крупномерной древесины вакуум-кондуктивным способом

Установка состоит из камер сушки 1, образованных трубами и объединенных между собой в одну общую теплоизолированную рубашку 2. Внутри камер 1 помещают оцилиндрованные бревна 3, подвергающиеся сушке. Торцы камер 1, в свою очередь, плотно закрываются крышками 4. Установка также включает рабочие емкости 5 и 6 для хранения гидрофильного агента сушки и теплоносителя, жидкостные насосы 7 и 8, конденсатор 9 – для удаления пара, водокольцевой вакуум-насос 10 – для откачки воздуха из камеры в период создания вакуума, компрессор 11, калориферы 12 и 13.

Сушка бревен происходит следующим образом. Первоначально внутрь каждой камеры 1 помещается оцилиндрованное бревно 3. При этом конструкция камер 1 устроена так, что они соединены патрубками между собой и с системой циркуляции агента сушки. После этого камеры герметично закрываются крышками 4, и из рабочей емкости 5 внутрь камер 1 с помощью насоса 8 при открытых вентилях 14 и 15 закачивается предварительно нагретая с помощью калорифера 13 гидрофильная жидкость.

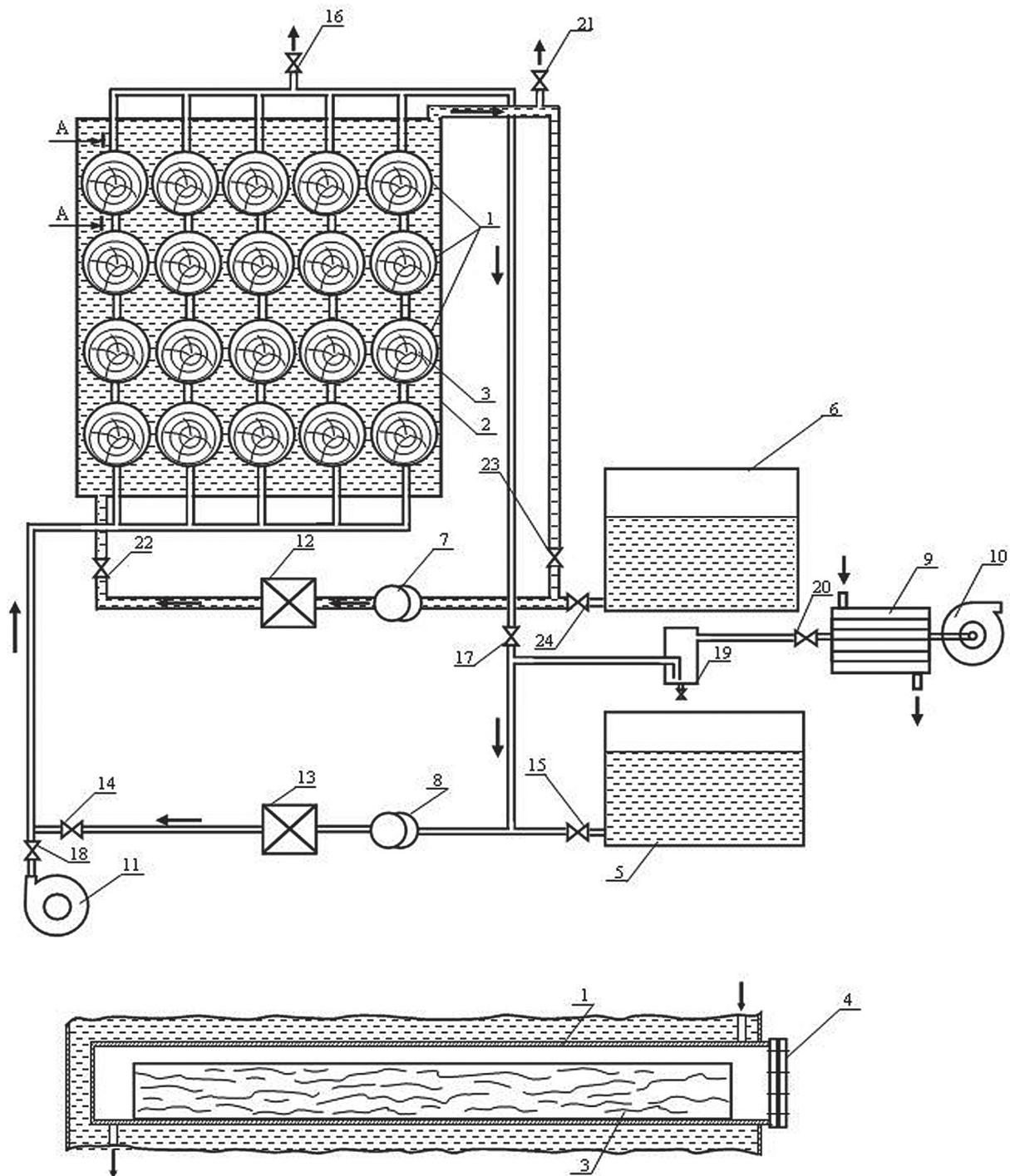


Рис. 5. Установка комбинированной сушки оцилиндрованных бревен: а – схема; б – схема камеры сушки

Причем воздух, находящийся внутри всей системы, стравливается во время заполнения ее жидкостью через открытый вентиль 16. Далее при включенных калорифере 13 и насосе 8, открытых вентилях 14 и 17 и закрытых вентилях 18 и 15, происходит циркуляция агента сушки, в качестве которого может выступать концентрированный водный раствор поваренной соли – происходит процесс нагрева древесины.

Выдержка бревен в заданных условиях осуществляется до достижения температуры в центре материала 80 – 90 °С, далее гидрофильная жидкость из камер 1 сливается в емкость 5 и начинается стадия вакуумирования. Для этого в работу включаются вакуумный насос 10 и конденсатор 9, которые откачивают паровоздушную смесь из рабочей полости камер 1 до остаточного давления 0,15–0,2 атм через ловушку для жидкости 19.

Для этого открываются вентили 17 и 20; вентили 14, 15, 16 и 18 закрыты. После снижения температуры в центре материала до 30–35 °С стадия вакуумирования заканчивается. После окончания процесса вакуумирования древесина подвергается воздействию воздушного давления в 2,5 атм на протяжении 10–15 мин. Для этого в работу включается компрессор 11 при предварительно закрытых вентилях 14, 16, 17 и открытом вентиле 18. Далее снова начинается стадия прогрева в гидрофильной жидкости. Таким образом, цикл «нагрев в гидрофильной жидкости – вакуумирование» повторяется несколько раз.

При снижении влажности высушиваемой древесины до 28–35 % в зависимости от породы, т.е. при удалении связанной влаги, стадию нагрева древесины проводят радиационно-контактным способом. Для этого включают насос 7 и калорифер 12 и в рубашку 2 подают теплоноситель из рабочей емкости

6. Стравливание воздуха в системе происходит через вентиль 21. Нагрев теплоносителя осуществляется циркуляцией в замкнутом контуре при открытых вентилях 22 и 23 и закрытом вентиле 24. При этом нижняя часть бревна, контактирующая со стенкой камеры 1, будет получать тепловую энергию контактным способом, остальная часть бревна будет нагреваться тепловым радиационным излучением от нагретых стенок камер и, частично, естественной конвекцией паровой среды, находящейся в камере 1. После достижения температуры в центре материала 80 °С, производится слив теплоносителя из рубашки 2 в рабочую емкость 6, и начинается стадия вакуумирования, после завершения которой цикл «радиационно-контактный нагрев – вакуумирование» повторяется.

После завершения процесса сушки древесины камеру разгерметизируют вентилем 16 и извлекают высушенную древесину.

## НАГРЕВ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СРЕДЕ НАСЫЩЕННОГО ПАРА

Е.И. БАЙГИЛЬДЕЕВА, доц. каф. переработки др. материалов Казанского ГТУ, канд. техн. наук,  
Б.М. РЫБИН, проф. каф. технологии мебели и изделий из древесины МГУЛ, д-р техн. наук,  
С.Н. РЫКУНИН, проф. каф. технологии лесопиления и деревообработки МГУЛ, д-р техн. наук,  
Р.А. ХАЛИТОВ, проф. каф. переработки др. материалов Казанского ГТУ, д-р техн. наук,  
Е.Ю. РАЗУМОВ, доц. каф. арх-ры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, канд. техн. наук

*shaikhutdinova@kstu.ru*

**В**ряде отраслей промышленности для интенсификации технологических процессов измельчения материала применяется сброс давления. Суть способа заключается в кратковременном нагреве материала насыщенным водяным паром под избыточным давлением с последующим его сбросом до атмосферного.

Применение метода сброса давления наиболее эффективно для измельчения коллоидных капиллярно-пористых материалов, легко насыщаемых влагой и претерпевающих структурные изменения под ее воздействием [1]. К таким материалам относится древесина, особенности структуры и свойств которой позволяют с успехом применять данный способ для расщепления. Одним из возмож-

ных направлений реализации метода сброса давления является расщепление технологической щепы с целью получения древесного волокна при производстве древесноволокнистых плит. Процесс получения древесного волокна данным методом включает три этапа: гидротермическую обработку щепы, ее измельчение и сушку полученного продукта.

Гидротермическая обработка щепы насыщенным паром вызывает гидролиз связей эфирного типа, ослабление структуры древесины, в том числе срединной пластинки, соединяющей оболочки древесных клеток и состоящей в основном из лигнина. Толщина пластинки составляет  $0,5 \cdot 10^{-6} - 1,5 \cdot 10^{-6}$  м. При расщеплении эфирных комплексов появляются свободные гидроксилы, повышающие

гидрофильность волокон и связанную с ней пластичность [2].

Согласно справочным данным [2], средняя величина предела прочности при растяжении древесины вдоль волокон для всех пород составляет 130 МПа, а при растяжении поперек волокон – 6,5 МПа. Совместные нагрев и увлажнение щепы при обработке насыщенным паром позволяют снизить прочность древесины в 2 и более раза, а также связанную с прочностью энергоёмкость последующего измельчения материала.

Технологическая щепка помещается в стальной автоклав, куда в момент времени  $\tau = \tau_1$  подают насыщенный водяной пар с заданными параметрами. Поскольку начальная температура материала ниже температуры насыщенного пара, происходит конденсация последнего на поверхности частиц в виде тонкой пленки жидкости [3] и выделение теплоты фазового перехода.

Для математического описания процесса нагрева технологической щепки необходимо принять ряд допущений. Все древесные частицы находятся в одинаковых условиях и имеют одни и те же показатели состояния по всему объёму автоклава для каждого момента времени. Из этого следует, что для описания процессов нагрева и увлажнения всего объёма материала достаточно рассмотреть тепломассоперенос в одной частице. Насыщенный пар в свободном объёме автоклава имеет постоянные термодинамические параметры и находится в равновесии с жидкостью, сконденсированной на поверхности щепки.

В первом приближении толщина пленки конденсата принимается равной приведенной толщине жидкости, образующейся на поверхности [3]

$$\delta = (\mu_{ж} / \rho_{ж}^2 g), \quad (1)$$

а температура поверхности материала при конденсации определяется из равенства потоков теплоты при фазовом переходе и конвективном теплообмене [4]

$$r_{ж} j_{ж} - \alpha_k (T_{ж} - T_{м.пв}) = 0, \quad (2)$$

или

$$T_{м.пв} = (\alpha_k T_{ж} - r_{ж} j_{ж}) / \alpha_k. \quad (3)$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_k$  в уравнении (3) может быть определен по формуле

[3] для случая конденсации пара на горизонтальной поверхности

$$\alpha_k = 0,725 \sqrt{\frac{\lambda^3 \rho^2 g r_n}{b(T_{нас} - T_{см} - 273)\mu}}. \quad (4)$$

В уравнении (4) геометрический размер  $b$  является определяющим.

Одновременно с нагревом щепки происходит ее увлажнение жидкостью. Перемещение влаги из пленки конденсата внутрь пористого материала осуществляется за счет градиента общего давления, при этом образующийся фронт жидкости формирует две зоны: влажную, где свободное пространство материала целиком заполнено влагой, и условно сухую (рис.1).

Большинство аналитических работ, например [5], посвященных исследованию двухфазной модели прогрева или охлаждения пористых тел, используют допущение, предложенное Шуманом, в котором рассматривают течение через пористое тело несжимаемой жидкости и пренебрегают членами, описываемыми теплопереносом теплопроводностью в уравнениях энергии.

В пределах влажной зоны уравнения имеют вид

$$(\partial T_{ж} / \partial \tau) + w_z (\partial T_{ж} / \partial z) = \alpha (T_{в.м.} - T_{ж}) (f / c_{ж} \rho_{ж} \varepsilon), \quad (5)$$

$$(\partial T_{в.м.} / \partial \tau) = \alpha (T_{ж} - T_{в.м.}) (f / c_{м} \rho_{м} (1 - \varepsilon)), \quad (6)$$

в которых удельная поверхность материала рассчитывается по формуле [6]

$$f = (2/s) - (4/d). \quad (7)$$

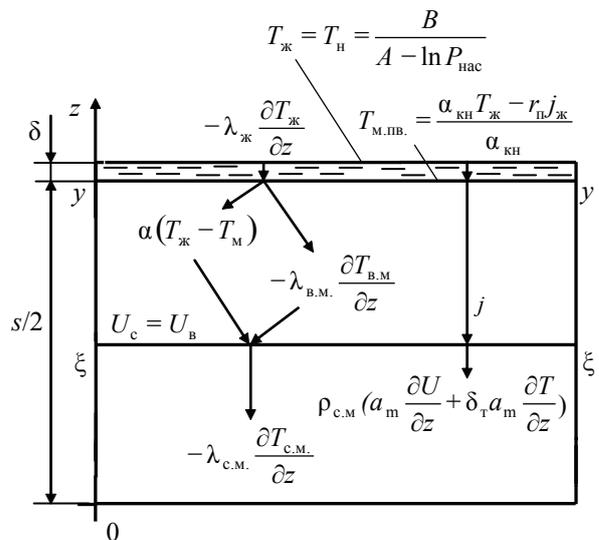


Рис. 1. Схема граничных условий для системы: насыщенный пар – пленка конденсата – древесная щепка

Для рассматриваемой одномерной задачи дифференциальное уравнение переноса количества движения без учета влияния массовых сил [7] имеет вид

$$w_z(\partial w_z / \partial z) + (1 / \rho_{ж}) (\partial P / \partial z) - (4/3) \nu_{ж} (\partial^2 w_z / \partial z^2) - R_{уд} = 0. \quad (8)$$

В уравнении (8)  $R_{уд}$  – удельное гидравлическое сопротивление капиллярной системы, оказываемое потоку жидкости [8]

$$R_{уд} = ((36,3 / Re_3) + 0,45) (f / \varepsilon^3) (w_z / 2) \rho_{ж}, \quad (9)$$

где  $Re_3$  – эквивалентный критерий Рейнольдса [8]

$$Re = 4 \rho_{ж} W_z / f \mu. \quad (10)$$

Так как реальный капиллярно-пористый материал имеет сложную структуру, то для описания процесса использована упрощенная модель Козени-Кармана, в которой все капилляры считаются трубками одинакового диаметра. Тогда для вычисления гидравлического сопротивления прямого участка капилляра при ламинарном течении жидкости может быть использована формула

$$\Delta P / L = k \mu d^2 w_z / \varepsilon^3, \quad (11)$$

в которой  $k$  принимается равной 4.5 [9].

Фильтрационное движение жидкости внутрь частицы материала происходит по системе макрокапилляров, средний диаметр которых составляет  $3 \cdot 10^{-5}$  м [10]. Массовый поток несжимаемой жидкости, при ее ламинарном течении внутри материала по капиллярам данных размеров, можно определить также по известному гидродинамическому уравнению [9]

$$j = r^2 \Delta P / 8 \nu L. \quad (12)$$

На основе формул (11) и (12) поток жидкости может быть записан в следующем виде

$$j = (r^2 / 8 \nu) k \mu (d^3 / \varepsilon^3) w_z. \quad (13)$$

В условно сухой зоне тепломассоперенос осуществляется под действием градиентов влагосодержания и температуры. Для рассматриваемой одномерной задачи дифференциальные уравнения, описывающие диффузию массы в материал и распределение температуры по толщине зоны, имеют вид [11]

$$(\partial U_c / \partial \tau) = a_m (\partial^2 U_c / \partial z^2) + \delta_{\tau} a_m (\partial^2 T_{c.m.} / \partial z^2), \quad (14)$$

$$\partial T_{c.m.} / \partial \tau = a (\partial^2 T_{c.m.} / \partial z^2). \quad (15)$$

Влагосодержание поверхностных слоев материала в момент времени  $\tau \geq \tau_1$  опреде-

лим из условия заполнения капилляров жидкостью в элементарном выделенном объеме

$$U = m_{ж} / m_{c.m.} = (\rho_{ж} / \rho_{c.m.}) (\varepsilon / (1 - \varepsilon)). \quad (16)$$

Расчет системы уравнений (1–16) проводился численным методом конечных разностей [12] при следующих краевых условиях: для момента времени  $\tau = 0$  начальные условия

$$\begin{aligned} T_{в.м.}(0, z) &= T_{c.м.}(0, z) = T_{м.н.}, \\ P(0, z) &= P_{атм}, \\ U_{в.м.}(0, z) &= U_{c.м.}(0, z) = U_{н}, \\ w_z(0, z) &= 0; \end{aligned} \quad (17)$$

для момента времени  $\tau = \tau_1$  начальные условия запишутся в виде

$$\begin{aligned} T(\tau_1, z) &= T_{н}; \\ P &= P_{нас} = \exp(A - (B / T_{н})); \end{aligned} \quad (18)$$

для системы пар-жидкость  $z \geq y + \delta$  граничное условие

$$T_{ж} = T_{н}; \quad (19)$$

для системы жидкость-поверхность материала  $z = s / 2$  в сечении  $y - y$  граничные условия

$$\begin{aligned} w_z &= 0, \\ j &= 0, \end{aligned}$$

$$-\lambda_{ж} (\partial T_{ж} / \partial z) = -\lambda_{в.м.} (\partial T_{в.м.} / \partial z) + \alpha (T_{м} - T_{ж}). \quad (20)$$

Влияние молекулярной составляющей левой части равенства на процесс теплопереноса становится преобладающим над диффузионной только при насыщении капилляров древесной щепы влагой.

На границе влажная зона – условно сухая зона в сечении  $\xi - \xi$  граничные условия принимают вид

$$\begin{aligned} -\lambda_{в.м.} (\partial T_{в.м.} / \partial z) + \alpha (T_{м} - T_{ж}) &= -\lambda_{c.м.} (\partial T_{c.м.} / \partial z), \\ j - \rho_{c.м.} (a_m (\partial U / \partial z) + \delta_{\tau} a_m (\partial T_{c.м.} / \partial z)) &= 0, \\ U_c = U_b = \text{const}, \end{aligned} \quad (21)$$

а условия симметрии

$$\begin{aligned} (\partial U_c / \partial z)|_{z=0} &= 0, (\partial T_{c.м.} / \partial z)|_{z=0} = \\ &= 0, (\partial T_{в.м.} / \partial z)|_{z=0} = 0. \end{aligned} \quad (22)$$

Для проверки адекватности математической модели реальному процессу были проведены экспериментальные исследования на установке, представляющей собой герметичный автоклав с установленной в нем металлической сеткой, на которую помещалась исследуемая древесная щепка. Температура материала контролировалась с помощью хромель-копелевой термопары и регистрировалась потенциометром. Изменение влагосодержания материала определялось при помощи лабораторных аналитических весов.

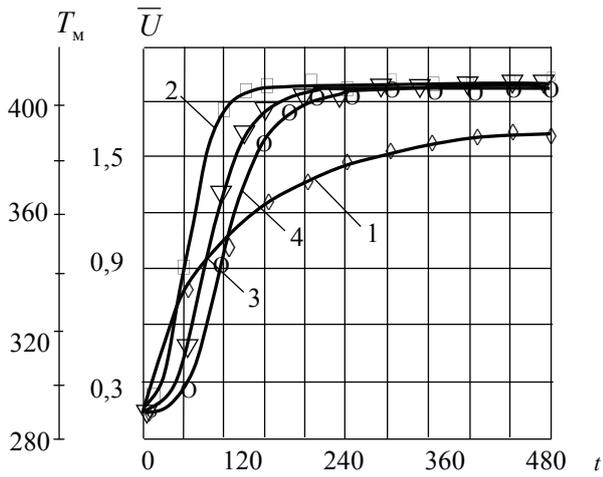


Рис. 2. Экспериментальные кинетические кривые процесса гидротермической обработки древесной щепы: интегральное влагосодержание (1); температура материала

На рис.2 представлены экспериментальные данные по изменениям температуры и влагосодержания в образце древесины, протекавшим при избыточном давлении  $P = 275$  кПа. В процессе термообработки температура по слоям материала изменилась с 293 до 403 К за 300 с. Поскольку перенос влаги в материале осуществлялся с конечной скоростью  $w_{cp} = 8,33 \cdot 10^{-6}$  м/с, то установление максимальной температуры во внутренних слоях щепы лимитировалось сопротивлением капиллярно-пористой системы, определяемым по уравнению (9). Интегральное влагосодержание древесной щепы за 300 с при предельном заполнении капилляров увеличилось с 0,1 до 1,42 кг/кг. При дальнейшем заполнении влагой микрокапилляров, пор и отверстий мембран в стенках клеток, а также за счет насыщения влагой межклеточного вещества в последующие 300 с влагосодержание возросло на 0,255 кг/кг. Интегральное влагосодержание рассчитывалось по формуле [6]

$$\bar{U} = (\bar{U}_g V_g + \bar{U}_c V_c) / V, \quad (23)$$

при  $z = 0$  (2), при  $z = 0,00125$  (3), при  $z = 0,0025$  м (4).  $U$ , кг/кг;  $T_m$ , К;  $\tau$ , с.

$$\bar{U}_g = U_g, \quad \bar{U}_c = \frac{1}{V_c} \int_0^{V_c} U_c(z) dV. \quad (24)$$

Представленная математическая модель процесса нагрева древесной щепы насыщенным паром была использована для расчета параметров твердой фазы перед этапом

«сброса» давления, при котором происходит ее измельчение на волокна.

### Обозначения

$A, B$  – эмпирические коэффициенты в уравнении Антуана;  $k$  – константа Козени-Кармана;  $\delta$  – толщина пленки конденсата, м;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $q$  – удельный тепловой поток, Дж/кг;  $r_n$  – скрытая теплота парообразования, Дж/кг;  $r$  – радиус капилляра, м;  $j_{ж}$  – поток жидкости, конденсирующейся на поверхности материала, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $j$  – поток жидкости в частице, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $b$  – ширина частицы материала, м;  $s$  – толщина частицы материала, м;  $T$  – текущая температура, К;  $P$  – давление, Па;  $\Delta P$  – разность давлений по толщине частицы, Па;  $\delta_t$  – относительный коэффициент термодиффузии, 1/К;  $a_m$  – коэффициент массопроводности, м<sup>2</sup>/с;  $d$  – диаметр капилляра, м;  $\varepsilon$  – пористость материала;  $w_z$  – скорость течения жидкой фазы, м/с;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с;  $L$  – длина капилляра, м;  $f$  – удельная поверхность материала, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  $U, \bar{U}$  – локальное и интегральное влагосодержания материала, кг/кг;  $\bar{U}_g, \bar{U}_c$  – средние влагосодержания влажной и условно сухой зон соответственно, кг/кг;  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);  $m$  – масса, кг;  $V$  – объем, м<sup>3</sup>;  $\tau$  – текущее время, с;  $\tau_1$  – время, соответствующее моменту подачи пара в автоклав, с;  $\tau_2$  – время, соответствующее моменту «сброса» давления, с. Индексы: ж – жидкость; н – начальный; пв – поверхность; м – материал; к – конденсация; кв – конвекция; нас – насыщенный; ст – стенка; уд – удельный; э – эквивалентный; атм – атмосферный; с – сухой; в – влажный;  $z$  – координата;  $y$  – сечение материала на границе конденсат – поверхность материала;  $\xi$  – сечение материала на границе влажная зона – сухая зона; ср – средний; п – парообразование; т – термодиффузия; 1 – стадия нагрева и увлажнения материала; 2 – стадия взрывного измельчения материала.

**Библиографический список**

1. Михайлов, Ю.А. Сушка перегретым паром / Ю.А. Михайлов. – М., 1967.
2. Фенгел, Д. Древесина / Д. Фенгел, Г. Вегенер. – М., 1988.
3. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М., 1971.
4. Юдаев, Б.Н. Теплопередача / Б.Н. Юдаев. – М., 1981.
5. Кузнецов, А.В. // ИФЖ. – 1997. – Т. 70. – № 2. – С. 195–199.
6. Муштаев, В.И. Сушка в условиях пневмотранспорта / В.И. Муштаев, В.М. Ульянов, А.С. Тимошин. – М., 1984.
7. Серговский, П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П.С. Серговский, А.Я. Расев. – М., 1987.
8. Аэров, М.Э. Аппараты со стационарным зернистым слоем / М.Э. Аэров, О.М. Тодес и др. – Л., 1979.
9. Романков, П.Г. Массообменные процессы химической технологии / П.Г. Романков, Н.Б. Рашковская, В.Ф. Фролов. – Л., 1975.
10. Ананьин, П.И. Высокотемпературная сушка древесины / П.И. Ананьин, В.Н. Петри. – М., 1963.
11. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М., 1968.
12. Калиткин, Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – М., 1978.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА  
В ДЕРЕВЯННОМ МАЛОЭТАЖНОМ ДОМОСТРОЕНИИ**

В.М. РЯБКОВ, *доц. каф. УАП ЛПК МГУЛ, канд. техн. наук,*  
 А.С. ЛАПИН, *асп. каф. УАП ЛПК МГУЛ,*  
 М.А. ТРОФИМОВ, *инженер каф. УАП ЛПК МГУЛ,*  
 Ф.А. КАРЧИН, *инженер каф. УАП ЛПК МГУЛ*

*ryabkov@mgul.ac.ru*

Деревянное домостроение – один из наиболее прибыльных сегментов рынка деревообработки. Это связано с растущей покупательной способностью населения и наличием спроса, который в настоящее время превышает предложение. Все больше людей желают иметь дом не в мегаполисе в «бетонной коробке», а в загородном доме – подальше от шума и выхлопных газов. В связи с этим производство деревянных домов привлекает все больше предпринимателей, готовых вкладывать деньги в деревообработку. Достаточно сказать, что оборот рынка нового малоэтажного жилищного фонда оценивается в 5–6 млрд евро в год. По прогнозам специалистов, тенденция роста данной отрасли сохранится и в дальнейшем. На долю деревянных домов приходится более 30 % возводимого малоэтажного жилья. Не только в России, но и во многих других странах дерево почитается как ценнейший строительный материал. Например, в США ежегодно покупают 500 000 деревянных домов, в Японии 300 000, в Финляндии – 4 000 домов для постоянного жилья плюс 5 000 дач.

В России до недавнего времени деревянное домостроение было представлено

либо небольшими дачными домиками для сезонного проживания, либо роскошными дорогими домами, возводимыми по эксклюзивным проектам. Из 452 реально действующих предприятий в РФ, производящих деревянные малоэтажные дома, только 47 предприятий производят каркасные, каркасно-панельные и крупнопанельные деревянные дома с применением древесных плит (цементно-стружечных, ОСБ). Остальные изготавливают бревенчатые или брусовые дома. Сравнительно высокая себестоимость и, соответственно, цена на готовый дом являются основным сдерживающим фактором производства бревенчатых и брусовых домов для массового строительства. Сметная стоимость комплекта дома из клееного бруса без отделки составляет 1000 евро/м<sup>2</sup> (ООО «Палекс-Строй» г. Москва), цена панельного быстровозводимого дома с монтажом 600 евро/м<sup>2</sup> (ООО ИПФ «СТЕЗЯ» г. Йошкар-Ола). Несмотря на высокую себестоимость деревянных домов из оцилиндрованного бревна и клееного бруса, они получили в настоящее время широкое распространение. Одной из причин того является высокое качество домов за счет автоматизации проектирования и производства.

В настоящее время на рынке продукции производственно-технического назначения представлено большое количество отечественного и импортного оборудования, автоматизированных линий, оснастки инструмента и программного обеспечения для проектирования, производства и строительства деревянных домов. Можно определить три основных технологии в производстве деревянных домов:

1. «СКБ» – технология стенового клееного бруса. Бревно → доска → высушенная доска → полуфабрикаты → сборные элементы дома;

2. «ОКП» – технология объемных композиционных панелей. Панель OSB плиты пенополистирола → готовые панели стен, пола, крыши.

3. «КСП» – технология каркасных стеновых панелей. Доска на каркасную конструкцию, утеплитель → отделочная доска → готовые панели стен, пола, крыши → фермы перекрытий.

Разработаны компьютерные программы для деревянного домостроения. Так, программа «КЗ Коттедж» компании «ГЕОС» г. Нижний Новгород основана на создании трехмерной модели дома по всем правилам деревянного домостроения. Программа «КЗ Мебель» создает трехмерную модель мебели с учетом материала. Программа для проектирования крыш Dietrich. Программа «Кровля» и ряд других. Программы могут быть использованы для управления деревообрабатывающими центрами при производстве деталей деревянных домов.

Перед нами была поставлена задача, автоматизировать производственный процесс на основе компьютерных технологий, создать систему ЧПУ для повышения эффективности производства деревянных домов из клееного бруса на одном из предприятий Калужской области. В соответствии с техническим заданием нами разработаны схемы и алгоритм управления, произведен выбор элементов управления, разработан интерфейс оператора производственной линии.

В качестве основного элемента управления был выбран промышленный контроллер Advantech AD Link PCI-8136.

К основным функциям контроллера относятся слежение за перемещением заго-

товки (позиционирование), сбор информации от датчиков, формирование аналогового управляющего сигнала для сервопривода, синхронизация подачи заготовки.

Были выбраны элементы для приведения в движение узлов механической части линии. Механическая часть линии выполнена на основе итальянского деревообрабатывающего центра Stromab BLOX, представляющая собой необходимый набор инструментов для производства деталей деревянных конструкций.

Разработанное программное обеспечение, согласно поставленной задаче, должно выполнять следующие функции.

На основании информации из базы данных о деталях производить оптимальный раскрой заготовок, при котором отходы будут минимальными. Производить необходимые расчеты, связанные с выполнением операций, а именно, для каждой операции на текущей заготовке определить ее позицию от начала отсчета. Обработать данные, полученные от контроллера, и с помощью контроллера выводить управляющие сигналы. Реализовать интерфейс оператора. Контролировать качество выпускаемой продукции.

Операционная система, в которой работает программа, обеспечивает ей работу в реальном масштабе времени, что позволяет обеспечить более высокую надежность системы в целом. Наиболее доступной системой реального времени является DOS. Одним из достоинств контроллера AD Link PCI-8136 является наличие библиотек для программирования на языке C++, Visual Basic. Исходя из вышеперечисленных фактов для написания программы был выбран язык программирования высокого уровня C++.

Так как программа достаточно объемная и должна решать несколько логически разделенных задач, то ее написание произведено в виде независимых модулей, обменивающихся между собой данными. Независимые модули в дальнейшем проще отлаживать и тестировать.

На рис. 1 приведена схема взаимодействия программной части системы ЧПУ с базой данных. Процедура оптимального раскроя присваивает каждой детали номер заготовки, из которой она будет производиться.

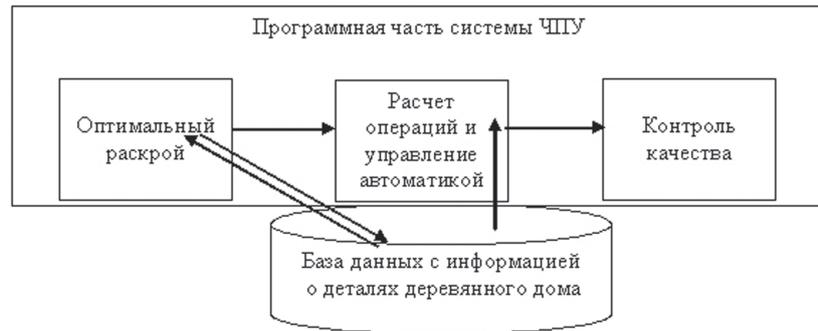


Рис. 1. Схема взаимодействия программной части системы ЧПУ с базой данных

Модуль оптимального раскроя на вход получает информацию из базы данных о деталях деревянного дома.

Задачей процедуры оптимального раскроя является присвоение каждой детали номера заготовки, из которой будет произведена деталь. Заготовки представляют собой брусья одинаковой длины. Детали – это готовые к сборке сруба брусья, просверленные и отфрезерованные для углового соединения. Длина заготовок должна быть больше самой детали. Оптимальный раскрой позволяет произвести все детали дома из минимального количества заготовок и, следовательно, позволяет добиться минимального отхода. Одним из требований является наличие возможности задавать условия оптимального раскроя, которые позволяют делать его по стенам, по венцам или по типу брусьев. Конечно, самым оптимальным раскрой получится, если его делать на всем доме.

Особенностью алгоритма оптимального раскроя в поставленной задаче является некоторая неопределенность длины заготовки, необходимой для производства конкретной детали. Эта особенность связана с тем, что при расчете необходимо учитывать толщину пилы, какие торцы имеет текущая деталь и предыдущая. От этого зависит, какая часть заготовки попадет в отход. Торцы деталей отличаются наличием либо отсутствием фрезеровки на краях детали. Нами разработаны алгоритмы оптимального раскроя и работы производственной линии. На вход линии поступают брусья (от 6 до 20 м). Длина бруса выбирается с точки зрения наиболее выгодного оптимального раскроя.

Одной из задач, решаемых разработанной нами автоматизированной системой

управления производством брусевых деревянных домов на базе автоматизированной линии, является оптимизация раскроя заготовок бруса на детали дома.

Алгоритм оптимального раскроя на рис. 2.

На рис. 2. использованы следующие обозначения:  $n$  – длина заготовки;  $Poz$  – номер детали в заготовке;  $Length$  – длина текущей детали;  $I$  – номер заготовки;  $Ost$  – остаток от заготовки при включении в нее детали;  $PLength$  – определяет длину заготовки, которая необходима для производства детали.

Расчет величины  $PLength$  зависит от того, какие торцы имеют соседние детали. Рассмотрим, как рассчитывается эта величина в различных ситуациях:

1. Если торец текущей детали не имеет фрезеровки и стыкуется с торцом детали, которая также не имеет фрезеровки, то  $PLength$  вычисляется по следующей формуле:  $PLength = Length + Par1$ ; где  $Length$  – длина детали,  $Par1$  – ширина пилы.

2. Если на одном из стыкующихся торцов имеется фрезеровка, то  $PLength$  вычисляется по следующей формуле:  $PLength = Length + Par2 - ParX$ ; где  $Par2$  – ширина фрезы,  $ParX$  – ширина паза, который необходимо отфрезеровать.

В общем виде алгоритм оптимального раскроя решает задачу

$$g = A - \sum_{k=1}^N L_k,$$

где  $g$  – длина неиспользованных отходов производства;

$A$  – суммарная длина всех заготовок;

$N$  – общее число деталей в доме;

$L_k$  – длина детали с номером  $k$ .

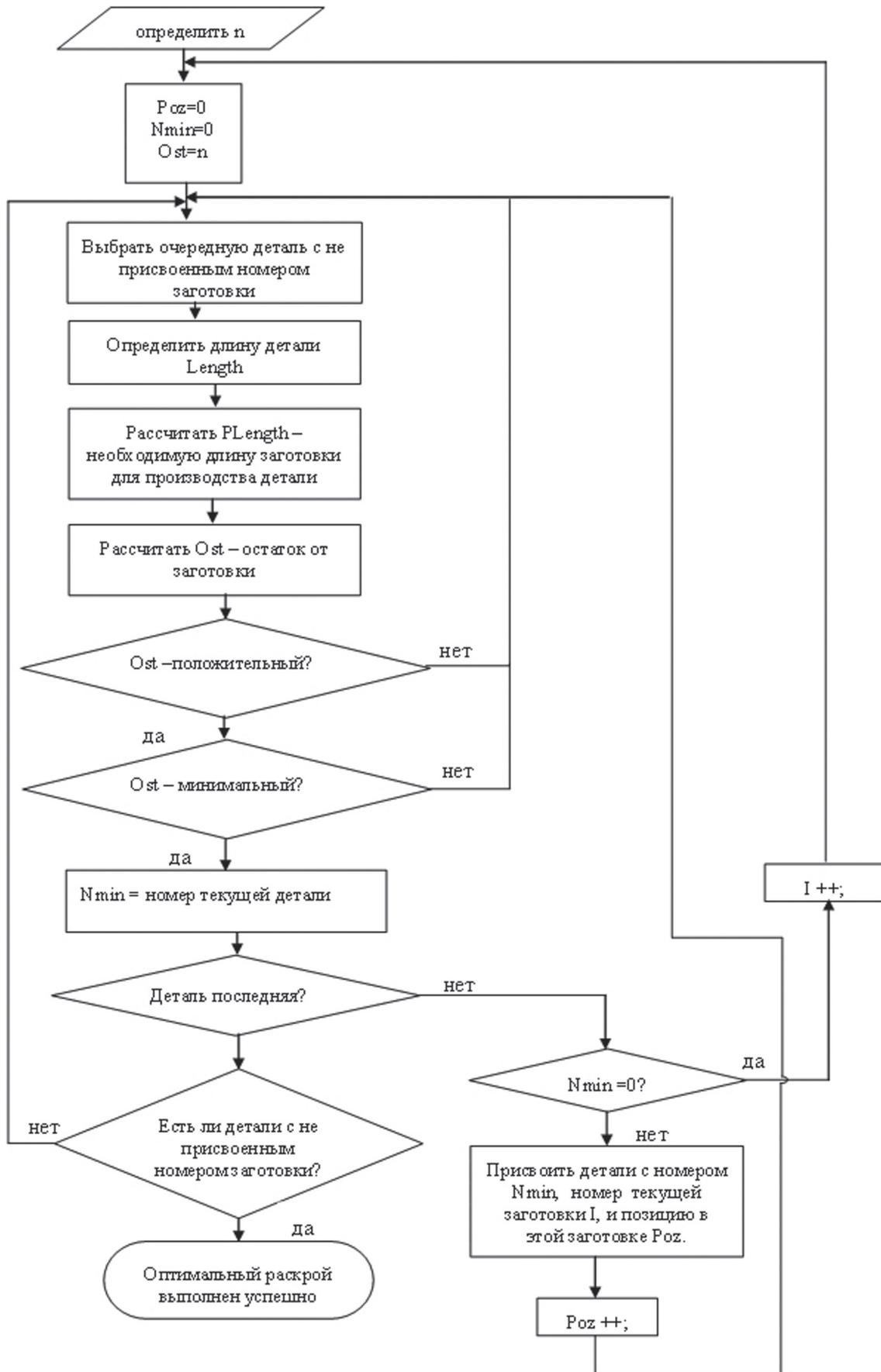


Рис. 2. Блок-схема алгоритма оптимального раскроя

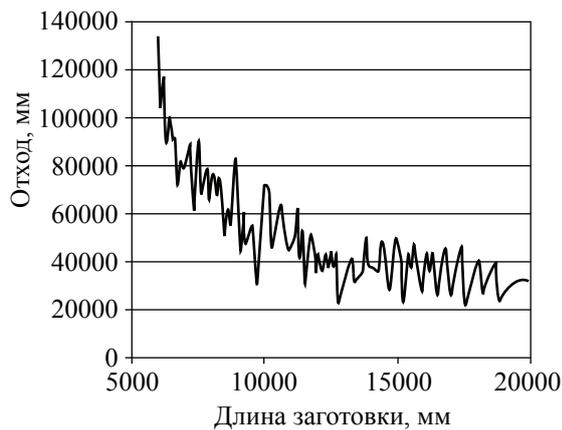


Рис. 3. График зависимости  $g(L_{max})$

Задача алгоритма заключается в минимизации остатка  $g$ .

Предположим, что длина заготовки не меньше  $L_{max}$ , тогда производственный отход можно вычислить по формуле

$$g(L_{max}) = \sum_{i=1}^W (L_{max} - \sum_{k=1}^{N_i} L_{ik}).$$

где  $g$  – длина неиспользованных отходов производства;

$L_{max}$  – длина заготовки;

$N_i$  – общее число деталей в доме;

$L_{ik}$  – длина детали с номером  $k$  в заготовке  $i$ ;

$W$  – минимальное количество заготовок для производства деталей.

Очевидно, что, устремив для каждой заготовки величину

$$(L_{max} - \sum_{k=1}^{N_i} L_{ik})$$

к нулю, получим минимальный остаток  $g(L_{max})$ , однако при каждом  $L_{max}$ , остаток  $g(L_{max})$  будет разным.

В связи с этим возникает задача найти такое  $L_{max}$ , при котором  $g(L_{max})$  после проведения оптимального раскроя будет минимальным. График зависимости  $g(L_{max})$  представлен

на рис. 3. Исследование графика зависимости позволяет для каждой спроектированной деревянной конструкции найти оптимальную длину заготовки, при которой производственный отход будет минимальным. Далее необходимо построить модель раскроя всех заготовок и можно приступать к реализации данной модели на производственной линии.

В область изучения входят длины заготовок от 6 000 мм до 20 000 мм, так как заготовок длиной менее 6 000 мм может не хватить для производства некоторых деталей, а заготовки длиной свыше 20 000 мм невозможно транспортировать.

Как видно из графика, минимальное значение отхода достигается при длине заготовки 15 200 мм, однако в ряде случаев выгодными могут оказаться и значения отхода при длине заготовки 12 800 мм, и даже при 9 700 мм, так как более короткие заготовки дешевле перевозить.

Для расчета операций программа должна знать параметры линии и описание деталей в заготовке. Модель заготовки строится на основании деталей, которые в нее попадают согласно модели оптимального раскроя. Для производства деталей деревянных конструкций применяются следующие основные операции: торцовка, фрезеровка для углового соединения, сверловка, выборка паза под проем, маркировка. Операции торцовка, сверловка, маркировка и выборка паза под проем рассчитываются одинаково, с той лишь разницей, что инструменты находятся на разных расстояниях от начала отсчета, для операции торцовки. Поэтому предусмотрен расчет на различные случаи.

Эксплуатация технического и программного обеспечения в течение года показала их высокую надежность и эффективность.

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИЙ С КРАТНЫМИ УЗЛАМИ

А.В. АНТОНЕЦ, доц. каф. высшей математики МГУЛ, канд. физ.-мат. наук

caf-math@mgul.ac.ru

Выведены полезные для практических приложений конструктивные формулы некоторых классов полиномиальных аппроксимаций функций, представляющие общематематический интерес.

### 1. Обобщенная запись интерполяционного полинома с кратными узлами

Полином Эрмита степени

$$m \equiv s + \sum_{k=0}^s \alpha_k,$$

имеющий с заданной функцией  $f(x)$  в узлах  $x_k|_0^s$  касания  $\alpha_k$ -го порядка, находится в виде «политейлоровского разложения»

$$A_m(x) = \sum_{k=0}^s (F_k \alpha_k(x) \cdot \Phi_{k,m-\alpha_k}(x)), \quad (1.1)$$

где  $k$  – му узлу отвечают полиномы

$$\Phi_{k,m-\alpha_k}(x) = \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^s \left( \frac{x-x_i}{x_k-x_i} \right)^{1+\alpha_i}$$

$F_k \alpha_k(x) = \sum_{j=0}^{\alpha_k} \frac{f_k^{(j)}}{j!} \cdot (x-x_k)^j \cdot P_{k,\alpha_{k-j}}(x-x_k)$   
со степенями  $(m-\alpha_k)$  и  $\alpha_k$ ,

$$P_{k,\alpha_{k-j}}(x-x_k) = \sum_{i=0}^{\alpha_{k-j}} a_{k,i} \cdot (x-x_k)^i$$

– полиномы степеней  $(\alpha_k-j)$  с подлежащими определению коэффициентами  $a_{k,0}, a_{k,1}, \dots, a_{k,\alpha_k}$ .

Они определяются по условиям гладкого касания  $A_m^{(r)}(x_k) = f^{(r)}(x_k) \equiv f_k^{(r)}$  из системы линейных алгебраических уравнений с треугольной матрицей

$$\sum_{i=0}^r \frac{\Phi_{k,m-\alpha_k}^{(r-i)}(x_k)}{(r-i)!} a_{k,i} = \delta_{0,r}$$

$$r = \{0; 1; 2; \dots; \alpha_k\}, k = \{0; 1; 2; \dots; s\}.$$

Рекуррентные расчетные формулы для них записываются в виде:

$$a_{k,r} = - \sum_{i=0}^{r-1} \frac{\Phi_{k,m-\alpha_k}^{(r-i)}(x_k)}{(r-i)!} \cdot a_{k,i}, a_{k,0} = 1.$$

Это можно показать, используя формулу Лейбница для вычисления производной  $r$  – го порядка от произведения двух функций и ее обобщение методом полной математической индукции на произведение  $(s+1) > 2$  функций

$$(f_0 \cdot f_1)^{(r)} = \sum_{i=0}^r C_r^i \cdot f_0^{(i)} \cdot f_1^{(r-i)},$$

$$\left( \prod_{i=0}^s f_i \right)^{(r)} = \sum_{i_{s-1}=0}^r \sum_{i_{s-2}=0}^{i_{s-1}} \dots \sum_{i_0=0}^{i_{s-1}} [C_r^{i_{s-1}} \cdot C_{i_{s-1}}^{i_{s-2}} \dots \dots C_{i_2}^{i_1} \cdot C_{i_1}^{i_0} \cdot f_0^{(i_0)} \cdot f_1^{(i_1-i_0)} \dots f_{s-1}^{(i_{s-1}-i_{s-2})} \cdot f_s^{(r-i_{s-1})}]. \quad (1.2)$$

Практический интерес представляет также формула вычисления старших производных от квадрата заданной функции

$$(f^2)^{(2k)} = 2 \cdot \sum_{i=0}^{k-1} C_{2k}^i \cdot f^{(i)} \cdot f^{(2k-i)} + C_{2k}^k \cdot (f^{(k)})^2,$$

$$(f^2)^{(2k-1)} = 2 \cdot \sum_{i=0}^k C_{2k-1}^i \cdot f^{(i)} \cdot f^{(2k-1-i)}, k \in N.$$

Так как для степенных функций  $f_i(x) \equiv (x-x_i)^{n_i}$  при  $r = \{0; 1; \dots; n_i-1\}$  имеют значения производных  $f_i^{(r)}(x) = r! \cdot C_{n_i}^r \cdot (x-x_i)^{n_i-r} |_{x=x_i} = 0$ , то согласно (1.1), (1.2) выполняются равенства

$$\left( \prod_{i=0}^s f_i \right)^{(r)} = r! \cdot \sum_{i_{s-1}=0}^r \sum_{i_{s-2}=0}^{i_{s-1}} \dots \dots \sum_{i_0=0}^{i_{s-1}} [C_{n_0}^{i_0} \cdot (x-x_0)^{n_0-i_0} \cdot C_{n_1}^{i_1-i_0} \cdot (x-x_0)^{n_1-(i_1-i_0)} \dots \dots C_{n_{s-1}}^{i_{s-1}-i_{s-2}} \cdot (x-x_{s-1})^{n_{s-1}-(i_{s-1}-i_{s-2})} \cdot C_{n_s}^{r-i_{s-1}} \cdot (x-x_s)^{n_s-(r-i_{s-1})}];$$

$$\Phi_{k,m-\alpha_k}^{(r)}(x_j) = 0, j \neq k, k = \{0, 1, \dots, s\},$$

$$r = \{0, 1, \dots, \alpha_k\}, \Phi_{k,m-\alpha_k}(x_k) = 1$$

В представлении (1.1) для удовлетворения условий кратного интерполирования, очевидно, не обязательно требовать, чтобы функции  $\Phi_k(x)$  были полиномами степени  $(m-\alpha_k)$ . Вместо указанных полиномов можно использовать любые дифференцируемые функции, принимающие в выбранных узлах вышеперечисленные значения.

### 2. Частные случаи интерполяционных полиномов

**2.1.**  $\alpha_k|_0^s = 0, m = s \in N.$

Имеем  $F_{k,0}(x) = f(x_k) \equiv f_k$  и полином  $A_m(x)$  совпадает с обычным полиномом Лагранжа.

**2.2.**  $s = 0, \alpha_0 = m \geq 0.$

Определяем  $\Phi_{0,0}(x) \equiv 1, a_{0,i} = \delta_{0,i}, P_{0,i}(x) \equiv 1$  и полином  $A_m(x) = F_{0,m}(x)$  совпадает с  $m$  – ой частичной суммой ряда Тейлора.

**2.3.**  $\alpha_k|_0^s = 1, s \in N.$

Из (1.1) простыми конкретизациями получим

$$A_{2s+1}(x) = \sum_{k=0}^s \{f_k \cdot [1 + a_k \cdot (x - x_k)] + f_k^{(1)} \cdot (x - x_k)\} \cdot \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^s \left(\frac{x - x_i}{x_k - x_i}\right)^2,$$

где

$$a_k = -2 \cdot \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^s (x_k - x_i)^{-1}.$$

**2.4.**  $s = 1, \alpha_0 = n \geq 0, \alpha_1 = m \geq 0.$

С учетом тождества (доказывается методом математической индукции с наращиванием величины  $m$  при произвольном значении  $n$ )

$$\sum_{i=0}^m (-1)^i \cdot C_{n+1}^{m-i} \cdot C_{n+i}^i = \delta_{0,m}$$

находим коэффициенты

$$a_{0,i|1}^n = C_{m+i}^i \cdot (x_1 - x_0)^{-i}, a_{1,i|1}^m = C_{n+i}^i \cdot (x_0 - x_1)^{-i}$$

Полином (1.1) приводится к форме записи

$$A_{n+m+1}(x) = \left(\frac{x_1 - x}{x_1 - x_0}\right)^{m+1} \times \sum_{j=0}^n (f_0^{(j)}/j! \cdot (x - x_0)^j \cdot P_{0,n-j}\left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0}\right)) + \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0}\right)^{n+1} \cdot \sum_{j=0}^m (f_1^{(j)}/j! \cdot (x - x_1)^j \times P_{1,m-j}\left(\frac{x_1 - x}{x_1 - x_0}\right)), \quad (1.3)$$

где

$$P_{0,n-j}(t) = \sum_{i=0}^{n-j} C_{m+i}^i \cdot t^i, P_{1,m-j}(t) = \sum_{i=0}^{m-j} C_{n+i}^i \cdot t^i.$$

**2.5.**  $s = 1, \alpha_0 = \alpha_1 = n \geq 0, x_0 = 0, x_1 = 1, x \equiv t.$

Полином (1.3) приводится к форме записи

$$A_{2n+1}(t) = \sum_{j=0}^n [(1-t)^{n+1} \cdot t^j \cdot f_0^{(j)} \cdot P_{n,n-j}(t) + t^{n+1} \cdot (t-1)^j \cdot f_1^{(j)} \cdot P_{n,n-j}(1-t)]/j!,$$

где

$$P_{n,n-j}(t) = \sum_{i=0}^{n-j} C_{n+i}^i \cdot t^i.$$

**2.6.** Полином степени  $n$ , принимающий заданные значения  $f_k^{(k)}$  в произвольных точках  $x_k|_0^n$ , записывается в виде

$$T_n(x) = \sum_{k=0}^n f_k^{(k)} \cdot R_k(x),$$

где

$$R_0(x) = 1, R_1(x) = x - x_0, R_k(x)|_2^n = \frac{(x - x_0)^k}{k!} - \sum_{i=1}^{k-1} \frac{(x_i - x_0)^{k-i}}{(k-i)!} \cdot R_i(x),$$

Легко проверяется, что полиномы  $R_k(x)$  удовлетворяют условиям  $R_k^{(r)}(x_r) = \delta_{kr}, k, r \geq 0.$

Можно обратить внимание и на полезное применение тождества (формулы Тейлора) для любого полинома  $P_n(x)$  степени  $n \geq 0$ :

$$P_n(x_k) \equiv \sum_{i=0}^n \frac{(x_k - x)^i}{i!} \cdot P_n^{(i)}(x).$$

### 3. Оптимизации простых полиномиальных аппроксимаций методом наименьших квадратов

Рассмотрим задачу оптимизации параметрической полиномиальной аппроксимации  $P_n(t, x_1, x_2, \dots, x_m)$  функции  $f(t)$  при  $t \in [0; 1].$

Обозначим:

$$f(t_i) \equiv f_i, t_i|_1^N = i/N, b_k = \int_0^1 f(t) \cdot t^k \cdot dt \approx \left(\sum_{i=0}^N f_i \cdot t_i^k\right) / (N+1)$$

За критерий оптимального выбора свободных параметров  $x_j|_1^m$  принимаем условие

$$\min_{x_1, x_2, \dots, x_m} \int_0^1 [P_n(t, x_1, x_2, \dots, x_m) - f(t)]^2 \cdot dt.$$

С целью некоторой систематизации результатов ниже дадим сводку наиболее часто востребуемых на практике простых аппроксимаций.

#### 3.1.

$$P_3(t) = f_0 + f_0^{(1)} \cdot t + (f_N - f_0 - f_0^{(1)} + x_1) \cdot t^2 - x_1 \cdot t^3, f_N^{(1)} \approx 2 \cdot (f_N - f_0) - f_0^{(1)} - x_1, x_1 = 105 \cdot (b_2 - b_3) - 7/4 \cdot (3 \cdot f_0 + 2 \cdot f_N + f_0^{(1)})$$

#### 3.2.

$$P_3(t) = f_0 + f_0^{(1)} \cdot t + 1/2 \cdot (f_N^{(1)} - f_0^{(1)} + 3 \cdot x_1) \cdot t^2 - x_1 \cdot t^3, f_N \approx f_0 + 1/2 \cdot (f_0^{(1)} + f_N^{(1)} + x_1), x_1 = 7/78 \cdot [60 \cdot (3 \cdot b_2 - 2 \cdot b_3) - (15 \cdot f_0 + 13 \cdot f_0^{(1)} + 8 \cdot f_N^{(1)})]$$

#### 3.3.

$$P_3(t) = f_0 + (f_N - f_0 + x_1 + x_2) \cdot t - x_1 \cdot t^2 - x_2 \cdot t^3, f_0^{(1)} \approx f_N - f_0 + x_1 + x_2, f_N^{(1)} \approx f_N - f_0 - x_1 - 2 \cdot x_2, x_1 = 60 \cdot (11 \cdot b_1 - 32 \cdot b_2 + 21 \cdot b_3) - 13 \cdot f_0 + 8 \cdot f_N, x_2 = 420 \cdot (-b_1 + 3 \cdot b_2 - 2 \cdot b_3) - 7 \cdot (f_N - f_0)$$

#### 3.4.

$$P_3(t) = x_1 + f_0^{(1)} \cdot t + 1/2 \cdot (f_N^{(1)} - f_0^{(1)} + 3 \cdot x_2) \cdot t^2 - x_2 \cdot t^3, f_0 \approx x_1, f_N \approx x_1 + 1/2 \cdot (f_N^{(1)} + f_0^{(1)} + x_2), x_1 = b_0 - 1/12 \cdot (2 \cdot f_N^{(1)} + 4 \cdot f_0^{(1)} + 3 \cdot x_2), x_2 = 14/17 \cdot [10 \cdot (6 \cdot b_2 - 4 \cdot b_3 - b_0) - (f_0^{(1)} + f_N^{(1)})]$$

#### 3.5.

$$P_3(t) = f_0 + x_1 \cdot t - 1/2 \cdot (x_1 - 3 \cdot x_2 - f_N^{(1)}) \cdot t^2 - x_2 \cdot t^3, f_N \approx f_0 + 1/2 \cdot (x_1 + x_2 + f_N^{(1)}), f_0^{(1)} \approx x_1, x_1 = 12 \cdot (12 \cdot b_1 - 27 \cdot b_2 + 14 \cdot b_3) - 6 \cdot f_0 + 2/5 \cdot f_N^{(1)}, x_2 = 1/13 \cdot [60 \cdot (2 \cdot b_1 - b_2) - 40 \cdot f_0 - 9 \cdot f_N^{(1)} - 16 \cdot x_1]$$

3.6.

$$P_3(t) = f_0 + f_0^{(1)} \cdot t + x_1 \cdot t^2 + x_2 \cdot t^3,$$

$$f_N \approx f_0 + f_0^{(1)} + x_1 + x_2, f_N^{(1)} \approx f_0^{(1)} + 2 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2,$$

$$x_1 = 30 \cdot (6 \cdot b_2 - 7 \cdot b_3) - 15/2 \cdot f_0 - 3 \cdot f_0^{(1)},$$

$$x_2 = 6 \cdot (b_2 - 1/5 \cdot x_1) - 2 \cdot f_0 - 3/2 \cdot f_0^{(1)}$$

3.7.

$$P_3(t) = f_0 + x_1 \cdot t + x_2 \cdot t^2 + x_3 \cdot t^3,$$

$$f_0^{(1)} \approx x_1, f_N \approx f_0 + x_1 + x_2 + x_3, f_N^{(1)} \approx x_1 + 2 \cdot x_2 + 3 \cdot x_3,$$

$$x_1 = 30 \cdot (10 \cdot b_1 - 30 \cdot b_2 + 21 \cdot b_3) - 15/2 \cdot f_0,$$

$$x_2 = 300 \cdot (-3 \cdot b_1 + 48/5 \cdot b_2 - 7 \cdot b_3) + 15 \cdot f_0,$$

$$x_3 = 105 \cdot (6 \cdot b_1 - 20 \cdot b_2 + 15 \cdot b_3) - 35/4 \cdot f_0$$

3.8.

$$P_3(t) = x_1 + f_0^{(1)} \cdot t + x_2 \cdot t^2 + x_3 \cdot t^3,$$

$$f_0 \approx x_1, f_N \approx f_0^{(1)} + x_1 + x_2 + x_3, f_N^{(1)} \approx f_0^{(1)} + 2 \cdot x_2 + 3 \cdot x_3,$$

$$x_1 = 4 \cdot b_0 - 30 \cdot b_2 + 28 \cdot b_3 - 1/10 \cdot f_0^{(1)},$$

$$x_2 = 15 \cdot (-2 \cdot b_0 + 27 \cdot b_2 - 28 \cdot b_3) - 9/4 \cdot f_0^{(1)},$$

$$x_3 = 28 \cdot (b_0 - 15 \cdot b_2 + 16 \cdot b_3) - 7/5 \cdot f_0^{(1)}$$

3.9.

$$P_3(t) = x_0 + x_1 \cdot t + x_2 \cdot t^2 + x_3 \cdot t^3,$$

$$f_0 \approx x_0, f_N \approx x_0 + x_1 + x_2 + x_3,$$

$$f_0^{(1)} \approx x_1, f_N^{(1)} \approx x_1 + 2 \cdot x_2 + 3 \cdot x_3,$$

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16 & -120 & 240 & -140 \\ -120 & 1200 & -2700 & 1680 \\ 240 & -2700 & 6480 & -4200 \\ -140 & 1680 & -4200 & 2800 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} f_0 \\ f_N \\ f_0^{(1)} \\ f_N^{(1)} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 16 & -120 & 240 & -140 \\ -4 & 60 & -180 & 140 \\ -120 & 1200 & -2700 & 1680 \\ -60 & 840 & -2340 & 1680 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}.$$

Если определять коэффициенты  $x_i|_0^3$  по условиям кратной интерполяции п. 2.5, то получим

$$x_0 = f_0, x_1 = f_0^{(1)}, x_2 = 3 \cdot (f_N - f_0) - 2 \cdot f_0^{(1)} - f_N^{(1)},$$

$$x_3 = f_0^{(1)} + f_N^{(1)} - 2 \cdot (f_N - f_0).$$

Заметим, что монотонность полинома  $P_3(t)$  на промежутке  $t \in [0; 1]$  обеспечивается условием отсутствия на нем корней квадратного уравнения  $dP_3/dt = 3 \cdot x_3 \cdot t^2 + 2 \cdot x_2 \cdot t + x_1 = 0$ . Следовательно, сохранение знака анализируемой первой производной при  $x_3 \neq 0, t \in [0; 1]$  возможно в следующих случаях:

а)  $\Delta = x_2^2 - 3 \cdot x_3 \cdot x_1 < 0$  – уравнение не имеет действительных корней;

$$\Delta > 0, t_{*1} = \min \{(-x_2 \pm \sqrt{\Delta}) / (3 \cdot x_3)\},$$

$$t_{*2} = \max \{(-x_2 \pm \sqrt{\Delta}) / (3 \cdot x_3)\}.$$

б)  $t_{*1} < t_{*2} \leq 0$ ; в)  $t_{*1} \leq 0, t_{*2} \geq 1$ ;

г)  $1 \leq t_{*1} < t_{*2}$

Случай а) дает простое достаточное условие контролируемой области монотонности полинома

$$P_3(t) = A_3(t) \cdot f_0^{(1)} \cdot f_N^{(1)} >$$

$$> [f_0^{(1)} + f_N^{(1)} - 3 \cdot (f_N - f_0)]^2 > 0.$$

Через известные координаты  $t_{*1} < t_{*2}$  и величины экстремумов  $P_3(t_{*1,2}) = f_{*1,2}, f_{*1} \neq f_{*2}$  коэффициенты полинома  $P_3(t)$  восстанавливаются по формулам:

$$x_3 = 2 \cdot (f_{*1} - f_{*2}) \cdot (t_{*2} - t_{*1})^{-3},$$

$$x_2 = -3/2 \cdot (t_{*1} + t_{*2}) \cdot x_3, x_1 = 3 \cdot t_{*1} \cdot t_{*2} \cdot x_3,$$

$$x_0 = [t_{*2}^2 \cdot (t_{*2} - 3 \cdot t_{*1}) \cdot f_{*1} - t_{*1}^2 \cdot x_3 \times$$

$$\times (t_{*1} - 3 \cdot t_{*2}) \cdot f_{*2}] \cdot (t_{*2} - t_{*1})^{-3}.$$

3.10.

$$P_{N+1}(x) = \sum_{k=0}^N f_k \cdot \Phi_{k,N}(x) + \lambda \cdot \prod_{i=0}^N (x - x_i),$$

где  $(N+1)$  – число узлов интерполяции,  $\lambda$  – свободный параметр,

$$\Phi_{k,N}(x) = q_{k,N}(x) / q_{k,N}(x_k), q_{k,N}(x) = \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^N (x - x_i),$$

$$\Phi_{k,N}(x_j) = \delta_{k,j}, k, j = \{0; 1; \dots; N\}.$$

Удачным выбором значения параметра  $\lambda$  можно улучшать точность восполнения функции ее интерполяционным полиномом Лагранжа [1].

3.10.1. В практичном простом случае при  $N=2$  (с тремя узлами), например, по условию минимума интеграла от квадрата второй производной  $P_{N+1}^{(2)}(x)$  на заданном отрезке  $a \leq x \leq b$  находим, ослабляя немонотонность интерполяции, оптимальное значение

$$\lambda = -3/2 \cdot G \cdot \frac{\mu + \nu}{\mu^2 + \mu \cdot \nu + \nu^2},$$

$$G = \sum_{k=0}^2 (f_k / q_{k,2}(x)),$$

$$\mu = 3 \cdot b - \sigma, \nu = 3 \cdot a - \sigma, \sigma = \sum_{k=0}^2 x_k.$$

Укажем также, что из тождества – записи полинома Лагранжа для произвольного полинома  $P_{n-1}(p)$  степени  $(n-1)$  на системе узлов  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}, n \in \mathbb{N}$  выводится важная, особенно при решении практических задач интегрального и операционного исчисления, формула разложения правильной рациональной дроби на сумму элементарных дробей

$$P_{n-1}(p) \equiv \sum_{k=1}^n (P_{n-1}(p_k) \cdot \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \frac{p - p_i}{p_k - p_i}) \cdot \frac{p - p_k}{p - p_k},$$

$$\frac{P_{n-1}(p)}{Q_n(p)} = \sum_{k=1}^n \left( \frac{P_{n-1}(p_k)}{Q_n^{(1)}(p_k)} \cdot \frac{1}{p - p_k} \right),$$

$$Q_n(p) = \prod_{i=1}^n (p - p_i) = p^n + \sum_{k=1}^n c_k \cdot p^{n-k}.$$

Коэффициенты  $c_k$  выражаются через значения  $n$  различных действительных корней полинома  $Q_n(p)$  по формулам Виета:

$$c_k |_{k=1}^n = (-1)^k \times \sum_{i_1=1}^{n-(k-1)} (p_{i_1} \sum_{i_2=i_1+1}^{n-(k-2)} (p_{i_2} \dots \sum_{i_{k-1}=i_{k-2}+1}^{n-1} (p_{i_{k-1}} \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^n p_{i_k}))) .$$

**3.10.2.** При  $N = 1$  для параболической аппроксимации имеем [2]

$$\begin{aligned} f(x) &\approx f_0 + f_0^{(1)} \cdot (x - x_0) - 1/2 \cdot K \cdot (x - x_0)^2, \\ K &= (f_0^{(1)} - f_1^{(1)}) / (x_1 - x_0), \\ f_1 &\approx f_0 + 1/2 \cdot (f_0^{(1)} + f_1^{(1)}) \cdot (x_1 - x_0); \\ f(t) &\approx P_2(t) = f_0 + (f_1 - f_0) \cdot t \cdot [1 + (1 - t) \cdot \lambda], \\ t &= (x - x_0) / (x_1 - x_0), \\ f^{(1)}(t) &\approx (f_1 - f_0) \cdot [1 + (1 - 2 \cdot t) \cdot \lambda], \\ 0 < \lambda &\leq 1 \text{ и } -1 \leq \lambda < 0 \text{ — для монотонных функций } f(t), \text{ выпуклых, соответственно, вверх и вниз;} \end{aligned}$$

по критерию

$$\begin{aligned} \lambda \cdot (f_1 - f_0) &= 30 \cdot (b_1 - b_2) - 5/2 \cdot (f_0 + f_1) \\ \min_{\lambda} \int_0^1 & [f(t) - P_2(t)]^2 \cdot dt; \end{aligned}$$

по условию заданной касательной в узле  $t_0 = 0$  или  $t_1 = 1$

$$\lambda = (f_0^{(1)} / (f_1 - f_0) - 1) \text{ или } (1 - f_1^{(1)} / (f_1 - f_0)).$$

Апробации других эффективных приемов конструирования неосциллирующих аппроксимаций функций, в частности общими кривыми второго порядка или степенными одночленами, для проведения гладкого интервального сращивания предельных решений, сглаживания разрывов при реализациях численных алгоритмов даются в [1–4].

**Библиографический список**

1. Антонец, А.В. Аппроксимирование сложных зависимостей величин подбором весовых коэффициентов в формулах осреднения / А.В. Антонец // Изв. АН СССР. МЖГ. – 1986. – № 1. – С. 161–165.
2. Антонец, А.В. Решение уравнений гидроаэромеханики в лагранжевых переменных / А.В. Антонец // Космонавтика и ракетостроение. – 1999. – Вып. 17. – С. 10–16.
3. Антонец, А.В. Простые приближения функций с дополнительными условиями / А.В. Антонец // Журн. вычисл. матем. и мат. физ. – 1985. – Т. 25. – № 11. – С. 1589–1598.
4. Антонец, А.В. Определение нестационарных аэродинамических характеристик путем расчетов стационарного обтекания летательных аппаратов с видоизмененной формой поперечных сечений / А.В. Антонец // Изв. РАН. МЖГ. – 2003. – № 6. – С. 132–139.

**О СПОСОБЕ ПОСТРОЕНИЯ ВЗАИМНО ОДНОЗНАЧНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ КВАЗИАДАМАРОВЫХ МАТРИЦ**

В.Г. НИКОНОВ, *вед. н. с. лаборатории ТВП ИКСИ, действительный член РАЕН, д-р техн. наук,*  
 Е.С. СИДОРОВ, *м. н. с. лаборатории ТВП ИКСИ*

*vgnikonov@mail.ru*

Преобразование пространства  $V_n$  двоичных векторов длины  $n$  может быть задано с помощью системы координатных функций  $(f_1, \dots, f_n)$ . Вычисление образа  $(y_1, \dots, y_n)$  входного вектора  $(x_1, \dots, x_n)$  производится по формуле

$$y_i = f_i(x_1, \dots, x_n), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

При этом в случаях, когда система координатных функций  $(f_1, \dots, f_n)$  задает биективное преобразование, она называется регулярной.

Одним из направлений исследований в области построения таких систем является задание их с помощью так называемых квази-адамаровых матриц.

Квази-адамаровой матрицей будем называть квадратную матрицу над полем действительных чисел, состоящую из элементов  $\{-1, 0, 1\}$  с попарно ортогональными строками и имеющую четный размер, причем каждая строка и каждый столбец такой матрицы содержат хотя бы один нуль и хотя бы один отличный от нуля элемент. Некоторые свойства этих матриц описаны в работе [2], а в работах [5, 6] приведены способы их построения.

По квази-адамаровой матрице система координатных функций выписывается следующим образом. Пусть есть квази-адамарова матрица  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ , составим систему из  $n$  неравенств



це  $A_1$ . Значит  $g_{A_1}^4 = \varepsilon$  ( $\varepsilon$  – тождественная подстановка), что означает, что  $g_{A_1}$  состоит из  $2^{n-2}$  циклов длины 4. Следовательно, и в этом случае четность подстановки  $g_{A_1}$  доказана.

**Утверждение 5.** Пусть  $A$  квазидамарова матрица, порождающая отображение  $g_A$ . Тогда для любых векторов  $(x_1, \dots, x_n)$  и  $(y_1, \dots, y_n)$  из пространства  $V_n$   $g_A(x_1, \dots, x_n) = (y_1, \dots, y_n)$  тогда и только тогда, когда

$$\begin{pmatrix} y'_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & y'_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & y'_n \end{pmatrix} \times A \times \begin{pmatrix} x'_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x'_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x'_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \geq 0^\downarrow,$$

где  $x'_i = x_i - 1/2, y'_i = y_i - 1/2$  для  $i = 1, \dots, n$ .

**Теорема 1.** Пусть квазидамарова матрица  $A_{n \times n}$  порождает подстановку. Тогда из того, что сумма элементов в каждой строке матрицы  $A$  больше нуля следует, что сумма элементов в каждом столбце матрицы  $A$  больше нуля.

**Доказательство.** Пусть  $A_{n \times n} = (a_{ij})_{n \times n}$ . Введем параметр  $M(A)$  равный количеству  $(-1)$  в матрице  $A$ . Пусть  $M = \min A$ . Ясно, что  $M \geq 0$ . Проведем доказательство от противного. Пусть сумма элементов каждой строки матрицы  $A$  больше нуля, но существуют столбцы с номерами  $j_1, \dots, j_k$ , сумма элементов в каждом из которых меньше нуля. Из того, что сумма элементов в каждой строке матрицы больше нуля, следует, что  $g_A(1, \dots, 1) = (1, \dots, 1)$ . Обозначим  $D_{j_1 \dots j_k}$  диагональную квазидамарову матрицу размеров  $n \times n$ , у которой на местах  $j_1, \dots, j_k$  диагонали стоят  $(-1)$ , а на остальных местах диагонали стоят 1, то есть

$$D_{j_1 \dots j_k} = \text{diag}(1, \dots, \underset{j_1}{-1}, \dots, \underset{j_k}{-1}, \dots, 1).$$

Пусть  $A_1 = A \times D_{j_1 \dots j_k}$ . Тогда сумма элементов в каждом столбце матрицы  $A_1$  больше нуля, но при этом количество  $(-1)$  по сравнению с матрицей  $A$  уменьшилось, то есть

$$M(A) > M(A_1).$$

Обозначим  $j_1, \dots, j_l$  – номера строк матрицы  $A_1$ , сумма элементов в каждой из которых меньше нуля. Путем умножения  $A_1$  слева на матрицу  $D_{i_1 \dots i_l}$ , получим матрицу  $A_2$ , у которой сумма элементов в каждой строке больше нуля. При этом  $M(A) > M(A_1) > M(A_2)$ . Далее продолжаем описанную процедуру, и так как  $M \geq 0$ , то на каком-то шаге процесс прекратится. Рассмотрим только два послед-

них этапа и, не ограничивая общности, обозначим получаемые матрицы  $A, A_1, A_2$ . Так как матрица  $A_2$  получена на последнем этапе, то сумма элементов в каждой ее строке больше нуля, а также сумма элементов в каждом ее столбце больше нуля. Следовательно,

$$g_{A_2}(1, \dots, 1) = (1, \dots, 1) \text{ и } g_{A_2^T}(1, \dots, 1) = (1, \dots, 1).$$

Из последовательности построения матриц следует

$$A_2 = D_{i_1 \dots i_l} \times A \times D_{j_1 \dots j_k}.$$

Тогда имеем, что

$$A^T = D_{j_1 \dots j_k} \times A_2^T \times D_{i_1 \dots i_l} \text{ и}$$

$$g_{A^T}(1, \dots, \underset{i_1}{0}, \dots, \underset{i_l}{0}, \dots, 1) = (1, \dots, \underset{j_1}{0}, \dots, \underset{j_k}{0}, \dots, 1).$$

Также из способа получения матриц, имеем  $A_1 = A \times D_{j_1 \dots j_k}$ , следовательно  $A_1^T = D_{j_1 \dots j_k} \times A^T$ . В матрице  $A_1^T$  сумма элементов в каждой строке больше нуля, значит  $g_{A_1^T}(1, \dots, 1) = (1, \dots, 1)$ . Отсюда, с учетом предыдущего равенства, получаем

$$g_{A^T}(1, \dots, 1) = (1, \dots, \underset{j_1}{0}, \dots, \underset{j_k}{0}, \dots, 1).$$

Пришли к противоречию с полученным выше равенством. Таким образом, теорема доказана.

**Следствие 1.** Пусть квазидамарова матрица  $A$  порождает биективное отображение  $g_A$ . Тогда квазидамарова матрица  $A^T$  порождает отображение  $g_A^{-1}$ , то есть обратное к отображению  $g_A$ .

**Доказательство** очевидным образом следует из теоремы 1 и утверждения 5.

Таким образом, для получения обратного отображения нужно просто транспонировать матрицу. Из приведенной теоремы следует, что если симметричная квазидамарова матрица порождает подстановку, то эта подстановка инволютивна, то есть состоит из циклов длины 2.

Приведем еще одно важное свойство отображений, порождаемых квазидамаровыми матрицами, которое справедливо вне зависимости от того, является ли порождаемое отображение биективным или нет.

**Лемма.** Пусть  $g_A: V_n \rightarrow V_n$  – отображение, порождаемое квазидамаровой матрицей  $A$ . Тогда если

$$g_A(x_1, \dots, x_n) = (y_1, \dots, y_n),$$

$$\text{то } g_A(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) = (\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_n),$$

где  $\bar{a} = a + 1 \pmod{2}$ .

Доказательство. Достаточно заметить, что каждая координатная функция порождает отображения является самодвойственной.

Пример. Построим подстановку по квазидамаровой матрице

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Непосредственной проверкой можно убедиться в том, что координатные функции порождаемой подстановки имеют вид

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, x_3, x_4) &= 1 \Leftrightarrow x_1 + x_2 + x_3 > 3/2, \\ f_2(x_1, x_2, x_3, x_4) &= 1 \Leftrightarrow x_1 + (1 - x_2) + (1 - x_4) \geq 3/2, \\ f_3(x_1, x_2, x_3, x_4) &= 1 \Leftrightarrow x_1 + (1 - x_3) + x_4 \geq 3/2, \\ f_4(x_1, x_2, x_3, x_4) &= 1 \Leftrightarrow (1 - x_2) + x_3 + x_4 \geq 3/2. \end{aligned}$$

Сама подстановка в двустрочной записи имеет вид

$$g_A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 \\ 4 & 3 & 5 & 1 & 0 & 2 & 8 & 9 & 6 & 7 & 13 & 15 & 14 & 10 & 12 & 11 \end{pmatrix},$$

где двоичные вектора пространства  $V_4$  естественным образом представлены как целые числа. Легко убедиться, что подстановка  $g_A$

раскладывается на 8 независимых циклов длины 2 и является обратной к самой себе.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (НШ-4.2008.10)

### Библиографический список

1. Логачев, О.А. Булевы функции в теории кодирования и криптологии / О.А. Логачев, А.А. Сальников, В.В. Ященко. – М.: МНЦМО, 2004.
2. Мак-Вильямс, Ф.Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки / Ф.Дж. Мак-Вильямс, Н.Дж.А. Слоэн. – М.: Связь, 1979.
3. Никонов, В.Г. Методы компактной реализации биективных отображений, заданных регулярными системами однотипных булевых функций / В.Г. Никонов, А.В. Саранцев // Вестник РУДН, серия Прикладная и компьютерная математика. – 2003. – Т. 2. – № 1. – С. 94–105.
4. Носов, В.А. Специальные главы дискретной математики / В.А. Носов. – М., 1990.
5. P. Delsarte, J.-M. Goethals, J.J. Seidel. Orthogonal matrices with zero diagonal II // Canadian Journal of Mathematics, 23 (1971) 816-832.
6. J.-M. Goethals, J.J. Seidel. Orthogonal matrices with zero diagonal // Canadian Journal of Mathematics, 19 (1969) 1001-1010.

## НОВАЯ ДИСКРЕТНАЯ БАЙЕСОВСКАЯ МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

С.И. ЗАТЕНКО, *ст. преподаватель каф. высшей математики СПбГЛТА,*

Л.В. УТКИН, *проф. каф. информатики и информационных систем СПбГЛТА, д-р техн. наук*

*s\_lana2004@mail.ru, lev.utkin@mail.ru*

**В** настоящее время в условиях развития и распространения сложных информационных систем, основной частью которых является программное обеспечение (ПО), качество и надежность становятся одними из важнейших характеристик программных средств. Анализ надежности ПО – один из наиболее важных этапов разработки программ и программных систем, так как именно от наличия ошибок в программе зависит эффективность ее дальнейшего использования. Сокращение времени разработки программ, включая их тестирование, существенно усложняет моделирование надежности ПО. Поэтому разработка моделей надежности, позволяющих учитывать недостаток статистической информации, является актуальной задачей [1].

Существует два основных подхода для моделирования надежности ПО: подход, основанный на нахождении максимума функции правдоподобия, и байесовский подход. Однако ни один из них нельзя считать универсальным. При использовании первого необходимо иметь большое количество наблюдений, кроме того, он плохо работает в случае большого количества параметров. Проблема, которая возникает при использовании второго, заключается в том, что произвольный выбор априорного распределения при малом количестве статистической информации в достаточно сильной степени может влиять на результаты прогнозирования.

В данной работе рассматривается новый метод моделирования надежности, кото-

рый сочетает байесовский подход и принцип максимума правдоподобия. В результате этого сочетания решается проблема произвольности выбора априорного распределения, кроме того, получающаяся задача оптимизации функции правдоподобия становится однопараметрической. Используя этот метод, мы создаем новую интервальную модель надежности ПО дискретного времени.

Рассмотрим программное обеспечение на этапе его тестирования. Любой процесс функционирования ПО может быть разделен на последовательность запусков. Поэтому часто удобно считать, что времена между отказами являются дискретными случайными величинами, т.е. один запуск программы и ее выполнение является минимальной единицей дискретного времени безотказной работы. В результате тестирования и отладки получим поток случайных чисел  $k_1, \dots, k_n$ , который мы будем рассматривать как набор значений случайных величин  $X_1, \dots, X_n$ , где  $X_i$  – дискретная случайная величина, принимающая значение  $k$ , если программа отказала в течение  $k$ -го выполнения после  $(k - 1)$  успешных запусков и выполнений. После обнаружения отказа в ПО возможная ошибка, вызвавшая отказ, исправляется, что изменяет характеристики программы и соответственно случайных величин  $X_1, \dots, X_n$ . Конечной задачей моделирования надежности ПО является нахождение вероятностных характеристик случайной величины  $X_{n+1}$ , где  $X_{n+1}$  – время безотказной работы программы после окончания отладки, т.е. в процессе эксплуатации.

В работе авторов [2], был представлен целый класс моделей, который можно использовать как инструмент для создания самых различных частных интервальных моделей. А также в рамках созданного инструментария было доказано утверждение

$$\begin{aligned} & \max_{\theta} \max_{\mathcal{R}_1 \times \dots \times \mathcal{R}_n} L(K | \theta) = \\ & = \max_{\theta} \prod_{i=1}^n \{ \bar{F}_i(k_i | \theta) - \underline{F}_i((k_i - 1) | \theta) \}. \end{aligned}$$

Здесь  $\underline{F}_i(k | \theta)$ ,  $\bar{F}_i(k | \theta)$  – нижняя и верхняя функции распределения вероятностей случайной величины  $X_i$ , ограничивающие множество возможных распределений  $\mathcal{R}_i$ .

Трудность, которая возникает при использовании полученных результатов, заключается в определении множества распределений или граничных функций распределения случайных величин  $X_i$ , а также в наличии большого числа параметров, по которым осуществляется максимизация функции правдоподобия.

Основная идея моделирования состоит в том, что все множество параметров модели мы разделим на два непересекающихся подмножества,  $D_1$  и  $D_2$ . Подмножество  $D_1$  состоит из параметров, определяющих множество всевозможных функций распределения  $F_i(k)$ , а второе подмножество – это параметр, характеризующий рост надежности ПО в процессе исправления ошибок. Применяя байесовский подход для нахождения параметров распределения принадлежащих  $D_1$ , получаем последовательность функций распределения  $F_i(k|b,d)$ , где  $b, d$  – векторы параметров,  $b \in D_1$  и  $d \in D_2$ . Далее, фиксируя параметр  $d$ , находим нижнюю и верхнюю функции распределения  $\underline{F}_i(k|d)$  и  $\bar{F}_i(k|d)$ , такие что  $\underline{F}_i(k|d) < F_i(k|b,d) < \bar{F}_i(k|d)$ . После этого вектор  $d$  вычисляется с использованием принципа максимума правдоподобия.

Следующей основной задачей является определение конкретного вида  $\underline{F}_i(k|d), \bar{F}_i(k|d)$ . Для этого используем обобщенный байесовский подход [3].

**Построение интервальной модели надежности ПО на основе бета-геометрической байесовской модели**

Пусть  $X_i$  дискретные случайные величины, имеющие геометрическое распределение

$$\begin{aligned} P\{X_i \leq k\} &= F_i(k|p_i) = \\ &= \sum_{j=1}^k p_i(1-p_i)^{j-1} = 1 - (1-p_i)^k, \end{aligned}$$

где  $p_i$  – параметр распределения или вероятность неуспешного запуска программы между  $(i - 1)$ -м и  $i$ -м отказами.

Таким образом,

$$P(X_i = k) = p_i(k) = p_i(1 - p_i)^{k-1}.$$

Байесовский подход к моделированию заключается в следующем. Предположим, что параметр  $p_i$  сам является случайной величиной с некоторой функцией плотности вероятности  $\pi(p_i|(a_p, b_p))$ , здесь  $a_p, b_p$  – параметры

распределения. Для согласования априорного и апостериорного распределений, функция  $\pi$  должна быть бета-распределением, обозначим его  $Beta(a_i, b_i)$

$$\pi(p_i) = Beta(a_i, b_i) = \frac{1}{B(a_i, b_i)} p_i^{a_i-1} (1-p_i)^{b_i-1}, 0 \leq p_i \leq 1.$$

Тогда модифицированная функция распределения  $X_i$  будет иметь вид:

$$F_i(k) = \int_0^1 (1-(1-p_i)^k) Beta(a_i, b_i) dp_i = 1 - \frac{\Gamma(a_i + b_i) \Gamma(b_i + k)}{\Gamma(b_i) \Gamma(a_i + b_i + k)}.$$

Здесь  $\Gamma(x)$  – стандартная гамма-функция.

Если появилась информация о времени безотказной работы на  $i$ -м этапе тестирования, то, пересчитывая параметры на основе известной формулы Байеса, получим апостериорную плотность распределения

$$\pi(p_{i+1}) = \pi(p_i | k_i) = Beta(a_i + 1, b_i + k_i - 1),$$

где  $(k_i - 1)$  – фактическое число успешных запусков между  $(i - 1)$ -м и  $i$ -м отказами.

Пусть  $k_1, \dots, k_n$  – реализация  $X_1, \dots, X_n$ . До проведения эксперимента распределению случайной величины  $X_1$  будет соответствовать параметр  $p_0$  с плотностью распределения вероятности  $\pi(p_0) = Beta(\alpha; \beta)$ . Значения параметров, бета-распределения  $(\alpha; \beta)$  неизвестны. Поэтому предлагается вместо какого-либо конкретного распределения рассмотреть весь класс возможных распределений на множестве параметров [3,4].

Будем считать, что параметры  $(\alpha; \beta)$  изменяются вдоль отрезка, граничные точки которого находятся в точках с координатами  $(s; 0), (0; s), s > 0$ . Выбор отрезка обусловлен тем, что математическое ожидание вероятности отказа для бета-распределения равно  $Mp_0 = \alpha / (\alpha + \beta)$ . А значит, изменяя параметры  $(\alpha; \beta)$  данным образом, получим значения  $Mp_0 \in (0; 1)$ . Здесь  $s$  – параметр осторожности, определяющий размер треугольника и соответственно границы множества распределений  $\mathcal{R}_i$ .

Пересчитывая параметры распределения  $p_i$  по мере поступления статистической информации, получим на  $i$ -м этапе тестирования

$$\pi(p_i) = Beta(\alpha + i; \beta + (i-1)\beta_1 + \sum_{j=1}^i (k_j - 1)),$$

где  $\beta_1$  – параметр, характеризующий рост надежности ПО в процессе исправления ошибок.

А значит, модифицированная функция распределения случайной величины  $X_i$  будет иметь вид

$$F_i(k) = \int_0^1 (1-(1-p_i)^k) \times Beta(\alpha + i; \beta + (i-1)\beta_1 + \sum_{j=1}^i (k_j - 1)) dp_i = 1 - \frac{\Gamma\left(\alpha + i + \beta + (i-1)\beta_1 + \sum_{j=1}^i (k_j - 1)\right)}{\Gamma\left(\beta + (i-1)\beta_1 + \sum_{j=1}^i (k_j - 1)\right)} \times \frac{\Gamma\left(\beta + (i-1)\beta_1 + \sum_{j=1}^i (k_j - 1) + k\right)}{\Gamma\left(\alpha + i + \beta + (i-1)\beta_1 + \sum_{j=1}^i (k_j - 1) + k\right)}.$$

Обозначая

$$K_i = \sum_{j=1}^i (k_j - 1),$$

где  $K_i$  – суммарное число успешных запусков до  $i$ -го отказа, и  $D_i = K_i + (i - 1)\beta_1$  получим

$$F_i(k) = 1 - \frac{\Gamma(\alpha + i + \beta + D_i) \Gamma(\beta + D_i + k)}{\Gamma(\beta + D_i) \Gamma(\alpha + i + \beta + D_i + k)}.$$

Фиксируя параметр роста  $\beta_1$ , найдем минимальное  $\underline{F}_i(k | \beta_1)$  и максимальное  $\overline{F}_i(k | \beta_1)$  значения функции  $F_i(k)$ .

Докажем, что минимальное значение функции распределения  $F_i(k)$  достигается в том случае, когда параметры  $(\alpha; \beta) = (0; s)$ , а максимальное при  $(\alpha; \beta) = (s; 0)$ .

Если  $\alpha; \beta$  принадлежат отрезку, концы которого имеют координаты  $(0; s)$  и  $(s; 0)$ , тогда  $\alpha = s\varepsilon$ ,  $\beta = s - s\varepsilon$ , где  $\varepsilon$  изменяется от  $[0; 1]$ . Рассмотрим

$$F_i(k; \varepsilon | \beta_1) = 1 - \frac{\Gamma(s\varepsilon + i + s - s\varepsilon + D_i)}{\Gamma(s - s\varepsilon + D_i)} \times \frac{\Gamma(s - s\varepsilon + D_i + k)}{\Gamma(s\varepsilon + i + s - s\varepsilon + D_i + k)}$$

и докажем, что  $F_i(k; \varepsilon | \beta_1)$  возрастает с ростом  $\varepsilon$ .

Заметим, что  $F_i(k; \varepsilon | \beta_1)$  может быть записана как

$$F_i(k; \varepsilon | \beta_1) = 1 - \frac{Beta(s + i + D_i, k)}{Beta(s - s\varepsilon + D_i, k)}.$$

А значит,  $F_i(k; \varepsilon | \beta_1)$  возрастает на  $[0, 1]$ , так как  $Beta(x, y)$ , убывает с ростом  $x$ , когда  $x > 0$ .

Таким образом

$$\begin{aligned} \underline{F}_i(k | \beta_1) &= \inf_{0 \leq \varepsilon \leq 1} F_i(k, \varepsilon | \beta_1) = \\ &= F_i(k, 0 | \beta_1) = 1 - \frac{Beta(s + i + D_i, k)}{Beta(s + D_i, k)} \\ \overline{F}_i(k | \beta_1) &= \sup_{0 \leq \varepsilon \leq 1} F_i(k, \varepsilon | \beta_1) = \\ &= F_i(k, 1 | \beta_1) = 1 - \frac{Beta(s + i + D_i, k)}{Beta(D_i, k)}. \end{aligned}$$

Определим теперь параметр  $\beta_1$ , находя максимум функции правдоподобия.

$$\begin{aligned} \max_{\beta_1} L(K | \beta_1) &= \\ &= \max_{\beta_1} \prod_{i=1}^n \{ \overline{F}_i(k_i | \beta_1) - \underline{F}_i(k_i - 1 | \beta_1) \} = \\ &= \max_{\beta_1} \prod_{i=1}^n \left( \frac{Beta(s + i + D_i, k_i - 1)}{Beta(s + D_i, k_i - 1)} - \frac{Beta(s + i + D_i, k_i)}{Beta(D_i, k_i)} \right). \end{aligned}$$

Так как  $k_i$  целые числа, то для упрощения данного выражения можно использовать следующее равенство

$$Beta(a, n) = \frac{(n-1)!}{\prod_{i=0}^{n-1} (a+i)}.$$

А значит,

$$\begin{aligned} L_i^s(K | \beta_1) &= \frac{\prod_{j=0}^{k_i-2} (s + D_i + j)}{\prod_{j=0}^{k_i-2} (s + i + D_i + j)} - \frac{\prod_{j=0}^{k_i-1} (D_i + j)}{\prod_{j=0}^{k_i-1} (s + i + D_i + j)} = \\ &= \frac{(s + i + D_i + k_i - 1) \prod_{j=0}^{k_i-2} (s + D_i + j) - \prod_{j=0}^{k_i-1} (D_i + j)}{\prod_{j=0}^{k_i-1} (s + i + D_i + j)}. \end{aligned}$$

Логарифмируя функцию правдоподобия, получим равенство

$$\ln L^{(s)}(K | \beta_1) = \sum_{i=1}^n \left( - \sum_{j=0}^{k_i-1} \ln(s + i + D_i + j) + \ln G_i \right),$$

где

$$G_i = (s + i + D_i + k_i - 1) \prod_{j=0}^{k_i-2} (s + D_i + j) - \prod_{j=0}^{k_i-1} (D_i + j).$$

Заметим, что в случае, когда параметр  $s = 1$ , функция правдоподобия значительно упрощается

$$L_i^1(K | \beta_1) = \frac{(i + k_i) \prod_{j=1}^{k_i-1} (D_i + j)}{\prod_{j=0}^{k_i-1} (1 + i + D_i + j)}.$$

Логарифмируя теперь функцию правдоподобия при  $s = 1$ , получим

$$\begin{aligned} \ln L^{(1)}(K | \beta_1) &= \sum_{i=1}^n (\ln(i + k_i) + \\ &+ \sum_{j=1}^{k_i-1} \ln(D_i + j) - \sum_{i=0}^{k_i-1} \ln(1 + i + D_i + j)). \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \max_{\beta_1} \ln L^{(1)}(K | \beta_1) &= \\ &= \max_{\beta_1} \sum_{i=1}^n \left( \ln(i + k_i) + \sum_{j=1}^{k_i-1} \ln(K_i + (i-1)\beta_1 + j) - \sum_{i=0}^{k_i-1} \ln(1 + i + K_i + (i-1)\beta_1 + j) \right). \end{aligned}$$

Для того чтобы найти оптимальное значение  $\beta_1$  параметра  $\beta_1$  рассмотрим уравнение.

$$\partial \ln L^{(1)}(K | \beta_1) / \partial \beta_1 = 0.$$

Подставляя в него выражение для  $\partial \ln L^{(1)}(K | \beta_1)$  получаем

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{\sum_{j=1}^{k_i-1} \frac{1}{K_i + (i-1)\beta_1 + j}}{- \sum_{i=0}^{k_i-1} \frac{1}{1 + i + K_i + (i-1)\beta_1 + j}} \right) \cdot (i-1) = 0.$$

Используя численные методы, получим оптимальное значение  $\beta_1$ , на основании которого сможем найти функции распределения  $\overline{F}_{n+1}(k)$ ,  $\underline{F}_{n+1}(k)$ , а значит и вероятность безотказной работы ПО после  $n$ -го отказа, которая определяется как интервал

$$\underline{R}(k) = 1 - \overline{F}_{n+1}(k), \quad \overline{R}(k) = 1 - \underline{F}_{n+1}(k),$$

где

$$\underline{F}_{n+1}^{(s)}(k) = 1 - \frac{Beta(s + n + 1 + K_{n+1} + n\overline{\beta}_1, k)}{Beta(s + K_{n+1} + n\overline{\beta}_1, k)},$$

$$\overline{F}_{n+1}^{(s)}(k) = 1 - \frac{Beta(s + n + 1 + K_{n+1} + n\overline{\beta}_1, k)}{Beta(K_{n+1} + n\overline{\beta}_1, k)}.$$

### Сравнительный анализ, построенной обобщенной байесовской модели надежности ПО, с дискретным аналогом модели Желински-Моранда

Для сравнения моделей используем алгоритм усечения, который заключается в следующем. Рассмотрим некоторый набор статис-

тических данных об отказах ПО. Из множества этих данных извлечем первые  $k$  – статистик, используя которые спрогнозируем время безотказной работы на  $(k + 1)$  шаге с помощью модели Джелински-Моранда и полученной обобщенной байесовской модели. Однако прогнозируя значения с использованием моделей надежности, мы не можем определить их точно, так как имеем дело со случайными величинами, поэтому любая модель дает только вероятностные характеристики прогнозируемого значения. Наиболее информативной с точки зрения оценки достоверности модели является ожидаемое значение (математическое ожидание) числа запусков до отказа  $EX_{k+1}$ . Так как рассматриваемая новая модель надежности является обобщенной, то для сравнения будем использовать математическое ожидание числа запусков до отказа, которое будем вычислять, используя формулы

$$\underline{E}_{k+1}^{(s)} X_{k+1} = \sum_{m=1}^{\infty} (1 - \overline{F}_{k+1}^{(s)}(m))$$

$$\text{и } \overline{E}_{k+1}^{(s)} X_{k+1} = \sum_{m=1}^{\infty} (1 - \underline{F}_{k+1}^{(s)}(m)).$$

Заметим что в отличие от стандартной модели, для которой искомое математическое ожидание – это число, для байесовских интервальных моделей это интервал, определяемый нижним и верхним значениями математических ожиданий. Однако сравнивать интервал с точным значением (числом) нельзя, поэтому мы заменяем интервал точным аналогом, который вычисляем, используя формулу

$$E_{i+1}^{(s)} X_{i+1} = \gamma \underline{E}_{i+1}^{(s)} X_{i+1} + (1 - \gamma) \overline{E}_{i+1}^{(s)} X_{i+1}.$$

Здесь  $\gamma$  – коэффициент пессимизма в принятии решений о точном значении интервала. Если  $\gamma = 0$ , то пессимизм минимальный и в качестве точной оценки имеем верхнюю оценку математического ожидания, если  $\gamma = 1$ , имеем максимальную степень пессимизма и нижнюю оценку.

Таким образом, выбрав  $\gamma$ , дальше по  $k$  имеющимся значениям прогнозируем  $(k + 1)$ , отметим, что эта точка на самом деле уже имеется в таблице данных. Следовательно, теперь возможно определить отклонение прогнозов для разных моделей от реальных точек. Продолжая эту процедуру для  $(k + 1)$ -й,  $(k + 2)$ -й и так далее до  $(n - 1)$ -й точки, получаем статис-

тические данные отклонений прогнозируемых параметров данных моделей от реальных данных. Кроме того появляется возможность проследить тенденцию изменения числа запусков до отказа, а также сравнить усредненные значения отклонений для двух моделей. Средние значения отклонений  $R_1, R_2, R_3, R_4$  будем считать, используя формулы

$$R_1 = \frac{\sum_{i=k}^{n-1} |\underline{E}_{i+1}^{(s)} X_{i+1} - k_{i+1}|}{n - k}, R_2 = \frac{\sum_{i=k}^{n-1} |\overline{E}_{i+1}^{(s)} X_{i+1} - k_{i+1}|}{n - k},$$

$$R_3 = \frac{\sum_{i=k}^{n-1} |E_{i+1}^{(s)} X_{i+1} - k_{i+1}|}{n - k}, R_4 = \frac{\sum_{i=k}^{n-1} |E_{i+1} X_{i+1} - k_{i+1}|}{n - k}.$$

Здесь  $R_1, R_2$  – соответственно нижние и верхние средние значения отклонений для обобщенной байесовской модели,  $R_3, R_4$  – отклонения прогнозируемых средних значений времен до отказа от реальных данных для обобщенной байесовской модели и модели Джелински-Моранда.

Т а б л и ц а

Данные о надежности программного обеспечения

Номер	Число запусков до отказа
1	9
2	12
3	11
4	4
5	7
6	2
7	5
8	8
9	5
10	7
11	1
12	6
13	1
14	9
15	4
16	1
17	3
18	3
19	6
20	1
21	11
22	33
23	7
24	91
25	2
26	1

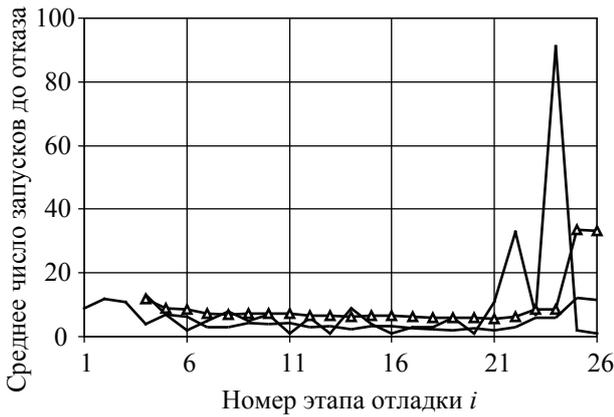


Рис. 1. Изменение надежности ПО в процессе отладки для различных моделей

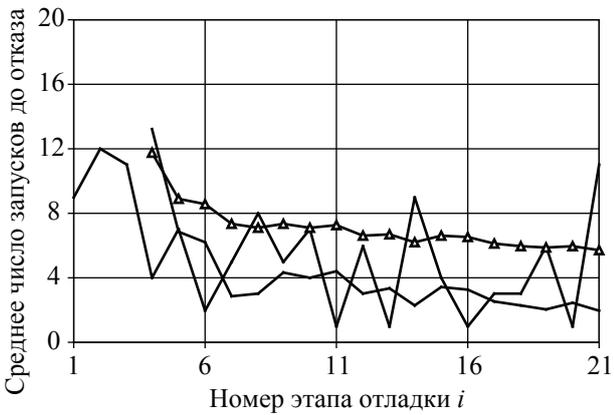


Рис. 2. Изменение надежности ПО в процессе отладки для различных моделей (до 21-го этапа отладки)

Для сравнительного анализа моделей будут использованы данные о надежности программного обеспечения, которые содержатся в работе Джелински-Моранда [4], они размещены в таблице. Это информация о 26 отказах, происшедших на стадии разработки программного обеспечения для морского флота США.

Рассмотрим параметр осторожности  $s = 1$ , коэффициент пессимизма  $\gamma = 0,5$  и первые три статистики, используя которые начнем процесс прогнозирования.

Представим полученную информацию в виде графиков. По оси абсцисс откладываем номер испытания, а по оси ординат – среднее число запусков до отказа ( $E_i^{(1)}X_i$  – для обобщенной байесовской модели и  $EX_i$  для модели Джелински-Моранда).

График, изображенный тонкой линией с треугольными маркерами на рис. 1 и рис. 2 – это график изменения надежности ПО в процессе отладки, построенный по мо-

дели Джелински-Моранда, толстой линией – по обобщенной байесовской модели, линия средней толщины соответствует реальным статистическим данным.

Сравнивая графики, видим, что модель Джелински-Моранда ведет себя менее точно, так как она дает более завышенные значения средних значений числа запусков до отказа. Это происходит вследствие существенной «памяти» модели Джелински-Моранда. Посмотрев на первые три значения числа запусков ПО до отказа, видим, что они демонстрируют высокий уровень показателей надежности, на начальном этапе отладки модель Джелински-Моранда «запоминает» их, что, в свою очередь, приводит к завышению прогнозируемых значений средних по сравнению с реальными данными. В то время как рассматриваемая обобщенная байесовская модель является более гибкой, лучше отслеживает изменения показателей надежности и позволяет давать адекватные прогнозы, особенно в том случае, когда объем статистической информации мал.

Вычисляя средние значения отклонений  $R_1, R_2, R_3, R_4$ , получаем  $R_1 = 8,448, R_2 = 8,605, R_3 = 8,485, R_4 = 10,272$ .

Найдем средние величины относительных отклонений, используя формулы

$$R_1' = R_1 / k_{cp}, R_2' = R_2 / k_{cp}, R_3' = R_3 / k_{cp}, R_4' = R_4 / k_{cp},$$

где

$$k_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{26} k_i}{26}.$$

Имеем  $R_1' = 0,878, R_2' = 0,895, R_3' = 0,882, R_4' = 1,068$ .

Таким образом, средние значения отклонений и средние величины относительных отклонений меньше для обобщенной байесовской модели надежности по сравнению с моделью Джелински-Моранда. Эти факты указывают на явное преимущество обобщенной байесовской модели.

Вычислим средние значения отклонений по первым 13 прогнозам, т.е. для случая, когда объем статистической информации мал.

Получаем  $R_3 = 3,280, R_4 = 3,498$  и  $R_3' = 0,341, R_4' = 0,363$ .

Отчетливо видно, что значения всех этих показателей меньше для байесовской модели надежности, кроме того, средние значения отклонений и средние величины относительных отклонений, посчитанные по первым 13 прогнозам, меньше, чем эти же показатели, посчитанные по 23 прогнозам. Это, в свою очередь, говорит об эффективности использования байесовской модели надежности в случае малого количества статистической информации.

В данной работе построена обобщенная байесовская модель надежности ПО дискретного времени, которая сочетает байесовский подход и принцип максимума правдоподобия. Это сочетание позволяет существенно упростить вычисления, так как с помощью функции правдоподобия вычисляются только параметры роста надежности ПО, а параметры граничных распределений вероятностей вычисляются на основе байесовского подхода. Используя байесовский подход, мы получаем

границы множества функций распределения вероятностей. Кроме того, в работе представлен сравнительный анализ полученной модели с дискретным аналогом известной модели Джелински-Моранда. Предлагаемая модель зависит от параметра  $s$ , который задается субъективно. С помощью этого параметра можно управлять размытостью результатов и принимать осторожные решения.

#### Библиографический список

1. Уткин, Л.В. Нетрадиционные методы оценки надежности информационных систем / Л.В. Уткин, И.Б. Шубинский. – СПб.: Любавич, 2000. 173 с.
2. Уткин, Л.В. Концепция для разработки нового класса интервальных моделей надежности программного обеспечения / Л.В. Уткин, С.И. Затеко // Известия СПбГЛТА. – 2008. – Вып. 184. – 272 с.
3. Уткин, Л.В. Анализ риска и принятие решений при неполной информации / Л.В. Уткин. – СПб.: Наука, 2007. – 404 с.
4. Кузнецов, В.П. Интервальные статистические модели / В.П. Кузнецов. – М.: Радио и связь, 1991. – 352 с.

## ОЦЕНКА РИСКА СТОЛКНОВЕНИЯ ПРИ СБЛИЖЕНИИ МКС С НАБЛЮДАЕМЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

А.И. КОЗОРИЗ, *асп. каф. информатики и вычислительной техники МГУЛ,*

В.А. СКОРНЯКОВ, *доц. каф. информатики и вычислительной техники МГУЛ, канд. техн. наук*

*axv.works@gmail.com*

Одной из наиболее актуальных проблем освоения космоса является проблема засоренности околоземного пространства (ОКП) «космическим мусором». На данный момент в ОКП скопилось свыше 15 тыс. только наблюдаемых объектов общей массой около 5 тыс. т. Количество же ненаблюдаемых объектов «космического мусора» оценивается числами порядка  $10^{15}$ . Общая картина засорения ОКП наглядно представлена на рис. 1.

«Космический мусор» представляет большую опасность для функционирующих космических аппаратов (КА) из-за больших относительных скоростей сближения (табл. 1). За последние 12 лет от столкновений с «космическим мусором» погибло 4 КА [2], а за время существования Международной космической станции (МКС) было проведено 7 маневров уклонения от объектов «кос-

мического мусора». Всего для МКС от систем контроля космического пространства (СККП) было получено около 170 предупреждений об опасных сближениях.

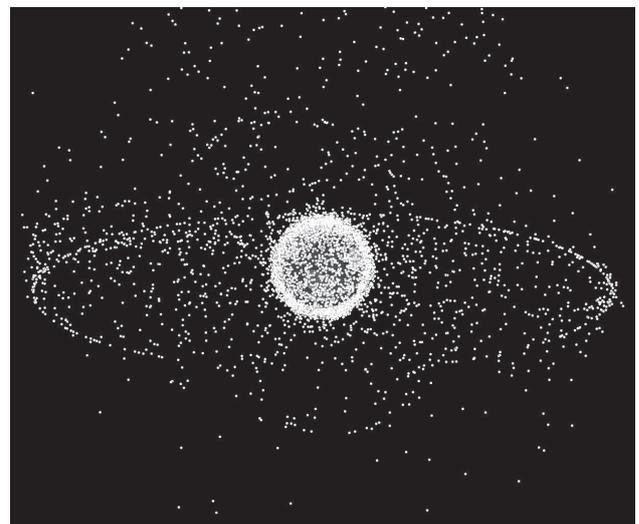


Рис. 1. Распределение «космического мусора» в ОКП

Т а б л и ц а 1  
Сравнительный анализ кинетической энергии объектов

Автомат Калашникова	КАМАЗ с грузом	Космический мусор
масса пули – 7,9 г	масса – 14,5 т	масса фрагмента – 40 г
скорость вылета – 715 м/с	скорость – 90 км/ч	относительная скорость – 15 км/с
кинетическая энергия – 2 кДж	кинетическая энергия – 4,5 МДж	кинетическая энергия – 4,5 МДж

В настоящее время проведение своевременных маневров уклонения является единственным способом уменьшения опасности столкновения управляемых КА с наблюдаемыми фрагментами «космического мусора». Однако проведение таких маневров для объектов типа МКС сопряжено с большими затратами бортовых и организационно-технических ресурсов. В связи с этим обретает особую важность задача получения достоверной оценки риска столкновения со сближающимися КО. При этом для оценки риска столкновения необходимо знать траектории КА и КО, а также точности измерений параметров их траектории на момент точки опасного сближения (ТОС), которые представляются в форме матриц вторых моментов ошибок измерений (далее матрица ошибок).

Основная проблема оценки риска столкновения КО с МКС состоит в том, что если траектория МКС определяется в российском Центре управления с высокой точностью и ошибки ее положения вычисляются достаточно надежно, то траектория КО, как правило, определяется иностранными средствами наблюдения, данные о точности которых практически недоступны. Это до недавнего времени делало невозможным получение в группе управления российского сектора МКС состоятельных оценок риска столкновения МКС с наблюдаемыми КО и приходилось полностью полагаться на оценки, получаемые от иностранных партнеров. До недавнего времени расчет вероятности столкновения «КО риска» с МКС производился только американской стороной. Разработанная методика позволила производить подобные расчеты и в ЦУП ЦНИИмаш. Ниже рассматриваются ее основные особенности.

### Расчет матриц ошибок параметров траектории КО

В настоящей работе предложено два метода расчета матриц ошибок из данных, поступающих в ЦУП ЦНИИмаш от СККП. Первый основывается на использовании программы измерений КО пассивными средствами наблюдения. При этом матрица ошибок КО формируется методом «наименьших квадратов» с учетом априорной информации. Второй строится на использовании сообщений о сближении КО с МКС, которые поступают в ЦУП ЦНИИмаш от СККП и в которых содержатся прогнозы параметров траектории КО на момент ТОС.

Оценка ошибок измерений производится на основе  $m$  последних сообщений по «алгоритму  $3\sigma$ »

$$\sigma_{qp} = \frac{3}{m} \sum_{i=1}^m |q^i - q|.$$

Здесь  $q_{cp}$  – вектор средних орбитальных параметров

$$q_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m q^i,$$

где  $q^i$  – набор параметров  $i$ -го сообщения о сближении, поступающего в ЦУП от СККП;  $m$  – количество используемых сообщений о сближении (выбирается произвольно, в зависимости от количества доступных сообщений и от интервала прогнозирования).

Для получения более достоверной матрицы ошибок положения КО на момент ТОС ошибки вычисляются в трех моделях: в орбитальной системе координат, в элементах орбиты и в элементах орбиты, модифицированных для орбит с малым эксцентриситетом. Матрицы ошибок вычисляются по формулам вида

$$C = B \cdot K \cdot B,$$

где  $B = \|b_{ij}\|$  ( $6 \times 6$ ) при  $i \neq j$   $b_{ij} = 0$ , при  $i = j$   $b_{ij} = \sigma_i$ ;  $K$  – корреляционная матрица ( $6 \times 6$ ), элементы которой вычисляются датчиком случайных чисел и при  $i = j$   $k_{ij} = 1$ , при  $i \neq j$   $-1 < k_{ij} < 1$ ,  $k_{ij} = k_{ji}$ . Полученные матрицы ошибок переводятся в фундаментальную инерциальную систему координат (ФИСК) и на их основе формируется усредненная матрица вектора состояния КО на момент ТОС по формуле

$$C_{KO} = 1/3(C_{KO1} + C_{KO2} + C_{KO3}).$$

**Сравнение вероятностей столкновения «КО риска» с МКС**

№ объекта	Дата сближения	Время (ДМВ) и расстояние в км	Интервал прогнозирования в часах	Вероятность (ЦУП-Х)	Вероятность (ЦУП-М)
33246	27.8.2008	21:12:48 1,627	10	$1,39 \cdot 10^{-2}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$
33048	30.8.2008	04:09:38 21,173	16	0	0
33257	6.9.2008	17:00:29 7,668	3	$1,61 \cdot 10^{-15}$	$2,76 \cdot 10^{-12}$
33134	24.9.2008	13:03:24 20,037	36	$2,25 \cdot 10^{-22}$	$3,74 \cdot 10^{-18}$

Искомая матрица ошибок положения КО используется при расчете вероятности столкновения.

**Расчет вероятности столкновения КО с МКС**

Требования получения достоверных значений вероятности столкновения КО с КА делают необходимым рассмотрение процесса взаимного сближения в трехмерном пространстве и в картинной плоскости. Картинная плоскость определяется как плоскость, проходящая через центр масс КА и ориентированная ортогонально вектору относительной скорости КО по отношению к станции  $dv_{ТОС} = v_{КО} - v_{КА}$ .

При этом в трехмерном пространстве конструкция КА рассматривается как сфера заданного радиуса. Область возможного положения КО представляется в виде эллипсоида, параметры и ориентация которого определяются суммарной матрицей ошибок [3]  $C_{КА+КО} = C_{КА} + C_{КО}$ . В картинной плоскости КА и область КО представляются в виде круга и эллипса соответственно.

Таким образом, задача сводится к поиску вероятности попадания случайного вектора  $dr_{ТОС} = r_{КО} - r_{КА}$ , плотность распределения которого задана эллипсоидом рассеивания ошибок, в сферу заданного радиуса (рис. 2). При этом вероятность вычисляется по формуле

$$P_C(dr \in S) = \iiint_S f(U, V, W) \cdot dU \cdot dV \cdot dW,$$

где  $f(U, V, W)$  – плотность распределения случайного вектора [3, 4];

$S$  – сфера заданного радиуса;

$\{U, V, W\}$  – координаты орбитальной системы координат.

Интегрирование реализуется с использованием двух способов:

1. аппроксимацией сферы кубами малого размера

$$P_C(dr \in S) = \sum_{i=1}^n f(U_i, V_i, W_i) \cdot dU_i \cdot dV_i \cdot dW_i.$$

2. путем разложения плотности распределения в ряд через функции erf [5]

$$P_C(U', V', W' \in S) = 0,125 \cdot \left| \operatorname{erf} \left| \frac{R - U'_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma_U} \right| - \operatorname{erf} \left| \frac{-R - U'_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma_U} \right| \right| \times \left| \operatorname{erf} \left| \frac{R - V'_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma_V} \right| - \operatorname{erf} \left| \frac{-R - V'_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma_V} \right| \right| \times \left| \operatorname{erf} \left| \frac{R - W'_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma_W} \right| - \operatorname{erf} \left| \frac{-R - W'_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma_W} \right| \right|,$$

где

$$\begin{pmatrix} U' \\ V' \\ W' \end{pmatrix} = C \cdot \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} U'_0 \\ V'_0 \\ W'_0 \end{pmatrix} = C \cdot \begin{pmatrix} U_0 \\ V_0 \\ W_0 \end{pmatrix}.$$

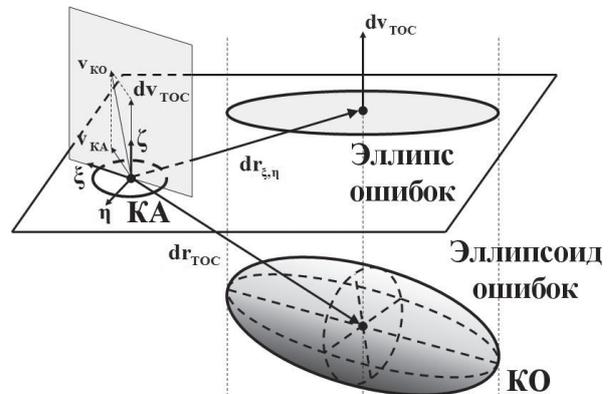


Рис. 2. Геометрическая интерпретация взаимного расположения КА и КО в космическом пространстве на момент ТОС

Здесь  $C = \|c_{ij}\|$  ( $3 \times 3$ ) – матрица, состоящая по строкам из собственных векторов матрицы  $C_{KA+KO}$ ;  $\operatorname{erf} x$  – интеграл вероятности вида

$$\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt,$$

вычисление которого сводится к асимптотическим рядам [5].

Для оценивания средних значений вероятности используется схема метода Монте-Карло [6]. Расчет значений вероятности для  $n$  реализаций, по которым затем производится поиск усредненного значения вероятности столкновения, производится исходя из соотношения

$$P_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_c)^i.$$

Здесь  $(P_c)^i$  –  $i$ -я реализация величины  $P_c$ . Процедура метода основана на законе больших чисел и позволяет получить более достоверные значения вероятности.

Данные по вероятности столкновения считаются достоверными, если

- имеются как минимум три решения по уточнению параметров траекторий  $KA$  и  $KO$ , включая данные последних наблюдений;

- последнее из прогнозируемых значений «промаха», а также два из трех предыдущих решений находятся в пределах доверительного интервала  $2\sigma$ ;

- для объектов, летающих в атмосфере Земли на высотах  $MKS$ , время до наибольшего сближения составляет менее 30 часов, т. к. достоверное прогнозирование матрицы ошибок  $C_{KA+KO}$  на период более 30 часов в настоящее время довольно сомнительно.

Безопасным сближение  $KO$  с  $MKS$  считается, если  $P_c < 10^{-5}$ . Для значения  $P_c$  в диапазоне между  $10^{-4}$  и  $10^{-5}$  риск столкновения достаточно высок, поэтому при планировании управления  $KA$  должны предусматриваться необходимые маневры с целью уклонения от « $KO$  риска» при условии минимальных последствий для проведения операций и выполнения задач полета.

С использованием данной методики был разработан автоматизированный программно-технический комплекс выявления, контроля и сопровождения « $KO$  риска», сближающихся с управляемым  $KA$ , который решает следующие задачи: расчет относительного

сближения  $KO$  с  $KA$  на момент  $ТОС$  в орбитальной системе координат; расчет вероятности столкновения  $KO$  с  $KA$ .

Программно-технический комплекс отработан на большом объеме данных, поступающих в ЦУП ЦНИИмаш от СККП. В табл. 2 приведено несколько вариантов сравнения вероятностей столкновения  $MKS$  с  $KO$ , рассчитанных с использованием данной методики, со значениями вероятностей, поступившими из ЦУП-Х (США) (рассчитываются по недоступным нам реальным данным о точностях измерений параметров траектории  $KO$ ).

Для варианта № 1  $P_c \ll 10^{-4}$  (табл. 2), поэтому 27 августа 2008 г. был проведен маневр уклонения  $MKS$  от  $KO$  № 33246 (фрагмент разрушения  $KA$  «Космос-2421»): импульс на торможение  $\Delta v = -1$  м/с, среднее понижение орбиты  $MKS$  на момент  $ТОС$  составило 1,7 км. Несмотря на отсутствие данных о точности измерений параметров траектории  $KO$ , данная методика оценки риска дает достаточно хорошие совпадения с результатами, поступающими из ЦУП-Х.

Разработанный программный комплекс введен в штатную эксплуатацию и используется для оценки риска столкновения  $MKS$  с объектами «космического мусора» и чужими  $KA$ , что дает руководству полетом дополнительный материал для принятия решения о проведении маневров уклонения.

На работу имеется положительный отзыв из ЦККП, подписанный генеральным конструктором.

### Библиографический список

1. Гетман, М. «Космический мусор» страшнее кинетического оружия / М. Гетман // Военный парад. – 2007. – № 2. – С. 28–30.
2. Головачев, В. Опасное соседство / В. Головачев // Российский космос. – 2008. – № 7(31). – С. 64–65.
3. Крамер, Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – М.: Мир, 1975. – 648 с.
4. Линник, Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – Л.: Физматгиз, 1962. – 352 с.
5. Двайт, Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г.Б. Двайт. – М.: Наука, 1973. – 228 с.
6. Соболев, И.М. Метод Монте-Карло / И.М. Соболев. – М.: Наука, 1985. – 80 с.

## КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ НА МИРОВОМ РЫНКЕ

Н.С. ШЕСТОПАЛОВА, доц. каф. экономики и орг-ции внешних связей ПЛК МГУЛ, канд. экон. наук  
*caf-econvnesh@mgul.ac.ru*

**В** современных условиях интернационализации хозяйственной жизни, усиления интенсивности конкуренции роль конкурентоспособности значительно возрастает. Увеличение масштабов международной торговли, возрастание размеров экспорта и импорта капиталов, рост числа стран, участвующих в международной торговле, приводят к тому, что конкуренция приобретает глобальный характер.

Проблема повышения конкурентоспособности весьма актуальна для производителей экспортной продукции, но и товары, реализуемые преимущественно на внутреннем рынке, также вовлекаются в процесс международной конкуренции, поскольку они конкурируют с импортными товарами. Кроме того, сохранение позиций на внутреннем рынке является важной предпосылкой высокого уровня конкурентоспособности на внешнем рынке.

Причинами выхода фирм на международный рынок являются возможность увеличения масштабов производства, получение доступа к ресурсам других стран, стремление использовать межстрановые преимущества, географическая диверсификация рынка.

Внешнеэкономическая деятельность имеет определенную специфику: она связана с более высокой степенью риска, необходимостью учета международного и национального законодательства стран, включая налогообложение, требования к импортным товарам, таможенное и валютное регулирование, а также особенностей культурной среды и уровня экономического развития страны.

При осуществлении внешнеэкономической деятельности важной задачей является выбор формы присутствия на внешнем рынке. К моделям выхода на внешний рынок относятся экспорт, совместная предпринимательская деятельность и прямое инвестирование. Способы выхода на внешний рынок различаются в зависимости от уровня риска, величины затрат при вступлении на рынок,

доходности. Выбор способа выхода на внешний рынок должен обеспечить наилучшие условия функционирования для фирмы, исходя из мотивов выхода на внешний рынок, специфики товара, ее возможностей и состояния рынка. Прямое инвестирование является наиболее рискованным способом выхода на рынок. При этом фирма может лучше адаптироваться к условиям рынка, обеспечить меньшую себестоимость продукции за счет более дешевой рабочей силы или доступного сырья страны-реципиента, экономии на перевозках грузов, следовательно, обеспечить лучшие позиции на рынке.

Международная конкурентоспособность складывается из перечня стратегических преимуществ, которые выявляются на мировом рынке путем сопоставления с соответствующими показателями зарубежных конкурентов.

Чем больший у предприятия набор преимуществ и выше их качественные характеристики, тем больше оно имеет возможностей для успешной деятельности на мировом рынке.

Конкурентоспособность рассматривается на нескольких уровнях: товара, фирмы, отрасли и страны.

Конкурентоспособность товара представляет собой комплекс потребительских, качественных и ценовых характеристик товара, определяющих успех его реализации на внутреннем и внешнем рынках.

Фирмы применяют определенные методы конкуренции: на основе повышения качества, снижения цены товара, улучшения сервиса, снижения эксплуатационных затрат у потребителя товара. Акценты в конкурентной борьбе зависят от специфики продукции и предпочтений потребителей.

Ведущее место в международной торговле занимает продукция обрабатывающей промышленности, в объеме которой значительна доля машин, оборудования и транспортных средств. Наиболее динамичным

сектором международной торговли является обмен товарами наукоемких отраслей.

На мировом рынке наибольшее значение приобретают качество товара, его новизна, экологичность, наукоемкость при сохранении приемлемой цены товара.

В настоящее время большинство стран мира обеспечивают повышение товарной конкурентоспособности за счет использования инноваций. Качество продукции в значительной степени зависит от технического уровня производства, применения прогрессивных технологий. Повышается роль ресурсосберегающих технологий в обеспечении эффективности производства на основе снижения материалоемкости и энергоемкости продукции. Важным фактором конкурентоспособности на мировом рынке является производительность труда, которая влияет на уровень цены и прибыльности.

Конкурентоспособность фирмы определяется как сравнительная характеристика ее способности к комплексному наращиванию собственных конкурентных преимуществ для достижения превосходства в области производства и сбыта продукции, удовлетворяющей потребности рынка, обеспечения прибыльной деятельности. Факторами конкурентоспособности фирмы являются: характер инновационной деятельности, уровень производительности труда, эффективность управления, адаптивность, обеспеченность ресурсами, организация сбыта продукции, доля рынка, занимаемая фирмой. Основой обеспечения конкурентоспособности фирмы являются эффективное применение совершенных производственных процессов, повышение производительности труда, наилучшее использование возможностей рынка.

Конкурентоспособность отрасли влияет на успешность борьбы компаний данной отрасли на мировом рынке. Конкурентоспособность отрасли зависит от наличия и эффективности использования ресурсов, специфики производства, применяемых технологий, квалификации специалистов, уровня научно-го потенциала, емкости рынка сбыта.

В зависимости от конкурентоспособности конкретных отраслей экономики страны специализируются на производстве и экспорте определенной продукции на мировом рынке.

Конкурентоспособность страны определяет ее позиции на мировом рынке. Показатель конкурентоспособности стран, разработанный Мировым экономическим форумом, учитывает следующие агрегированные факторы: внутренний экономический потенциал, внешнеэкономические связи, государственное регулирование, кредитно-финансовая система, инфраструктура, система управления, научно-технический потенциал, трудовые ресурсы. [2]

Структура и направления торговли стран складываются под влиянием изменения конкурентоспособности их товаров на мировом рынке. Ведущую роль в международной торговле играют страны: США, Германия, Китай, Япония, Франция и др. Доля России в мировом экспорте в 2007 г. составила 2,6 %, в мировом импорте 1,6 %. Увеличиваются объемы товаропотоков на мировом рынке из новых индустриальных стран.

Важным критерием конкурентоспособности является объем спроса на товары. В этом аспекте представляет интерес анализ показателей внешней торговли стран: масштабы экспорта и его структура, доля страны в мировом экспорте, сальдо торгового баланса, сальдо по отношению к каждому из центров международной торговли, сальдо в разрезе товарных групп.

Страны специализируются на производстве и экспорте продукции отраслей и сегментах рынка, где производители более конкурентоспособны, а импортируют товары и услуги, по которым преимущества имеют производители других стран.

Среда в стране базирования является основой для достижения успеха в международной конкуренции. Формирование конкурентных преимуществ зависит от системы факторов, которые создают благоприятную или неблагоприятную среду для их достижения и удержания. Согласно теории М. Портера, среду формируют четыре детерминанта: факторные условия, условия спроса, родственные и поддерживающие отрасли, стратегия фирм и их соперничество.

Наделенность страны факторами производства, несомненно, влияет на конкурентные преимущества предприятий страны. Од-

нако получение конкурентного преимущества прежде всего зависит от эффективности использования факторов производства, что определяется применяемой технологией и направлением использования ресурсов. Устойчивых позиций на рынке можно достичь на основе преимуществ высокого порядка: передовой технологии, квалифицированных специалистов, уникальности продукции и т.д.

На формирование конкурентных преимуществ важное влияние оказывает спрос внутреннего рынка. Специфика спроса определяет характер и скорость внедрения новаций. Емкость рынка предопределяет возможность использования эффекта масштаба, а насыщение рынка стимулирует выход фирмы на внешний рынок и вынуждает совершенствовать товар и обновлять ассортимент.

Существенным аспектом является воздействие государственного регулирования на конкурентоспособность, которое осуществляется путем формирования конкурентной среды, усиления факторных условий, влияния на параметры спроса. Развитию экспорта страны способствует система поддержки со стороны государства. Страны используют различные стратегии в отношении государственного поощрения экспорта. Наряду с созданием благоприятных макроэкономических условий для экспортеров используются меры стимулирования экспортного производства и расширения экспорта. К таким мерам относятся налоговые и таможенные льготы, информационно-консультационное содействие, кредитование экспортеров и зарубежных покупателей, финансирование перспективных инвестиционных проектов.

Системой обеспечения конкурентоспособности фирмы является эффективное управление, направленное на применение ресурсов с максимальной эффективностью, оптимальное формирование стратегии, наилучшее удовлетворение потребностей рынка.

Разработка оптимальной стратегии является важнейшим условием успешной деятельности предприятия на рынке. Выбор стратегии осуществляется в зависимости от характера конкурентной борьбы, сильных и слабых сторон предприятия, характера спроса на продукцию.

Существуют следующие базовые стратегии конкуренции. Стратегия снижения издержек предполагает способность фирмы разрабатывать, производить и сбывать товар более эффективно, чем конкуренты, т.е. способность организовать весь цикл операций с товаром с меньшими затратами. Стратегия снижения издержек предполагает наличие следующих сильных сторон предприятия: высокий уровень технологической подготовки производства, передовые ресурсосберегающие технологии, оптимальные по размерам производства, доступ предприятия к дешевым ресурсам.

Стратегия дифференциации предполагает способность обеспечить покупателя уникальной и большей ценностью в виде нового качества товара, особых потребительских свойств или послепродажного обслуживания, что позволяет назначать при этом цену более высокую, чем у конкурентов. Конкурентным преимуществом предприятия является уникальность и высокое качество продукции. Предприятие должно обладать значительным научным потенциалом, иметь технологическое превосходство и высокий уровень развития маркетинга.

Кроме выбора типа преимущества перед предприятием стоит выбор диапазона (сферы) конкуренции: конкурировать на всем рынке или определенном его сегменте.

Стратегия сегментирования направлена на обеспечение преимуществ над конкурентами в обособленном сегменте рынка. Осуществляя стратегию сегментирования, предприятие должно обладать ресурсами и квалификацией, необходимыми для работы в данном сегменте.

Важными источниками конкурентных преимуществ являются способность быстрее внедрять новые продукты и разработки и возможность быстро реагировать на изменения потребительского спроса.

Условия международной конкуренции в разных отраслях различаются. Отрасли экономики можно разделить на многонациональные и глобальные. Многонациональные отрасли имеют специфические особенности в зависимости от страны пребывания, конкуренция в этих отраслях ограничивается наци-

ональным рынком. В этом случае для каждой страны разрабатывается соответствующая стратегия. Глобальные отрасли характеризуются минимальной спецификой спроса в зависимости от страны. В этих отраслях стратегические позиции конкурентов на данном национальном рынке зависят от их позиций на мировом рынке в целом. При функционировании в глобальных отраслях фирмы используют сходство рынков для получения преимуществ в конкуренции. В условиях глобальной конкуренции необходимо завоевать преимущество в стратегически важных странах с большой емкостью рынка и развитой инфраструктурой.

Таким образом, у фирмы, действующей на нескольких внешних рынках, существуют следующие стратегические альтернативы: глобальное лидерство по издержкам, предполагающее производство товара с наименьшими издержками при функционировании на глобальном рынке; глобальная стратегия дифференциации, которая предусматривает дифференциацию фирмой своего товара по одним и тем же характеристикам в разных странах; глобальная стратегия фокусирования; многонациональная стратегия, предполагающая разработку отдельной стратегии для каждой страны, учитывающая конкурентные условия рынка страны и предпочтения потребителей.

В дополнение к необходимости учитывать особенности деятельности в различных странах нужно использовать подход, предполагающий увеличение совокупного результата от функционирования на различных рынках и координировать деятельность на этих рынках.

Для обеспечения устойчивых позиций на мировом рынке необходимы: высокий уровень менеджмента, ориентация на использование инноваций, государственная поддержка, включающая создание благоприятного климата для повышения конкурентоспособности предприятий.

#### Библиографический список

1. Азоев, Г.Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика / Г.Л. Азоев. – М.: Центр экономики и маркетинга, 1996. – 208 с.
2. Андрианов, В.Д. Россия: экономический и инвестиционный потенциал / В.Д. Андрианов. – М.: ОАО «Издательство «Экономика», 1999. – 662 с.
3. Мировая экономика и международный бизнес: учеб. – 4-е изд., перераб. и доп. / под. общ. ред. В.В. Полякова, Р.К. Щенина. – М.: КноРус, 2007. – 681 с.
4. Пивоваров, С.Э. Международный менеджмент / С.Э. Пивоваров, А.И. Майзель, И.С. Пивоваров и др. – СПб.: Питер, 2000. – 256 с.
5. Портер, М. Международная конкуренция: конкурентные преимущества стран / М. Портер; пер. с англ. – М.: Международные отношения, 1993. – 895 с.
6. Цыпин, И.С. Мировая экономика: учеб. / И.С. Цыпин, В.Р. Веснин. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. – 248 с.
7. Юданов, А.О. Конкуренция: теория и практика / А.О. Юданов. – М.: Гном и Д, 2001. – 304 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОРПОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ФИНАНСОВОГО КРИЗИСА

М.А. КУЗНЕЦОВ, асп. фак-та «Инженерный бизнес и менеджмент МГТУ им. Н.Э. Баумана

*kuznecov@yandex.ru*

**В** условиях финансового кризиса важно выявить неэффективные направления деятельности корпорации, оптимизировать бизнес-процессы, повысить эффективность управления, сократить расходы, отыскать альтернативные источники финансирования.

По мере принятия антикризисных мер становится очевидным, что сокращение расходов не даст качественного обновления компаний в условиях кризиса и долгосрочных преимуществ в послекризисное время. Необ-

ходима существенная перестройка технологий бизнеса в пользу эффективных, внедрение программ, связывающих производство, торговлю, финансы в единую систему. Среди этих мер важное место занимает построение рациональной системы управления закупками, обеспечивающей выживание организаций в условиях финансового кризиса.

Система управления закупочной деятельностью корпораций нуждается в совершенствовании, так как отсутствуют четкие за-

конодательные требования, информационное обеспечение, единство отчетности в сфере регламентации закупок. В данной связи перед разработчиками и организаторами системы закупок стоит несколько задач: повысить ее эффективность, обеспечить информационную прозрачность, развивать корпоративное управление в данной сфере, исключить возможности для необоснованного ограничения конкуренции, обеспечить единство способов организации закупок, одинаковые формы отчетности и т.д.

В целях совершенствования централизованной системы закупок обычно создаются специальные бизнес-единицы, принимаются программы по организации закупочной деятельности по ряду направлений: планирование закупок, инфраструктура, подготовка кадров и др. Новая система закупок должна основываться на следующих принципах:

- единство возможных способов закупок, условий их выбора, нормативно-методической базы;
- использование в качестве основных способов закупок открытых конкурентных процедур;
- широкое применение электронных торговых площадок;
- повышение роли центрального комитета по управлению торговой деятельностью;

Опыт российских предприятий показал, что после введения данной системы резко увеличилось количество заключенных контрактов через конкурсы. Так, в 2007 г. количество закупок на конкурсах составило 924, а в 2005 г. – 749. [1, С. 165].

Эффективность системы регламентированных закупок наиболее полно характеризуют следующие показатели:

- количество заключенных договоров;
- общая стоимость предложений, по которым объявлялась закупка;
- общая стоимость заключенных договоров;
- цена одного контракта;
- затраты на организацию и проведение процедур [2, С. 147].

Корпоративное управление закупочной деятельностью осуществляется материн-

ской компанией через своих представителей в Советах директоров, на которые возлагается обязанность определять приоритетные направления развития акционерного общества на долгосрочную перспективу. Эффективная работа по утвержденным приоритетным направлениям возможна лишь при условии их объективной оценки с учетом рыночной ситуации, финансового состояния общества и других факторов.

Таким образом, через своих представителей в Советах директоров акционер определяет основные расходы по каждому направлению деятельности общества и средства на их покрытие. Причем осуществляется это не в форме приказов материнской компании, а путем юридически правильно оформленного корпоративного управления.

Разработка четкого перечня процедур: конкурс, запрос предложений и цен, конкурентные переговоры и другие, способствует повышению качества корпоративного управления торгово-закупочной деятельностью корпорации.

Преимущественными способами закупок должны быть открытые конкурентные процедуры, в которых может принять участие любой желающий. Современный порядок закупок представляет собой баланс между жесткой регламентацией для типичных ситуаций и свободой принятия адекватных управленческих решений исполнительным аппаратом или Советом директоров для нестандартных случаев. В любом случае решения принимаются в рамках единой корпоративной политики, нацеленной на эффективные закупки, а различные способы закупок позволяют приобретать любую продукцию (товары, работы, услуги).

Регламентация закупочных процедур обычно начинается с закупок на сумму двести тысяч рублей без налога на добавленную стоимость. На меньшую, организация вправе закупать любыми способами. При этом заказчику запрещается намеренно дробить закупки, чтобы вывести их из-под регламентации. Применяя данную норму, следует учитывать общие объемы закупок по какой-либо номенклатуре в пределах одного финансового периода: квартала – если продукция закупается

эпизодически или финансирование закупок планируется только в пределах ближайшего квартала – и года, если продукция постоянной номенклатуры.

Конкретная организация может установить и иную предельную сумму, но она не должна превышать порогового значения, которое иногда воспринимается как запрет применять конкурсы для закупок на сумму менее пороговой, однако это неверно. При проведении закупки на сумму менее пороговой заказчик может объявить формальные процедуры, предусмотренные Типовым положением для регламентации закупок, если сочтет это целесообразным.

Регламентированные способы закупок подразделяются на конкурентные и неконкурентные. Все неконкурентные способы называются закупкой у единственного источника. Это способ закупки, при котором организатор направляет предложение о заключении договора конкретному поставщику, либо принимает предложение о заключении договора от одного поставщика без рассмотрения конкурирующих предложений.

Из конкурентных способов закупок чаще всего используются запрос предложений и цен, конкурентные переговоры, конкурс. Кроме того, закупка может проводиться путем участия заказчика в аукционах, конкурсах или иных процедурах, организуемых продавцами продукции (в т.ч. на виртуальных электронных торговых площадках в сети Интернет). Как правило, это происходит в условиях дефицита продукции, когда спрос на нее превышает предложение.

В любом случае, если сумма закупки более двухсот тысяч рублей, то по умолчанию должен проводиться открытый одноэтапный конкурс. Все остальные способы могут применяться только при наличии одновременно двух условий: во-первых, имеются основания для применения данного способа и, во-вторых, есть разрешение на его применение для конкретной ситуации от Совета директоров.

Большинство способов закупок могут быть открытыми и закрытыми, одно-, двух- и многоэтапными, с предварительным квалификационным отбором или без такового.

Ключевым моментом управления закупочной деятельностью является системный подход, предусматривающий наличие взаимосвязанных и совместно работающих элементов организации корпоративных закупок. Универсальная система управления закупками включает ясно выраженную волю руководства, регламентирующую среду, контроль и координацию, профессиональные кадры, налаженную отчетность, информационное обеспечение.

Главный элемент системы – ясно выраженная воля руководства относительно безусловной регламентации закупок.

Второй важный элемент – регламентирующая среда. Правила проведения процедур на всех стадиях закупочного процесса должны быть ясно изложены и закреплены документально в соответствии с целями и задачами закупающей организации без нарушения действующего законодательства.

Третий важнейший элемент – контроль и координация. Сами по себе правила закупок не обеспечат эффективной работы, если не будет четкой постановки задач и контроля за их исполнением. Не случайно в корпорациях созданы центральные закупочные органы (ЦЗО), вместе с советами директоров являющиеся центрами управления закупочной деятельностью.

Четвертое слагаемое – кадры. Правильно организовать закупки невозможно без квалифицированных специалистов. Поэтому нужно быть готовым к росту расходов на персонал.

Пятый элемент – отчетность, которая необходима для осуществления контроля и оценки эффективности работы.

Последний элемент системы – информационное обеспечение. Главную роль в нем играют современные средства обмена информацией, прежде всего Интернет. Поэтому приоритетной задачей является внедрение и развитие электронных систем закупок, в первую очередь электронных торговых площадок в сети Интернет. Электронная торговая площадка должна быть частью корпоративной информационной системы.

Корпоративная информационная система (КИС), поддерживает оперативный

и управленческий учет на предприятии и поставляет информацию для принятия управленческих решений. КИС включает две группы подсистем: функциональные и обеспечивающие.

К функциональным относятся подсистемы технико-экономического планирования, оперативного управления основным производством, стратегического планирования, маркетинга, материально-технического снабжения и сбыта, технической подготовки производства, бухгалтерского учета.

Основными видами обеспечивающих подсистем являются подсистемы технического, математического, информационного обеспечения, с помощью которых поддерживаются потоки компьютерной информации по закупкам.

Системы стандартов по организации и управлению закупочной деятельностью, подготовки кадров для осуществления закупок, позволили добиться огромных успехов. Однако даже столь отлаженный комплекс столкнулся с целым рядом организационных трудностей и ограничений дальнейшего развития, обусловленных несколькими факторами:

- резким ростом объемов и числа проводимых конкурентных закупок;
- увеличением числа участников рынка;
- высокой трудоемкостью и стоимостью организации и проведения закупок (затраты на приобретение товаров, работ, услуг в настоящее время составляют примерно 50 % совокупных издержек корпорации [4, С. 10]);
- ограниченными информационными возможностями, не обеспечивающими прозрачность процедур закупок и вследствие этого допускающими разброс цен по аналогичной продукции, закупаемой на конкурсной основе различными организациями.

Чтобы устранить влияние этих факторов, необходим эффективный инструмент, позволяющий снизить трудоемкость закупочных процедур и предоставить организаторам и участникам торгов единое информационное пространство, обеспечивающее прозрачность закупок. Таким инструментом стало использование систем и технологий ERP (Enterprise Resource Planning). Комплексным

ERP-решением, позволяющим не только автоматизировать управление бизнесом, но и существенно расширить возможности развития, улучшить взаимодействие с деловыми партнерами и клиентами является Microsoft Dynamics AX (Microsoft Axapta).

Axapta охватывает весь спектр бизнес-процессов компании, включая производство и дистрибуцию, управление цепочками поставок и проектами, взаимоотношениями с клиентами и персоналом, финансовый менеджмент и средства бизнес-анализа.

Axapta создавалась как революционный продукт, предусматривающий возможность трехуровневой работы, объектно-ориентированный язык, полную поддержку Windows, инструменты для web-разработки, динамически рисуемые окна и отчеты (MorphX), технологию функциональных ключей. В системе Axapta почти сразу отказались от поддержки систем управления баз данными (СУБД) собственного формата и оставили только MS SQL и Oracle. В системе появились новые модули типа Balanced Scorecard (Система взаимосвязанных показателей).

ERP-система Axapta является эффективным инструментом построения единого информационного пространства, основанного на интегрированной базе данных, обеспечивает прозрачность информации, оперативное получение сотрудниками компании и руководством достоверных данных, возможность работы с клиентами в режиме реального времени.

Система имеет собственную трехуровневую архитектуру клиент-сервер, предоставляющую возможность работы через собственные WEB-, WAP- и Windows-интерфейсы. У системы Axapta уникальная многослойная структура бизнес-логики приложения, обеспечивающая высокую надежность при внесении изменений и резко снижающая затраты на обновление.

Функциональные возможности системы Axapta:

- полностью реализованное ядро MRPII. Система полностью способна взять на себя функции планирования производственной программы и закупочной деятельности;

– производственный контур, функциональность которого позволяет контролировать процесс прохождения заказа от расчета потребностей в материалах и ресурсах до появления готовой продукции;

– логистический контур, который поддерживает процессы получения товаров от внешних поставщиков и из внутренних источников;

– финансовый контур, позволяющий за счет высокой степени интегрированности формировать бухгалтерские проводки автоматически при регистрации хозяйственных операций в других модулях;

– ориентация на Интернет;

– многоязычность/мультивалютность;

– поддержка корпоративных и территориально распределенных структур, которые ведут свой учет, возможно, со своим планом счетов, структурой финансовой аналитики и разной валютой;

– ведение учета в нескольких стандартах. Если требуется вести учет в определенных стандартах (МСФО, IAS), Ахартa поддерживает трансляцию из данных, накопленных на бухгалтерских регистрах, в новый план счетов с учетом финансовых аналитик;

– управление персоналом;

– средства анализа данных:

1) средства Balanced Scorecard (система сбалансированных показателей), позволяющие наглядно представить ключевые показатели деятельности;

2) встроенные средства OLAP, многомерного анализа данных;

3) широкий спектр стандартных отчетов;

4) генераторы международной и российской финансовой отчетности – для получения финансовых отчетов только путем настройки;

5) произвольные отчеты любой сложности.

– поддержка проектного метода организации работы;

– управление взаимоотношений с клиентами. Модуль CRM (Customer Relationship Management) позволяет получить максимальный эффект от интеграции ERP и CRM: помимо информации, которая ведется в ав-

тономной CRM-системе, менеджер получает доступ ко всем отношениям с клиентом, включая договора, заказы и оплаты.

Технологические возможности системы Ахартa:

1. СУБД:

– MS SQL Server;

– Oracle.

2. Средства разработки:

– объектно-ориентированный язык X++ из семейства языков Java, ориентированный на работу с SQL;

– разделение разработок на различных уровнях (международный, российский, вертикальных решений и модификаций клиента) реализовано через слои;

– средства визуального моделирования.

3. Возможности интеграции с внешними приложениями:

– поддерживается импорт из текстового файла, CSV-файла, MS Excel;

– поддерживается экспорт в MS Excel, MS Word, текстовый файл, CSV-файл;

– интеграция через открытые стандарты взаимодействия (XML, Commerce Gateway);

– разделение доступа к общим данным средствами СУБД.

4. Разграничение прав доступа:

– Ахартa позволяет разграничить доступ к таблицам целиком или определенным полям, отдельным записям таблицы (контроль на уровне записей), отчетам, запросам, по уровням (просмотр, правка, удаление), к операциям обработки данных;

– защита от ввода заведомо неверных данных программными средствами и средствами СУБД,

– протокол действий пользователя в системе.

Использование информационной системы Ахартa позволяет ликвидировать основные недостатки, свойственные традиционным способам организации конкурентных закупок. Так, обеспечивается полная информационная прозрачность и равная доступность сведений о торгах для всех участников рынка, сокращаются временные нормативы на проведение основных

операций и сделок, снижаются трудозатраты на поиск, заключение и реализацию транзакций, появляется возможность контролировать все проводимые в ходе торгов операции, индикативировать цены, автоматизировано формировать аналитические материалы о результатах торгов.

Нельзя сказать, что в условиях финансового кризиса ситуация складывается исключительно против корпораций. Имеются также и благоприятные факторы.

Среди них снижение цен на ресурсы, улучшение отношений с поставщиками, которые в условиях кризиса более открыты к диалогу, предоставляют отсрочки платежей, ведут переговоры с традиционными самыми

трудными партнерами – девелоперами, оперативно реагируют на запросы покупателей, укрепляют межотраслевые связи.

Представляется, что именно те параметры, которые зададут новую модель развития системы конкурентных закупок, помогут благополучно пережить кризис и начать рост в новом экономическом цикле.

#### Библиографический список

1. Смоляков, А.В. Служба сбыта в российских компаниях: организация работы, финансирование, планирование результатов / А.В. Смоляков. – М.: Вершина, 2007.
2. Эффективность управления корпоративными закупками. Опыт РАО «ЕЭС России»/ Под общ. ред. Г.А. Суходольского. – М.: Вершина, 2007.

## ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ В MES-СИСТЕМЕ

М.Р. АЛЯУТДИНОВ, *асп. каф. экономики и организации внешних связей МГУЛ*

*caf-econvnesh@mgul.ac.ru*

**Д**ля реализации комплекса автоматизированных рабочих мест системы оптимального оперативного управления производством деталей корпусной мебели необходимо использование новейшего инновационного программного обеспечения.

На многих мебельных предприятиях уже сделан первый шаг – приобретено современное оборудование. Однако даже современные станки и налаженные рынки сбыта не страхуют предприятия от убытков, связанных с нечетким управлением и отсутствием корпоративной системы учета продукции. Как оптимально рассчитать загрузку производственных мощностей, чтобы выполнить в срок все заказы? Каким образом можно быстро получить информацию о реальной себестоимости изделия? Сколько нужно произвести продукции, чтобы быстро реагировать на спрос, но при этом не допустить затоваривания складов? Насколько выгоден с учетом всех затрат тот или иной вид продукции? На эти и множество других вопросов очень сложно отвечать, не имея на предприятии современной системы автоматизации бизнес-процессов.

Сегодня большинство предприятий отрасли используют «лоскутную» автоматизацию. То есть бухгалтерия и финансы ведутся в одной системе, планирование – в другой, отношения с клиентами – в третьей и т.д. Внедрение интегрированной корпоративной информационной системы дает мебельному предприятию много преимуществ. Например, они получают возможность быстрее реагировать на запросы клиентов. Когда на рынке острая конкуренция, важно иметь возможности для оперативного расчета себестоимости, планирования загрузки производственных мощностей и расчета необходимых материалов. Очень часто войну за клиента выигрывает тот, кто «стреляет первым». Без современной системы управления этого достичь очень сложно. Поэтому среди мебельных предприятий системы класса ERP и MES пользуются все большей популярностью. Нет необходимости бояться этих замысловатых аббревиатур. Они лишь помогают управленцам сориентироваться в многообразии корпоративных программных продуктов.

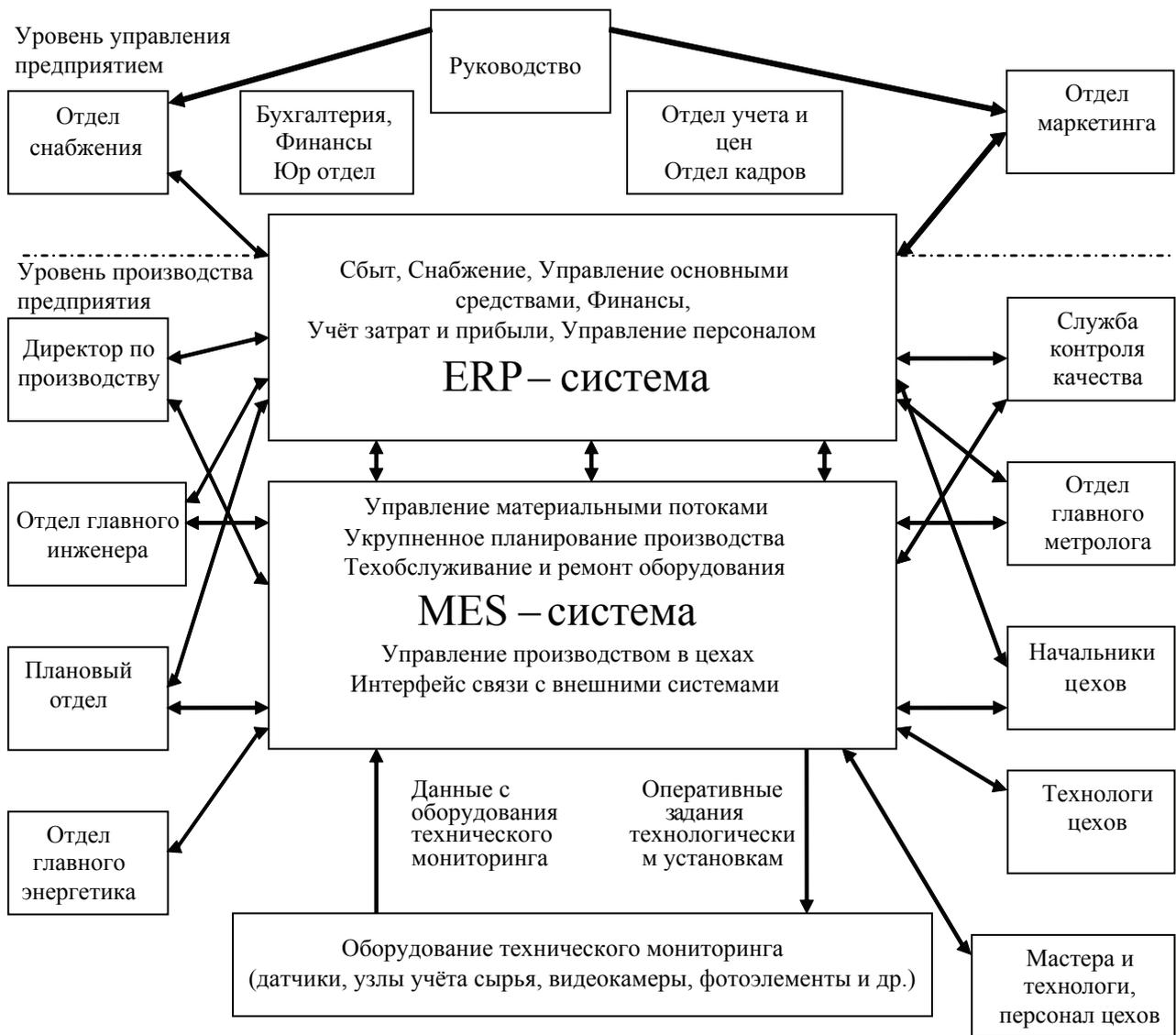


Рисунок. Базовая схема MES-системы с основными рабочими модулями

Одно из популярных понятий в области управления это – **ERP (Enterprise Resources Planning, планирование ресурсов предприятия)**. В основе ERP лежит единая информационная система, охватывающая все бизнес-процессы предприятия, включая финансы, производство, отношения с клиентами и поставщиками, складской учет, логистику, дистрибуцию и многое другое.

**MES (Manufacturing Execution System, оперативное управление производством)**. Данная система заполняет разрыв между системами класса ERP и производственными процессами (АСУТП) (рисунок). То есть выстраивает на предприятии единую информационную систему, охватывающую все участки от бухгалтерии до систем опти-

мизации распилов (Holzma, Giben, Shceer, Schelling и т.д.) и CAD-систем.

**MES** – автоматизированная система управления и оптимизации производственной деятельности, которая в режиме реального времени:

- иницирует,
- отслеживает,
- оптимизирует,
- документирует

производственные процессы от начала выполнения заказа до отгрузки готовой продукции заказчику.

На основе анализа огромного массива данных MES помогает руководителю оперативно найти наиболее эффективное решение. Подобные системы осуществляют

производственные задания с меньшими издержками и при оптимальной загрузке производственных мощностей. Повышение эффективности и гибкости, сокращение времени производственного цикла и уменьшение брака – это лишь некоторые результаты применения MES.

Используя данные уровней планирования и контроля, MES-системы управляют текущей производственной деятельностью в соответствии с поступающими заказами, требованиями конструкторской и технологической документации, актуальным состоянием оборудования, преследуя при этом цели максимальной эффективности и минимальной стоимости выполнения производственных процессов.

За счет быстрой реакции на происходящие события и применения математических методов компенсации отклонений от производственного расписания, MES-системы позволяют оптимизировать производство и сделать его более рентабельным. Опираясь исключительно на производственную информацию, позволяют корректировать либо полностью перерассчитывать производственное расписание в течение рабочей смены столько раз, сколько это необходимо.

Также стоит отметить возможность постоянной модернизации и совершенствования MES-систем, путем добавления в их программную среду новых модулей и установки регулярно выходящих обновлений.

### Основные функции MES

Международная ассоциация производителей систем управления производством определила одиннадцать типовых обобщенных функций MES систем.

**(RAS) Контроль состояния и распределение ресурсов** – управление ресурсами производства: технологическим оборудованием, материалами, персоналом, документацией, инструментами, методиками работ.

**(ODS) Оперативное / Детальное планирование** – расчет производственных расписаний, основанный на приоритетах, атрибутах, характеристиках и способах, связанных со спецификой изделий и технологией производства.

**(DPU) Диспетчеризация производства** – управление потоком изготавливаемых деталей по операциям, заказам, партиям, сериям, посредством рабочих нарядов.

**(DOC) Управление документами** – контроль содержания и прохождения документов, сопровождающих изготовление продукции, ведение плановой и отчетной цеховой документации.

**(DCA) Сбор и хранение данных** – взаимодействие информационных подсистем в целях получения, накопления и передачи технологических и управляющих данных, циркулирующих в производственной среде предприятия.

**(LM) Управление персоналом** – обеспечение возможности управления персоналом в ежеминутном режиме.

**(QM) Управление качеством продукции** – анализ данных измерений качества продукции в режиме реального времени на основе информации, поступающей с производственного уровня, обеспечение должного контроля качества, выявление критических точек и проблем, требующих особого внимания.

**(PM) Управление производственными процессами** – мониторинг производственных процессов, автоматическая корректировка либо диалоговая поддержка решений оператора.

**(MM) Управление техобслуживанием и ремонтом** – управление техническим обслуживанием, плановым и оперативным ремонтом оборудования и инструментов для обеспечения их эксплуатационной готовности.

**(PTG) Отслеживание истории продукта** – визуализация информации о месте и времени выполнения работ по каждому изделию. Информация может включать отчеты: об исполнителях, технологических маршрутах, комплектующих, материалах, серийных номерах, произведенных переделках, текущих условиях производства и т.п.

**(PA) Анализ производительности** – предоставление подробных отчетов о реальных результатах производственных операций. Сравнение плановых и фактических показателей.

Для решения специфических узконаправленных задач планирования производства существует технология **APS (Planing and Scheduling, расширенное планирование производственных заданий)**. Особенно эффективно ее применение в условиях ограниченности мощностей и ресурсов предприятия.

Немаловажную роль играет такое направление, как **SCM (Supply Chain Managment, управление цепочками поставок)**. Технологии SCM автоматизируют весь цикл: «поставщик–транспорт–производство–хранение–распространение–заказчики», что дает возможность доставлять необходимый товар в нужное место точно в срок и с минимальными издержками.

Главными задачами в управлении мебельным предприятием являются оптимизация производственных ресурсов и складских запасов, а также возможности для оперативного принятия решений. Отраслевые эксперты по IT считают, что порог по загрузке мощностей, который нельзя преодолеть без применения современных технологий управления, находится на отметке примерно 60 %.

«Идеальная система» для мебельного предприятия должна учитывать такие особенности жизненного цикла, характерные для предприятий мебельной отрасли, как немедленный расчет стоимости изделия, соблюдение точных сроков поставки, поддержка резервирования комплектующих под заказ.

На рынке производства мебели действуют как компании, выпускающие серий-

ную продукцию, так и работающие под заказ. Соответственно различается организация производства на таких предприятиях. Общей особенностью является работа с большим количеством вариантов изделий. То есть один и тот же стол может продаваться со столешницей из дуба, из красного дерева, из мрамора и т.д. Хорошая система должна работать с неограниченным числом вариантов изделия и создавать производственные задания на основе заказов с помощью автоматической обработки вариантных технологических карт.

Кроме того, она должна позволять задавать для каждого изделия соответствующие исходные материалы, фурнитуру, операции по производству; работать с различными параметрами исходных материалов (тип, цвет, размеры и пр.); работать с многочисленными параметрами полуфабрикатов и конечных изделий; вводить в систему описание характеристик новых элементов, не содержащихся в настраиваемой базе знаний; моделировать новое изделие на основе введенных в систему элементов; решать часть задач по проектированию нового изделия; описывать технологию создания нового изделия; рассчитывать цены и сроки поставки в процессе ввода заказов.

Безусловно, каждое предприятие внутри мебельной отрасли имеет свои уникальные особенности, однако гибкость и функциональность современных информационных технологий позволяют для каждого случая создать оптимальное решение.

## ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЕ ОКРУЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСНОГО СЕКТОРА И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

А.А. ПЕТУНИН, *Финансово-экономическая академия им. А.В. Хрулева*

*ystos777@yandex.ru*

Лесной сектор экономики России представлен большим количеством отраслей: лесное хозяйство, лесозаготовительная промышленность, лесопильно-деревообрабатывающее производства, мебельная промышленность, производство разнообразных листовых плитных материалов (фанера, ДВП,

ДСП, и др.), целлюлозно-бумажная промышленность, лесохимическая и другие виды производств.

Предприятия лесного сектора производят свыше 3000 наименований продукции, оказывают разнообразные услуги: рекреационные, защитные, санитарно-гигиенические и др.

Т а б л и ц а 1

**Динамика экспорта лесобумажной продукции из Российской Федерации**

Показатели	1990	1995	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Круглый лес, млн м <sup>3</sup>	15,0	18,4	20,0	30,8	31,7	36,8	37,4	41,8	48,3	51,1
Пиломатериалы, млн м <sup>3</sup>	7,1	5,9	4,7	7,7	7,7	9,0	10,5	12,6	14,8	15,9
Фанера, тыс. м <sup>3</sup>	324	678	736	974	1031,5	1157,5	1201	1438	1527	1577,3
Древесностружечные плиты, тыс. м <sup>3</sup>	115,0	169,0	96,4	134,0	155,0	146,6	185,0	219,0	242,0	296,0
Древесноволокнистые плиты, тыс. м <sup>3</sup>	138	173	256	278	206	243	264	284	380,1	448
Целлюлоза товарная, тыс. т	389	1332	1056	1660	1786	1885	1916	1866	1946	1918
Бумага и картон, тыс. т	906	1815	1761	2293	2350	2458	2459	2707	2737	2701
Мебель, млн долл. США	50,0	67,0	50,0	85,6	100,0	102,6	144,8	217,7	240,0	301,1

Т а б л и ц а 2

**Баланс производства, потребления, экспорта и импорта основных видов лесоматериалов Российской Федерации за 2006 г.**

Показатели	Производство	Экспорт	Импорт	Внутреннее потребление
Круглый лес, млн м <sup>3</sup>	1 86,3	51,1	0,5	135,7
Пиломатериалы, тыс. м <sup>3</sup>	22127,5	15905	15	6237,5
Фанера, тыс. м <sup>3</sup>	2614,0	1577,3	46,4	1083,1
Древесностружечные плиты, тыс. м	4717,5	296	788	5209,5
Древесноволокнистые плиты, тыс. м <sup>3</sup>	1452,2	448	668	1672,2
Целлюлоза товарная, тыс. т	2381	1918	56	519
Бумага и картон, тыс. т	7434	2701	1221	5954

Институциональное окружение таких разнородных (при их определенной общности) производств, как лесовыращивание, производство картона или мебели, также значительно отличается. Тем не менее в эру институциональной глобализации экономики вызовы и угрозы для коммерческой деятельности предприятий лесного сектора имеют много общего.

Как известно, в России находится свыше 21 % мировых запасов и свыше 15 % ежегодного мирового прироста древесины. Однако использование этого прироста составляет в целом по РФ менее 20 % по сравнению с 55–80 % в наиболее развитых странах. Низкая степень использования этих воспроизводимых ресурсов означает не только потерю потенциального дохода, но и ухудшение экологии в связи с ростом опасности лесных пожаров, усыхания и заболевания лесов (перестойные леса не очищают, а загрязняют атмосферу).

По площади коммерческого использования леса Россия занимает лишь 20 место в Европе, в то время как лидирующее положение здесь занимают Швеция, Финляндия, Испания, Украина и Беларусь, на

много уступающие России по площади. На американском континенте по площади коммерческого леса первые места занимают Канада (2450 тыс. км<sup>2</sup>), США (1956 тыс. км<sup>2</sup>) и Перу (234 тыс. км<sup>2</sup>), в Азии – Индонезия (910 тыс. км<sup>2</sup>), Индия (245 тыс. кв. км) и Австралия [2].

По запасам древесины (млн м<sup>3</sup>) первые места в мире занимают Россия (81,9), Бразилия (71,8), США (30,8), Канада (29,4). В Швеции, Финляндии, Германии, Франции эти запасы на порядок меньше (1,9–2,9 млн м<sup>3</sup>). По ежегодному приросту древесины (млн м<sup>3</sup>) Россия занимает второе место в мире (1 млрд) после Бразилии (2138 млн м<sup>2</sup>), значительно превосходя США (694), Канаду (228), Швецию, Финляндию, ФРГ и Францию (по 72–92). Особенно велико преимущество России по ежегодному приросту хвойной древесины (770 млн м<sup>3</sup> по сравнению с 386 – в США, 158 – в Канаде, 110 – в Бразилии и 128 – в Швеции и Финляндии вместе взятых).

В то же время по вывозке древесины (млн м<sup>3</sup>) Россия занимает лишь 4 место в мире (186), уступая США (500), Бразилии (235), Канаде (187). Слабо используется лис-

твенница – основная лесообразующая порода Сибири и Дальнего Востока, обладающая высокой прочностью и стойкостью к загниванию, меньшим расходом при переработке на целлюлозу (в связи с высокой плотностью), высокими декоративными качествами при производстве мебели, высоким содержанием ценных водорастворимых химикатов и дубильных веществ (в т.ч. в коре).

По данным Всемирного фонда дикой природы, 30 % леса на сумму 1 млрд долл. заготавливается в России нелегально, с нарушением всех экологических норм. Как отмечалось на международном форуме «Лесопромышленный комплекс России в XXI веке», стоимость экспорта леса из России без ущерба для его сохранения может быть увеличена с 5 до 30–40 млрд долл. в год (в 2006 г. было экспортировано 511 млн м<sup>3</sup>, табл. 1 и 2 [4]).

Сложившаяся в стране структура экспорта лесопродукции крайне неэффективна. Отправляя на экспорт более четверти необработанного круглого леса, Россия недополучает огромные средства, что является прямой угрозой экономической безопасности страны.

До сих пор не найдено решение проблемы нелегальных рубок леса, хотя очевидно вовлечение в этот «бизнес» огромного числа прикрывающих его людей, т.к. автобусы и вагоны с древесиной не спрячешь в карман.

В связи с этим целесообразно ввести страхование лесного фонда, сертификацию и строгий учет заготовленного леса, рентные платежи, используемые на содержание леса и как источник доходов, прежде всего местных бюджетов. До сих пор плата за лес на корню все еще очень низка и не превышает, как правило, 10 % его рыночной стоимости. Из-за низкой цены сырья, большого разрыва между экспортными и внутренними ценами, нерациональной тарифной политики экспорт круглого леса, особенно из приграничных районов, оказывается более выгодным, чем его переработка. При этом даже максимальная доля вырубленной расчетной лесосеки (на северо-западе России) не превышает 40 % по сравнению с 53 % в Канаде

и 66 % в Швеции. Более половины леспромов убыточны, а у остальных рентабельность из-за использования отсталых трудоемких технологий не превышает 2–3 %, что недостаточно для закупки нового оборудования [2].

Следует также констатировать, что использование лесного фонда России весьма неэффективно. Из 82 млрд м<sup>3</sup> растущей древесины 44 млрд, т.е. более половины – спелые и перестойные насаждения [1], которые необходимо вовлекать в рубку и заменять молодыми лесами: они гораздо более эффективно влияют на окружающую среду, быстрее растут и т.д. В 2006 г. процент освоения расчетной лесосеки в лесах, находящихся в ведении Рослесхоза, достиг 21,5 % [1].

Можно выделить следующие проблемы, мешающие эффективному использованию лесного фонда:

- отсутствие надежной защиты и четкого распределения прав собственности: действующий с 2007 г. Лесной кодекс хотя и не предусматривает частной собственности, однако лесные участки, передаваемые в ведение различных ведомств и сельскохозяйственных организаций, используются порой не по назначению, попадают в частную собственность;

- отсутствие рентных платежей за пользование лесными ресурсами и механизма эффективного финансирования восстановления лесов;

- рост, особенно в приграничных регионах, масштабов незаконной и хищнической рубки и экспорта леса;

- низкое качество и конкурентоспособность лесной продукции из-за высокой (до 80 %) степени износа технологического оборудования, недостаточных инвестиций, отсутствия системы контроля качества.

Принятие нового Лесного Кодекса до сих пор не позволило четко разграничить полномочия и ответственность за охрану и воспроизводство лесных ресурсов между федеральной и региональной властью, местным самоуправлением, хозяйственными субъектами, недопустимо велики потери от лесных пожаров, что проявилось весной 2008 г.

Следует также констатировать, что ЛПК России не готов к вступлению в ВТО, по конкурентоспособности он значительно уступает Швеции, Финляндии и другим странам. С 2005 г. ЕС потребовал полной сертификации и санитарной обработки (дезинфекция, пропитка под давлением, термообработка) импортного леса для уничтожения вредных насекомых.

Однако введение в 2008 г. «загрязнительных» (15 евро/м<sup>3</sup>), а с 2009 г. «запретительных» (50 евро/м<sup>3</sup>) таможенных пошлин на экспорт круглого леса в РФ частично решает проблему экспорта необработанной древесины. Более или менее конкурентоспособной остается продукция целлюлозно-бумажной и фанерной отраслей лесного сектора.

Основной экономической предпосылкой, подтверждающей возрастание роли лесного сектора, является постоянно растущий спрос на лесопroduкцию. В целом мировой экспорт круглого леса, пиломатериалов, фанеры, древесных плит, целлюлозы, бумаги и картона составил в 2006 г. почти 200 млрд долл. США. Выполненные под эгидой Европейской Комиссии по лесоматериалам при ООН и Всемирной продовольственной организацией (ФАО) работы по оценке спроса на продукцию лесного сектора прогнозируют увеличение потребления до 2020 г. не только по древесине, но и по всему спектру изделий из нее [4]. Уже к 2015 г. спрос на основные виды лесобумажной продукции на мировом рынке возрастет по деловой древесине на 12 %, по пиломатериалам на 10 %, по фанере и плитам в 2,1 раза, по бумаге и картону в 1,6 раза.

Несмотря на то, что на долю России приходится почти четверть мировой площади лесов, следует иметь в виду, что ни площади, ни запасы лесов еще не определяют потенциальные возможности устойчивого пользования лесными ресурсами, в т. ч. древесными. О последнем можно в большей степени судить по годовичному приросту (970 млн м<sup>2</sup>), который для России составляет 28 % от суммарного прироста всех лесов мира. Однако и для этого показателя важна лишь экономически доступная его часть, т.е.

транспортно освоенная и безубыточная для заготовки и поставки на рынки сбыта.

Одной из проблем для лесного сектора экономики России является то, что 89,5 % площади лесов находятся в многолесных районах, включая Северо-Западный регион, а также Сибирь и Дальний Восток, в которых проживает 31,5 % населения. Остальные 10,5 % площади лесов приходятся на регионы Центра, Юга, Поволжья и Урала, где проживает 68,5 % населения. Именно на эти леса приходится «эпицентр» внутреннего лесопотребления: две трети всего товарооборота страны сосредоточено в этих регионах [5].

Соответственно по тяготению к рынкам сбыта названные выше две группы регионов существенно различаются: многолесные ориентированы преимущественно на внешнего потребителя, малолесные и среднелесистые в Европейской части России – преимущественно на внутренних потребителей. Различия по ориентации на рынки сбыта определяют и разный для этих регионов характер институционального окружения предприятий лесного сектора экономики. В процессе совершенствования нового Лесного кодекса, пакета законов, регулирующих использование лесных ресурсов и промышленную политику России, в связи с этим целесообразно выделить и усилить следующие основные положения:

– определение в качестве главной цели национальной лесной политики увеличения к 2020 г. годового объема производства и экспорта лесопромышленной продукции до 30 млрд долл. (2001 г. – 4,3 млрд долл.) за счет увеличения рубки леса до оптимальных размеров и расширения производства конечной продукции с высокой добавленной стоимостью (высококачественный картон, мелованная, офисная и специальная бумага, современная мебель, стройматериалы и другие изделия глубокой переработки), выпуска новых наукоемких видов продукции на вновь создаваемых гибких производствах;

– завершение разработки механизма более четкого разграничения хозяйственных и государственных контрольно-управленческих функций в лесном хозяйстве,

– введение сертификации и маркировки лесной продукции с учетом мирового опыта и итогов эксперимента, проводимого в Иркутской области, что позволяет разработать единую методологию учета объемов экспорта лесной продукции;

– развитие и законодательное определение статуса некоммерческих саморегулируемых организаций (союзов и ассоциаций лесопромышленников), устанавливающих и контролируемых правила деловой этики и конкуренции, условия поставки и требования к качеству продукции, оказывающие своим членам информационные услуги, защищающие корпоративные интересы в органах власти и СМИ;

– резкое повышение производительности труда за счет коренной технической реконструкции, повышения уровня концентрации и специализации производства, восстановления разрушенной системы подготовки рабочих высокой квалификации. (Производительность труда в российской ЦБП в 7–10 раз ниже мирового уровня, 80 % персонала занято во вспомогательных и обслуживающих производствах, тогда как за рубежом эти функции выполняют специализированные фирмы на контрактной основе).

– принципиальное изменение механизма стимулирования, ориентация на увеличение доли глубокой переработки сырья и суммы инвестиций в лесопромышленный комплекс (до 2,5–3 млрд долл. в год). Однако для этого необходим целый ряд соответствующих мер:

– отмена таможенных вывозных пошлин на продукцию глубокой переработки;

– применение нулевой ставки пошлины на ввоз технологического оборудования, не имеющего российских аналогов;

– налоговый кредит при приобретении нового оборудования на срок его монтажа и ввода в эксплуатацию;

– стимулирование в форме налогового кредита или инвестиционной льготы экологических и инновационных программ, природоохранных мероприятий, осуществляемых за счет собственных средств предприятий лесного сектора, а также значительное увеличение доли амортизации как источника инвестиций. Стабильность бюджета при этом будет обеспечиваться увеличением платы за древесину, отпускаемую на корню, а также усилением экспортных пошлин на вывоз необработанной древесины. Целесообразно также снизить импортные пошлины на ввоз сырья, увеличив их при импорте конечной продукции, производимой в России.

Разумеется, это далеко не полный перечень мер, способствующих более эффективному взаимодействию предприятий всех отраслей лесного сектора экономики России с их институциональным окружением, однако даже краткое их изложение свидетельствует о полном наборе необходимых элементов для проведения SWOT-анализа (угрозы и возможности, сильные и слабые стороны).

Такой анализ позволит разработать систему мер для обеспечения социальной, экологической и экономической безопасности в лесном секторе страны.

#### Библиографический список

1. Государственный доклад о состоянии и использовании лесных ресурсов РФ в 2006 г., Минприроды РФ. – М.: 2007. – 199 с.
2. Кожухов, Н.И. Лесной сектор экономики России на рубеже третьего тысячелетия / Н.И. Кожухов. – М.: ВНИИЛМ, 2000. – 187 с.
3. Лесной кодекс РФ. – М.: ВНИИЛМ, 2007. – 107 с.
4. Лесной комплекс РФ и зарубежных стран. Статистический сборник. – М.: ГОУ ВПО МГУ, 2008. – 392 с.
5. Мосеев, Н.А. Экономика лесного хозяйства / Н.А. Мосеев. – М.: ГОУ ВПО МГУ, 2006. – 384 с.

**Егорова Н.Н., Кулагин А.А. АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА БЕРЕЗЫ БОРОДАВЧАТОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) И ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО (*POPULUS BALSAMIFERA* L.) В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ.**

Исследовалась изменчивость и особенности развития тканей ассимиляционного аппарата березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.) и тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), произрастающих в экстремальных условиях в течение вегетационного периода. Выявлены различия в анатомическом строении ассимиляционного аппарата березы и тополя.

Ключевые слова: экстремальные лесорастительные условия, ассимиляционный аппарат, адаптивные изменения, береза бородавчатая, тополь бальзамический.

**Egorova N.N., Kulagin A.A. ANATOMIC STRUCTURE OF LEAVES OF BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH.) AND POPLAR (*POPULUS BALSAMIFERA* L.) IN EXTREME FOREST GROWTH CONDITIONS.**

The variability and features of development of leaves fabrics of a birch (*Betula pendula* Roth.) and poplar (*Populus balsamifera* L.), formed in extreme conditions during summer period was investigated. The distinctions in an anatomic structure of a birch and poplar leaves are revealed.

Keywords: extreme forest-vegetable conditions, assimilative the device, adaptive changes, a birch warty, a poplar balsam.

**Пономарев А.Г., Татарина Т.Д., Перк А.А., Бубякина В.В., Алексеев В.А. ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *BETULA PLATYPHYLLA* В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЕ.**

Впервые исследованы сезонная динамика клеточной проницаемости, качественного и количественного состава тотальных белков в побегах березы плосколистной *Betula platyphylla*, произрастающей в уникальных природно-климатических условиях криолитозоны Якутии. Обнаружены мажорные (17, 27, 38, 50 кД) и минорные (13, 42, 64 кД) полипептиды, содержание которых коррелировало со степенью морозостойкости растений. Предполагается участие данных белков в механизмах защиты деревьев от экстремальных холодových воздействий.

Ключевые слова: береза, морозостойкость, метод электролитов, белки, криолитозона.

**Ponomarev A.G., Tatarinova T.D., Perk A.A., Bubyakina V.V., Alekseev V.A. PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF *BETULA PLATYPHYLLA* IN CONNECTION WITH THE GROWTH CONDITIONS ON THE PERMAFROST GROUNDS.**

Seasonal dynamics of cellular permeability, qualitative and quantitative composition of total proteins in shoots of Siberian silver birch *Betula platyphylla*, growing in the unique natural climatic conditions of the Yakutia cryolithic zone, is first studied. Major (17, 27, 38, 50 kD) and minor (13, 42, 64 kD) polypeptides, the content of which correlated with the degree of frost hardiness of plants, are found. Participation of these proteins is assumed in the mechanisms of tree defence against extreme cold effects.

Keywords: a birch, frost resistance, a method of electrolits, fibers, cryolithozona.

**Амосова И.Б., Феклистов П.А. АНАЛИЗ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ БЕРЕЗЫ.**

Выполнен анализ особенностей анатомического строения древесины березы в северной и средней подзонах тайги. Выявлены различия в размерах сосудов и древесных волокон, а также толщины сердцевинных лучей. При сравнении показателей анатомических элементов двух подзон тайги (северная и средняя) выявлено: сосуды крупнее в средней подзоне; толщина стенок древесных волокон и толщина сердцевинных лучей больше в северной подзоне.

Ключевые слова: анатомическое строение, древесные волокна, сердцевинные лучи, подзоны тайги.

**Amosova I.B., Feklistov P.A. THE ANALYSIS OF AN ANATOMIC STRUCTURE OF A BIRCH.**

The analysis of features of an anatomic structure of wood of a birch in northern and average subzones of a taiga is executed. The distinctions are revealed at a rate of vessels and wood fibres, and also thickness beams of core. At comparison of parameters of anatomic elements of two subzones of a taiga (northern and average) is revealed: the vessels are larger in an average subzone; the thickness of walls of wood fibres and thickness beams of core is more in northern subzone.

Keywords: an anatomic structure, wood fibres, cordate beams, taiga subbands.

**Иванов А.В. ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА ПРОВЕНИЕНЦИЙ ЕЛИ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ.**

Проведен анализ роста географических культур ели в Костромской области в возрасте 43 года. Выявлены наиболее успешные происхождения.

Ключевые слова: провениенции ели, географические культуры, подзоны тайги.

**Ivanov A.V. RESEARCH OF FIR CLIMATYPES GROWTH IN GEOGRAPHICAL PLANTS OF TAIGA SOUTH SUBAREA.**

A growth analyses of geographical species of fir being 43 g. o. and growing in Kostroma region has been carried out. The best species were revealed.

Keywords: fir climatYPES, geographical cultures, taiga subbands.

**Биржов А.В. Шошин В.И. ОБЩАЯ ФИТОМАССА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ РАЗЛИЧНОЙ ГУСТОТЫ ПОСАДКИ К ВОЗРАСТУ СПЕЛОСТИ В БРЯНСКОМ ЛЕСНОМ МАССИВЕ.**

В статье представлены результаты исследований запаса фитомассы сосновых насаждений в Брянском лесном массиве. Затрагивается вопрос влияния первоначальной густоты посадки на фитомассу искусственных насаждений сосны к возрасту спелости.

Ключевые слова: фитомасса, густота посадки, возраст спелости.

**Birzhov A.V., Shoshin V.I. GENERAL PHYTOMASS OF PINE'S FOREST CULTURE OF DIFFERENT DENSITY OF PLANTATION TO THE AGE OF MATURITY IN BRYANSK FOREST TRACT.**

The results of research of phytomass's reserves of pine plantation in Bryansk forest tract are given in this article. The problem of the influence of initial plantation density on the phytomass of the artificial pine plantations to the age of maturity is touched upon in this article.

Keywords: phytoweight, density of landing, age of ripeness.

**Коннова Л.В., Любимов В.Б. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕКИ БОЛВЫ В ЧЕРТЕ ГОРОДА БРЯНСКА.**

В результате проведенных исследований выявлена таксономическая структура и видовой состав макрозообентоса нижнего течения реки Болвы. По таксономическому составу и количественным характеристикам макрозообентоса дана экологическая оценка состояния исследуемого участка реки Болвы и оценена степень отрицательного антропогенного влияния на состояние макрозообентоса в черте города Брянска, предложены некоторые меры по сохранению водных ресурсов р. Болвы.

Ключевые слова: макрозообентос, река Болва, таксономический состав, численность, биомасса, видовое разнообразие.

**Konnova L.V., Lubimov V.B. ESTIMATION OF THE DEGREE CONTAMINATION AND CONDITIONS OF THE RIVER BOLVA MAKROZOOBENTOS IN THE CITY BOUNDARIES OF BRYANSK.**

As a result called on studies it is revealed taxonomic structure and aspectual composition macrozoobentos lower current the Bolva's river. On taxonomic composition and quantitative features macrozoobentos is given ecological estimation of the condition of the under investigation

area of the river Bolva and is evaluated degree negative anthropogenous influences on a condition macrozoobentos in a city boundaries of Bryansk, are offered some remedy for breech water resource r. Bolva.

Keywords: macrozoobenthos, the river Bolva, taxonomical structure, number, a biomass, a specific variety.

**Бессчетнова Н.Н. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТБОРА ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ.**

Получены оценки наследуемой части селекционного дифференциала плюсовых деревьев сосны обыкновенной, выделенных на территории Нижегородской области. Установлена наследственно обусловленная неоднородность семенных генераций плюсовых деревьев по высоте и диаметру в испытательных культурах, имеющих второй класс возраста.

Ключевые слова: плюсовые деревья, испытательные культуры, селекционный сдвиг.

**Besschetnova N.N. ESTIMATION OF EFFICIENCY OF SELECTION OF THE PLUS TREES OF A SCOTS PINE IN TEST CULTURES IN THE NIZHNIY NOVGOROD AREA.**

Estimations of an inherited part of selection differential of the plus-trees of a Scots Pine, allocated on territory of the Nizhniy Novgorod area are received. It is established is hereditary the caused heterogeneity of seed generations of the plus-trees on height and diameter in the test cultures having the second class of age.

Keywords: plus trees, test cultures, selection shift.

**Захарова Е.И. СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕМЕННОГО И ВЕГЕТАТИВНОГО СПОСОБОВ РАЗМНОЖЕНИЯ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В НИЖЕГОРОДСКУЮ ОБЛАСТЬ ДРЕВЕСНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА БОБОВЫЕ.**

Работа посвящена выявлению наиболее оптимальных способов размножения древесных представителей семейства бобовые (*Leguminosae Juss.*) в условиях интродукции Нижегородской области.

Ключевые слова: интродукция, семенное размножение, зеленое черенкование, посадочный материал

**Zakharova E.I. COMPARISON OF EFFICIENCY OF SEED AND VEGETATIVE WAYS OF DUPLICATION OF WOOD REPRESENTATIVES OF FAMILY BEAN INTRODUCTION IN THE NIZHNIY NOVGOROD AREA.**

The work is devoted to revealing of the optimal ways of duplication of wood representatives of family bean (*Leguminosae Juss.*) in conditions introduction to the Nizhniy Novgorod area.

Keywords: introduction, seed reproduction, green graft(ing), a landing material.

**Устинов М.М., Устинов М.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОВАРНОЙ СТРУКТУРЫ ЕЛИ, ВЫБИРАЕМОЙ ПРИ РУБКАХ УХОДА.**

Предложена математическая модель товарной структуры стволов ели, выбираемых при рубках ухода, на основании исследований форм стволов и строения выбираемой части древостоя.

Ключевые слова: форма ствола, объем, выбираемая часть древостоя, общая часть древостоя, товарная структура, ель, моделирование, строение древостоя.

**Ustinov M.M., Ustinov M.V. MODELLING OF GOODS STRUCTURE OF THE SPRUCE CHOSEN AT CHOPPING OF THE CARE FOR WOOD.**

The mathematical model of goods structure of stems of the spruce chosen at an chopping of the care for wood, on the basis of researches of forms of stems and a structure of a chosen part of a forest stand is offered.

Keywords: the trunk form, the volume, a chosen part of a forest stand, the general part of a forest stand, commodity structure, a fur-tree, modelling, a forest stand structure.

**Янгутов И.А., Филипчук А.Н. НЕВЕСОМЫЕ ПОЛЕЗНОСТИ ЛЕСА И ЛЕСОУСТРОЙСТВО (ПАМЯТИ М.М.ОРЛОВА ПОСВЯЩАЕТСЯ).**

В статье рассматриваются «невесомые полезности леса», то есть духовные, эстетические и рекреационные свойства лесов, которые целесообразно учитывать при лесоустройстве. В основу образования кварталов при устройстве рекреационных лесов предлагается положить естественный метод деления территории.

Ключевые слова: невесомые полезности, лесоустройство, рекреация, деление территории.

**Yangutov I.A., Filipchuk A.N. WEIGHTLESS UTILITY OF FOREST AND FOREST REGULATION (DEVOTED TO MEMORIES OF M.M. ORLOV).**

The article deals with «weightless utility of forest», in other words spiritual, aesthetic and recreational properties of forests which are expedient for considering in forest regulation. When making forest regulation of recreational forests it is offered to put a natural method of division of territory in the basis of formation of forest blocks.

Keywords: weightless utility, forest arrangement, reaction, territory division.

**Климачева Т.В., Прокошева К.Ю. РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСОВ ПРИКАМЬЯ.**

В статье дана полная характеристика рекреационных лесов, описан их потенциал.

Ключевые слова: рекреационные леса, потенциал, национальный парк.

**Klimacheva T.V., Prokosheva K.Y. RECREATIONAL POTENTIAL OF WOODS OF PRIKAMYE.**

In article the full characteristic of recreational woods is given, their potential is described.

Keywords: recreational woods, potential, national park.

**Федотов Г.Н., Путляев В.И., Рудометкина Т.Ф., Иткис Д.М., Шалаев В.С. НАНОСТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВ.**

В статье на основе анализа экспериментальных и литературных данных определена энергия активации процесса распада агрегатов чернозема в воде. Показано, что при уменьшении размеров агрегатов энергия активации линейно возрастает. Показана также возможность существования механизма стабилизации почвенных агрегатов за счет изменения структуры гумусового студня в поверхностном слое агрегатов. Сделан вывод о том, что водоустойчивость почвенной структуры обеспечивается сложной динамичной структурой армированных гумусовых студней.

Ключевые слова: распад агрегатов, наноструктура, стабилизация, гумусовый студень.

**Fedotov G.N., Putljajev V.I., Rudometkina T.F., Itkis D.M., Shalaev V.S. THE NANOSTRUCTURAL ORGANIZATION AND WAYS OF IMPROVEMENT OF SOILS STRUCTURE.**

In article on the basis of the analysis of the experimental and literary data It is defined the energy activation of process of disintegration of units of chernozem in water. It is shown that while there is reduction of the sizes the energy of activation linearly increases. It is also shown the possibility of existence of the mechanism of stabilization of soil units at the expense of structure change of humus gel in a blanket of units. Conclusion was made that water stability of soil structure is provided with difficult dynamical structure of the reinforced humus gels.

Keywords: disintegration of units, nanostructure, stabilisation, humus galantine.

**Якимович С.Б., Тетерина М.А. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБРАБАТЫВАЮЩЕ-ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ЗАГОТОВКИ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ.**

Статья содержит классификацию обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины, отражающую физико-математические особенности этих систем и включающую новый вид запасов в этих системах – перемещаемые запасы.

Ключевые слова: обрабатывающе-транспортные системы, перемещаемый запас.

**Yakimovich S.B., Teterina M.A. CLASSIFICATION OF WOOD HARVESTING AND PRIMARY PROCESSING PROCESSING-TRANSPORTING SYSTEMS.**

The paper contains classification of wood harvesting and primary processing processing-transporting systems, demonstrating physic-mathematic particulars of this systems and including new view of supplies in this systems – transporting supplies.

Keywords: processing-transporting systems, transporting supplies.

**Борисов В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ.**

Приведены исследования движения автопоездов на горизонтальных кривых. Неудачно запроектированные кривые в плане радиуса вызывают снижение эксплуатационных качеств дороги, увеличивается аварийность при прохождении этих участков. Приведены графики зависимости скоростей автомобилей от величины радиусов кривых в плане и количество автомобилей, превышающих теоретически допускаемую скорость на этих кривых.

Ключевые слова: движение автопоездов на горизонтальных кривых, снижение эксплуатационных качеств дороги, графики зависимости скоростей от величины радиусов.

**Borisov V.A. RESEARCH OF MOTION OF WOOD-TRANSPORT LORRY CONVOYS ON HORIZONTAL CURVES.**

Researches of motion of lorry convoys are resulted on horizontal curves. The abortively projected curves in the plan of radius cause the decline of operating qualities of road, an accident rate is increased at passing of these areas. The charts of dependence of speeds of cars from the size of radiuses of curves in a plan and amount of cars are resulted exceedings the speed assumed in theory on these curves.

Keywords: motion of lorry convoys are resulted on horizontal curves, decline of operating qualities of road, a drawing of dependence of speeds from size of radiuses.

**Борисов В.А. УЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ И АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ.**

Согласно теории автомобиля, устойчивость на кривой обеспечена, если при неравномерном движении у колес задней ведущей оси остается достаточная сила сцепления в поперечном направлении. Движение на кривой рассматривается с позиции устойчивости против заноса. Приводится расчет автопоезда, представляющий общий случай решения для наиболее массового типа.

Ключевые слова: теория автомобиля, расчет автопоезда, устойчивость на кривой, неравномерное движение.

**Borisov V.A. ACCOUNT OF PARAMETERS OF MOTION AND ANALYSIS OF STABILITY OF WOOD-TRANSPORT LORRY CONVOYS AT BRAKING.**

In obedience to the theory of car, stability on a curve is well-to-do, if at neravnomernom motion the wheels of back drivingaxle have sufficient force of coupling in transversal direction. Motion on a curve is examined from position of stability against skidding. A calculation over of lorry convoy is brought presenting general case of decision for the most mass type.

Keywords: the car theory, lorry convoy calculation, stability on a curve, non-uniform movement.

**Дац Ф.А., Назаренко А.С. РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТРАКТОРОВ ДЖОН ДИР В УСЛОВИЯХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ.**

Анализ факторов, оказывающих влияние на техническое состояние, надежность и эффективность зарубежной лесозаготовительной техники Джон Дир позволяет сделать вывод о том, что в условиях технического прогресса необходимо управление техническим состоянием. Решение этой проблемы представляется как трудная и в тоже время неотложная задача. Особая сложность в реализации управления техническим состоянием заключается в возможности определения влияния таких факторов, как режим работы, внешней среды, квалификации основ-

ного и вспомогательного обслуживающего персонала, организации и качества технического обслуживания и ремонта и других.

Ключевые слова: фактор, «Джон Дир», надежность, эффективность, отказы, техника, профессионализм.

**Dac F.A., Nazarenko A.S. THE ROLE AND IMPORTANCE OF THE PERSON-OPERATOR IN MANAGEMENT TECHNICAL CONDITION TRACTOR JOHN DIR IN CONDITION VOLOGODSKOY AREA.**

The Analysis factor, influencing on technical condition, reliability and efficiency foreign лесозаготовительной technology John Dir allows to draw a conclusion about that that in condition of the technical progress necessary management technical condition. The Decision of this problem introduces, as difficult and in too time urgent problem. The Special difficulty in realization of management technical condition is such factor defined by influence as: state of working, external ambience, qualification main and auxiliary servicing personnel, organization and quality of the technical maintenance and repair and others.

Keywords: the factor, «John Dir», reliability, efficiency, refusals, technics, professionalism.

**Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Допперт В.А. ОБОСНОВАНИЕ СТРАТЕГИИ СТАДИЙНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.**

Изучение вопросов стадийного повышения эксплуатационно-экологического уровня лесовозных автомобильных дорог целесообразно проводить в связи с необходимостью усиления дорожных одежд, уширения проезжей части и обочин в процессе реконструкции лесовозных автомобильных дорог.

Ключевые слова: стадийное повышение, эксплуатационно-экологический уровень, дорожные одежды, уширение проезжей части.

**Kurianov V.K., Skrypnikov A.V., Doppert V.A. THE SUBSTANTIATION OF STRATEGY OF PHASES INCREASE OF AN EXPLOITING-ECOLOGICAL LEVEL OF FORESTRY HIGHWAYS.**

Studying of questions of phases increase of an exploiting-ecological level of a forestry highways is expedient for spending in connection with necessity of strengthening of a road clothes, widening a road parts and a roadsides during reconstruction of a forestry highways.

Keywords: phasic increase, ekspluatatsionno-ecological level, road clothes, widening passable parts.

**Кириллов Ф.А. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.**

В зависимости от интервалов между приложениями нагрузки при многократном проходе транспортных средств происходит накопление остаточного парового давления, что создает условия для интенсивного притока воды в дренирующий слой в течение длительного времени. Величина притока и продолжительность поступления воды в дренирующий слой зависят от характера изменения и времени сохранения остаточного парового давления. Установлено, что воздействие колес транспортного средства на дорогу имеет результатом переувлажнение рабочего слоя земляного полотна, возникает движение воды, которое осуществляется по двум принципиально различным схемам: горизонтальной и вертикальной. Результаты исследований позволили уточнить положения расчета дренирующего слоя, и, в частности, обосновать возможность применения для дренирующих слоев мелких песков.

Ключевые слова: нагрузка, паровое давление, дренирующий слой, земляное полотно.

**Kirillov F.A. INCREASE OF RELIABILITY OF ROAD CLOTHES CONVEYWOOD HIGHWAYS.**

Depending on intervals between appendices of loading at repeated pass of vehicles there is an accumulation of residual steam pressure, which creates conditions for intensive inflow of water in the drainage layer for a long time. The size of inflow and duration of water inflow in drainage layer depend on character of change and time of preservation of residual steam pressure. It is proved that the

influence of vehicle wheels on the road results in the movement of water in two essentially different schemes: horizontal and vertical, in its earth damping working layer. Results of researches have allowed to specify positions of calculation drainage layer, and, in particular, to prove an opportunity of application of fine sand for drainage layers.

Keywords: loading, pore pressure, drain layer, an earthen cloth.

**Подрубалов М.В. АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ПО НОРМАМ И МЕТОДАМ ОЦЕНКИ ВИБРАЦИИ НА КОЛЕСНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИНАХ.**

В работе помещен анализ отечественных и зарубежных стандартов по методам испытаний и оценке вибрации на сиденье человека-оператора мобильных колесных машин с точки зрения их применимости к малогабаритной технике, используемой в лесопарковом хозяйстве. Показана их методическая несовместимость друг с другом и недостаточность отработки методов оценки вибронегруженности на сидении человека-оператора, полученных при натуральных испытаниях.

Ключевые слова: вибрация, стандарты, колесные машины, испытания.

**Podrubalov M.V. THE ANALYSIS OF DOMESTIC AND INTERNATIONAL STANDARDS ON NORMS AND METHODS OF AN ESTIMATION OF VIBRATION ON WHEEL MOBILE MACHINES.**

In work the analysis of domestic and foreign standards on test methods and an estimation of vibration on sitting of the person – operator of mobile wheel machines is placed from the point of view of their applicability to the small-sized engineering used in forestry. Their methodical incompatibility with each other and insufficiency of improvement of methods of an estimation vibration on sitting of the person – operator, received is shown at natural tests.

Keywords: vibration, standards, wheel cars, tests.

**Романов Е.С., Лаврова И.В. ДОСТУПНОСТЬ РЕСУРСОВ СЫРЬЯ ДЛЯ ЛЕСОПИЛЕНИЯ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ.**

Выделены семь проявлений ограниченной доступности/недоступности лесных ресурсов. В Архангельской области расширение доступности наиболее реально путем применения новых технологий лесосплава. Но главное и постоянное условие ослабления дефицита сырья – повышение выхода готовой продукции в лесопилении, ЦБП и др.

Ключевые слова: доступность лесоресурсов, лесосплав, лесопиление.

**Romanov E.S., Lavrova I.V. ACCESSIBILITY OF WOOD RESOURCES IN ARCHANGELSK REGION TODAY.**

Seven varieties of wood resources accessibility are distinguished. In Archangelsk Region the most real means is to employ new methods of rafting. It is extreme necessary to make the most efficient use of raw wood.

Keywords: availability forest, timber rafting, sawing.

**Шадрин А.А. ТРАНСПОРТНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СТАНКОВ В ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕХЕ ПРИ ИХ ГИБКОЙ КОМПОНОВКЕ.**

В статье рассматриваются вопросы транспортного обслуживания станков в процессе обработки древесного сырья в цехах лесозаготовительных предприятий. Для анализа функционирования транспортной системы в цехе принят аппарат теории массового обслуживания. Приводятся результаты расчета загрузки кран-балки в лесообработывающем цехе.

Ключевые слова: обслуживание, заявка, загрузка, процесс.

**Shadrin A.A. TRANSPORT SERVICE OF MACHINE TOOLS IN SHOP ON WOOD PROCESSING AT THEIR FLEXIBLE CONFIGURATION.**

Article deals with machines transport service during wood processing in logging enterprises' workshops. Queueing theory is used for workshop transportation system's analysis. Results of frame crane's load ratio calculation are displayed.

Keywords: service, the demand, loading, process.

### **Шадрин А.А. ГИБКИЕ ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.**

В статье рассматриваются вопросы создания гибких лесообработывающих процессов на лесозаготовительных предприятиях. Создание цехов с гибким лесообработывающим процессом является перспективным направлением в развитии лесозаготовительного производства. Повысить загрузку станков в таких цехах можно за счет обработки различных по назначению сортиментов в общих технологических потоках.

Ключевые слова: гибкие, лесообработывающий, процессы, лесоматериалы.

### **Shadrin A.A. FLEXIBLE TIMBER DEVELOPING PROCESSES FOR WOOD INDUSTRY ENTERPRISES.**

The article deals with of flexible raw wood material processes' development at logging enterprises. Creation of woodworking workshops with flexible technological process is perspective direction of wood-working industry development. It's possible to develop different timber assortments using joint processor chagreens and this allows to raise machines load ratio.

Keywords: flexible, timber industry, processes, forest products.

### **Пискунов М.А. К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВ ХВОРОСТЯНОГО НАСТИЛА НА ВОЛОКАХ ПРИ ПРОХОДАХ ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА.**

Представлены результаты экспериментальных исследований свойств хворостяного настила на волоке при многократных проходах гусеничного трелевочного трактора. В ходе эксперимента настил из сучьев на волоке формировался не сразу, лесосечные отходы добавлялись после серии проходов трактора, в зависимости от интенсивности образования колеи.

Ключевые слова: волок, хворостяной настил, трелевка, лесосечные отходы, колея.

### **Piskunov M.A. TO A QUESTION ON RESEARCH OF SLASH COVER PROPERTIES WITH SKIDDING VEHICLE PASSAGES.**

The experimental results of slash cover properties with repeated tracked skidding vehicle passages are offered. During experiment the slash cover on the trail was formed not at once: slash were added after a vehicle passages series, depending on intensity of rut formation.

Keywords: dragged, brush a flooring, logging, logging-site waste, a track.

### **Цыплаков В.В., Фокин С.В. ОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ПНЕЙ КОНИЧЕСКОЙ ФРЕЗОЙ С ЖИДКОСТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ.**

Приводятся теоретическое изучение измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем, технологии измельчения пней, а также основные результаты расчета конструктивно-технологических параметров фрезы.

Ключевые слова: коническая фреза, параметры, пень, измельчение.

### **Tsyplakov V.V., Fokin S.V. TO THE QUESTION OF THE STUB REDUCING BY THE CONICAL MILLING CUTTER WITH LIQUID FILLER.**

The theoretical study of the stub reducing by the conical milling cutter with liquid filler, technology of the stub reducing and main results of the calculation of the constructive and technological milling cutter parameters are given in the article.

Keywords: a conic mill, parametres, a stub, crushing.

### **Кондрашова Е.В. ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.**

В статье рассмотрены принципы оптимизации проектных решений путем направленного поиска оптимального варианта дороги. Основные ключевые процедуры, благодаря которым удалось достичь наилучшего решения – это декомпозиция проблемы поиска вариантов путем рассмотрения агрегированных характеристик. Имитацией оптимизируются конструкции отдельных частей дороги.

Ключевые слова: оптимальный вариант, поиск вариантов, вариантное проектирование.

**Kondrashova E.V. A SEARCH OF ROAD OPTIMUM VARIANT IN A COMPUTER-AIDED DESIGN.**

The article studies the optimization principles of project decisions due to the directed search of optimum variant of road. Basic key procedures – it's a decoupling of problem of variant search due to consideration of the aggregated descriptions.

Keywords: optimum variant, search of variants, alternative designing.

**Котов А.А. ПРОЦЕСС ПИТАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА МАШИНЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО УХОДА ЗА ЛЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ.**

Теоретически исследована возможность потерь пестицида при различных способах питания рабочего органа машины для химухода за лесными культурами, выполненного в виде вращающегося барабана. Получены некоторые параметры контактора с учетом исключения потерь препарата.

Ключевые слова: пестицид, рабочий орган машины, вращающийся барабан.

**Kotov A.A. RESEARCH OF LOSSES OF THE LIQUID AT A DELIVERY OF WORKING ORGAN OF THE MACHINE FOR CHEMICAL TREATMENT THE FOREST CULTURES.**

The opportunity of losses of pesticide is theoretically investigated at several of methods of a delivery of a working organ of the machine for chemical treatment the forest cultures, when the working organ is fulfilled as rotating drum. Some parameters of a contactor are received in view of exception of losses of a preparation.

Keywords: pesticide, working organ of the machine, rotating drum.

**Котов А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ПРЕПАРАТА ИЗ ПОКРЫТИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА КОНТАКТНОЙ ГЕРБИЦИДНОЙ МАШИНЫ.**

Исследованы условия работы и параметры рабочего органа машины для химухода за культурами контактным способом, обеспечивающие его экологически безопасную работу.

Ключевые слова: гербицидная машина, рабочий орган машины, экологически безопасная работа.

**Котов А.А. RESEARCH OF LOSSES OF THE CHEMICALS FROM THE COVERING OF THE WORKING ORGAN OF THE CONTACT HERBICIDAL MACHINE.**

Operating conditions and parameters of a working organ of the machine for chemical treatment the forest cultures in the contact way, providing its ecologically safe work are investigated.

Keywords: herbicidal machine, working organ of the machine, ecologically safe work.

**Азаров В.И., Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Дроздова В.С. ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ.**

В статье представлены результаты испытания карбамидоформальдегидных олигомеров, модифицированных простыми эфирами целлюлозы – NaКМЦ, гидроксиметилцеллюлозой, гидроксипропилцеллюлозой, этилцеллюлозой, гидроксипропилцеллюлозой, крахмалом, меламинам.

Ключевые слова: карбамидоформальдегидные олигомеры, эфиры целлюлозы, модификация.

**Azarov V.I., Kononov G.N., Verevkin A.N. Drozdova V.S. INFLUENCE OF MODIFIERS ON TECHNOLOGICAL PARAMETERS MODIFIED CARBAMIDE-FORMALDEHYDE PITCHES.**

The results of test of carbamide formaldehyde oligomer, modified simple ethers of cellulose are presented in the article – NaКМС, gidroksipropilcellyulozoy, etilcellyulozoy, gidroksietilcellyulozoy, starch, melaminom.

Keywords: carbamide formaldehyde oligomer, cellulose aethers, updating.

**Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В., Архипов А.С. НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ.**

Предложена структурная модель древесно-стружечной плиты, которая рассчитана на растяжение вдоль и поперек пласти плиты в программе CosmosWork. Проанализированы полученные значения микро- и макронапряжений при различных расчетных случаях, что позволяет прогнозировать механические характеристики плит.

Ключевые слова: CosmosWork, макронапряжения, древесно-стружечная плита.

**Lapshin U.G., Tuluzakov D.V., Arkhipov A.S. PRESSURE IN ELEMENTS OF STRUCTURE TO WOOD-SHAVING PLATES.**

The structural model of a wood-shaving plate, which rated on a stretching up and down face plates in program CosmosWork is offered. The received values of micro- and macropressure are analysed at various calculated cases that allows to predict mechanical characteristics of plates.

Keywords: CosmosWork, macropressure, a wood-shaving plate.

**Тулузаков Д.В., Спирин Б.Л. ДЕФОРМИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИХ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ.**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований деформирования древесно-стружечных плит от изменения влагосодержания материала. Получены зависимости усушки и разбухания древесно-стружечных плит из сосновой, осиновой и березовой стружки.

Ключевые слова: древесно-стружечные плиты, влагосодержание, усушка, разбухание.

**Tuluzakov D.V., Spirin B.L. PARTICLE BOARD DEFORMATION AT THEIR HUMIDITY DIFFERENCE.**

This article present result of experimental researches of particle board deformation from their humidity difference a material is submitted. Dependences of shrinkage and swelling particle board from a pine, aspen and birch shaving are received.

Keywords: wood-shaving plates, moisture content, shrinkage, swelling.

**Сафин Р.Р., Петров В.И., Герасимов М.К., Разумов Е.Ю., Галяветдинов Н.Р. РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ОЦИЛИНДРОВАННЫХ БРЕВЕН.**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований процесса осциллирующей сушки древесины большого сечения в гидрофильных жидкостях. Разработана технология осциллирующей сушки древесины большого сечения в гидрофильных жидкостях с досушкой вакуумно-кондуктивным методом и установка для ее осуществления применительно к оцилиндрованным бревнам. Проведенные экспериментальные исследования позволили выявить отечественные породы древесины, для которых рациональна предложенная технология, а также основные режимные параметры ведения указанного процесса

Ключевые слова: комбинированная сушка, крупномерная древесина, гидрофильная жидкость.

**Safin R.R., Petrov V.I. Gerasimov M.K. Razumov E.Y. Galyavetdinov N.R. WORKING OUT OF THE COMBINED TECHNOLOGY OF DRYING CYLINDER-LOGS.**

In article are presented: results of experimental researches of process oscillation drying of wood of the big section in hydrofoil liquids. The oscillation drying of wood of the big section in hydrofoil liquids with post-drying vakuum–conductive a method and installation the technology is developed for its realisation with reference to cilinder to logs. The spent experimental researches have allowed to reveal domestic breeds of wood for which the offered technology, and also the basic regime parametres of conducting the specified process is rational.

Keywords: the combined wood drying, the big size wood, hydrofoil a liquid.

**Байгильдеева Е.И., Рыбин Б.М., Рыкунин С.Н., Халитов Р.А., Разумов Е.Ю. НАГРЕВ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СРЕДЕ НАСЫЩЕННОГО ПАРА.**

Приведено математическое описание тепломассопереноса в технологической щепе при ее обработке насыщенным паром в герметичном аппарате. Представлены дифференциальные уравнения, описывающие изменение влагосодержания и температуры в частице древесины, а также скорость переноса жидкой фазы в материале. Подвод тепла к щепе от паровой фазы осуществляется через пленку конденсата за счет молекулярной теплопроводности. При этом перемещение конденсата в глубь древесной частицы образует влажную и условно сухую зоны материала. Во влажной зоне перенос тепла осуществляется, главным образом, за счет конвекции, а в условно сухой – механизмами тепло- и влагопроводности. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают результаты расчетов.

Ключевые слова: насыщенный пар, щепка, тепломассоперенос, влагосодержание, температура, измельчение.

**Baigildeeva E.I., Ribin B.M., Rikunin S. N., Halitov R.A., Razumov E.U. HEATING OF CRUSHING WOOD IN THE MEDIUM OF SATURATED STEAM.**

There is a mathematical description of heatmassstransfer in the technological chips under its treatment by saturated steam in the hermetic apparatus. Here the differential equations which describe the changes of moisture and temperature in the wood fraction are given, and also the rate of movement of liquid phase in material. Supply of heat to the chips from the steam phase is fulfilled through the condensate film owing to molecular heat conductivity. And more, the movement of condensate in wood chips made humid and approximately dry zones of material. In humid zone the transfer of heat is fulfilled mainly owing to convection, and in proximately dry by mechanisms of heat and moisture conductivity. The experimental investigations confirm the results of calculations.

Keywords: saturated steam, wood chips, moisture, temperature, crushing.

**Рябков В.М., Лапин А.С., Трофимов М.А., Карчин Ф.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА В ДЕРЕВЯННОМ МАЛОЭТАЖНОМ ДОМОСТРОЕНИИ.**

Проведен анализ компьютерных программ проектирования деревянного дома. Разработан программно-аппаратный комплекс для автоматизированного проектирования и управления линией изготовления деталей дома из деревянного бруса. Разработан алгоритм оптимального раскроя бруса.

Ключевые слова: деревянное домостроение, анализ, компьютерные программы, раскрой бруса.

**Ryabkov V.M., Lapin A.S., Trofimov M.A., Karchin F.A. AUTOMATION OF DESIGN AND PRODUCTION ON COMPUTER BASED TECHNOLOGY IN WOODEN HOMEBUILDING.**

The comparison analysis of software products for wooden homebuilding design has been conducted. Software and hardware solutions for design automation and wooden homebuilding blocks production line control have been developed. The optimal bucking scheme has been developed.

Keywords: wooden housing construction, the analysis, computer programs, open a bar.

**Антонец А.В. КОНСТРУКТИВНЫЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИЙ С КРАТНЫМИ УЗЛАМИ.**

Выведены полезные для практических приложений конструктивные формулы полиномиальных «политейлоровских» аппроксимаций функций, представляющие общематематический интерес.

Ключевые слова: формулы аппроксимаций функций, кратные узлы.

**Antonets A.V. CONSTRUCTIVE APPROXIMATIONS OF FUNCTIONS BY POLYNOMES WITH MULTIPLE NODES.**

Constructive formulas of functions approximations by «poly-Taylor» expansions are derived. They may be useful for practical applications and they present also common mathematical interest.

Keywords: formulas of approximations of functions, multiple knots.

**Никонов В.Г., Сидоров Е.С. О СПОСОБЕ ПОСТРОЕНИЯ ВЗАИМНО ОДНОЗНАЧНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ КВАЗИАДАМАРОВЫХ МАТРИЦ.**

В статье рассматривается одно из направлений исследований в области построения систем координатных функций  $(f_1, \dots, f_n)$  с помощью так называемых квазиадамаровых матриц.

Ключевые слова: системы, координатные функции, квазиадамаровые матрицы.

**Nikonov V. G., Sidorov E. S. ABOUT THE POSSIBILITY OF ONE-TO-ONE MAPPINGS' REPRESENTATION BY THE QUASI-HADAMARD MATRIXES.**

In article one of directions of researches in the field of construction of systems of coordinate functions  $(f_1, \dots, f_n)$  by means of so-called quasihadamard matrixes.

Keywords: systems, coordinate functions, quasihadamard matrixes.

**Затенко С.И., Уткин Л.В. НОВАЯ ДИСКРЕТНАЯ БАЙЕСОВСКАЯ МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ.**

Предлагается новый аппарат для построения обобщенных байесовских моделей роста. Основная идея моделирования заключается в разделении параметров модели на два подмножества и в сочетании байесовского подхода и принципа максимума правдоподобия. Используя параметры первого подмножества и статистические данные, строится обобщенная байесовская модель, с помощью которой формируются границы множеств функций распределения вероятностей, зависящие от параметров второго подмножества. В дальнейшем эти параметры вычисляются с использованием принципа максимума функции правдоподобия. Числовое моделирование с использованием реальных статистических данных иллюстрирует преимущества предлагаемой модели.

Ключевые слова: модель надежности программного обеспечения, обобщенные вероятности, байесовский вывод, нижние и верхние функции распределения вероятности, принцип правдоподобия.

**Zatenko S.I., Utkin L.V. A NEW GENERALIZED BAYESIAN DISCRETE-TIME RELIABILITY MODEL OF SOFTWARE USING INTERVAL PROBABILITIES.**

A new framework for imprecise Bayesian growth models is proposed in the paper. The main idea of the framework is to divide a set of the model parameters of interest into two subsets and to combine the imprecise Bayesian models and the maximum likelihood estimation principle. In accordance with the first subset and statistical data, the imprecise Bayesian model is constructed, which provides lower and upper predictive probability distributions depending on the second subset of parameters. These parameters are computed by using the likelihood estimation principle. The numerical modeling with using real statistical data illustrates advantages of the proposed model.

Keywords: model of reliability of the software, the generalised probabilities, Bayesian a conclusion, the bottom and top functions of distribution of probability, a credibility principle.

**Козориз А.И., Скорняков В.А. ОЦЕНКА РИСКА СТОЛКНОВЕНИЯ ПРИ СБЛИЖЕНИИ МКС С НАБЛЮДАЕМЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ.**

В статье рассматривается проблема «космического мусора» и предлагается методика оценки риска столкновения управляемого космического аппарата с наблюдаемым космическим объектом в условиях ограниченной информации о реальных точностях измерений параметров траектории космического объекта. Предложенная методика используется в ЦУП ЦНИИмаш для оценки риска столкновения МКС с объектами «космического мусора» и другими космическими объектами.

Ключевые слова: космический мусор, столкновение, точность измерений, траектория.

**Kozoriz A.I., Skornyakov V.A. ESTIMATION OF COLLISION RISK AT ISS CLOSING IN WITH AN OBSERVED SPACE OBJECTS.**

In the paper considered the «space debris» problem and proposed a methodology for the estimation of observed space object collision risk with a controlled space vehicle in the absence of information about real measurements precision of space object trajectory parameters. Proposed methodology used in the TSUP TSNImash for the estimation of ISS collision risk with the «space debris» and other space objects.

Keywords: space dust, collision, accuracy of measurements, a trajectory.

**Шестопалова Н.С. КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ НА МИРОВОМ РЫНКЕ.**

Рассматриваются принципы формирования конкурентных преимуществ и направления повышения конкурентоспособности на мировом рынке.

Ключевые слова: конкурентоспособность, мировой, рынок, фактор.

**Shestopalova N.S. COMPETITIVENESS IN THE WORLD MARKET.**

Formation principles of competitive advantages and directions of competitiveness increasing in the world market are considered.

Keywords: competitiveness, world, the market, the factor.

**Кузнецов М.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОРПОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ФИНАНСОВОГО КРИЗИСА.**

В статье рассмотрены понятие и недостатки существующей системы корпоративных закупок, дается характеристика ее элементов, особое внимание уделяется информационному обеспечению, предлагается ряд мер по оптимизации закупочной деятельности корпорации в условиях финансового кризиса.

Ключевые слова: конкурентные закупки, конкурс, запрос предложений, запрос цен, конкурентные переговоры, система управления закупками.

**Kuznetsov M.A. PURCHASING ACTIVITY OPTIMIZATION OF CORPORATION IN THE CONDITIONS OF FINANCIAL CRISIS.**

In article the concept and lacks of existing system of corporate purchases are considered, the characteristic of its elements is given, the special attention is given to a supply with information, a number of measures on optimization of purchasing activity of corporation in the conditions of financial crisis is offered.

Keywords: competitive purchases, competition, inquiry of offers, inquiry of the prices, competitive negotiations, control system of purchases.

**Аляутдинов М.Р. ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ В MES – СИСТЕМЕ.**

В статье описываются все достоинства и преимущества внедрения на мебельном предприятии инновационного программного обеспечения на базе MES-систем.

Ключевые слова: инновации, программное обеспечение, MES-система.

**Aljautdinov M.R. PLANNING AND OPERATIONAL ADMINISTRATION MANUFACTURE IN MES – SYSTEM.**

The article describes all the advantages and preferences of implantation on furniture factory innovation program based on MES-system.

Keywords: innovations, the software, mes-system.

**Петунин А.А. ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЕ ОКРУЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСНОГО СЕКТОРА И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.**

Деятельность предприятий лесного сектора в условиях современного экономического развития и эпоху глобализации предполагает обеспечение их экономической безопасности и защиту от угрозы для коммерческой активности.

Ключевые слова: экономическая безопасность, лесной сектор, глобализация, институциональное окружение.

**Petunin A.A. THE ENVIRONMENT OF THE ENTERPRISES OF WOOD SECTOR AND THEIR ECONOMIC SAFETY.**

Business activities of companies in forestry industry at current economic development terms and globalization expect procuring of economic security and defence from threat commercial activities.

Keywords: economic safety, wood sector, globalisation, institutionalization an environment.