



ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК

Научно-информационный журнал

**2013 г. № 1(93)**

**Координационный  
совет журнала**

**Главный редактор**  
А.Н. ОБЛИВИН

**Зам. главного редактора**  
В.Д. НИКИШОВ

**Члены совета**  
В.В. АМАЛИЦКИЙ  
М.А. БЫКОВСКИЙ  
В.И. ЗАПРУДНОВ  
Н.И. КОЖУХОВ  
А.В. КОРОЛЬКОВ  
В.А. ЛИПАТКИН  
Е.И. МАЙОРОВА  
М.Д. МЕРЗЛЕНКО  
А.К. РЕДЬКИН  
А.А. САВИЦКИЙ  
Ю.П. СЕМЕНОВ  
Д.В. ТУЛУЗАКОВ  
В.А. ФРОЛОВА  
В.С. ШАЛАЕВ

**Ответственный секретарь**  
Е.А. РАСЕВА

**Редактор**  
В.Б. ИВЛИЕВА  
**Набор и верстка**  
М.А. ЗВЕРЕВ  
**Электронная версия**  
Н.К. ЗВЕРЕВА

Журнал издается при поддержке  
Научно-образовательной  
ассоциации лесного комплекса

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

Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-12923 от 17.06.2002

Журнал входит в перечень утвержденных  
ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей  
ученых степеней

Материалы настоящего журнала могут быть  
перепечатаны и воспроизведены полностью или  
частично с письменного разрешения издательства.

Редакция журнала принимает к рассмотрению не публиковавшиеся ранее статьи объемом 5–10 страниц, включая рисунки и таблицы. Требования к представлению материалов приведены в конце номера.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, не принимаются; статьи, отклоненные редакцией, не возвращаются.

© ГОУ ВПО МГУЛ, 2013

Подписано в печать 31.10.2012.  
Тираж 500 экз.  
Заказ №  
Объем 26,5 п. л.

Издательство Московского государственного университета леса  
141005, Мытищи-5, Московская обл.,  
1-я Институтская, 1, МГУЛ. (498)687-41-33  
les-vest@mgul.ac.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лесоинженерная специальность: становление и перспективы</i> .....	4
<b>Абузов А.В.</b> <i>Технические и конструктивные особенности современной аэростатно-канатной системы для трелевки древесины</i> .....	5
<b>Беленький Ю.И., Куницкая О.И., Бурмистрова С.С.</b> <i>Методика оптимизации раскря хлыстов для получения целевых сортиментов</i> .....	10
<b>Болотов О.В.</b> <i>Методологические основы планирования экономически эффективного освоения лесов</i> .....	12
<b>Борозна А.А., Салминен Э.О., Пушков Д.В.</b> <i>Использование нанотехнологий для снижения энергоемкости и повышения надежности работы машин и оборудования в лесопромышленном комплексе</i> .....	16
<b>Бурмистрова О.Н., Воронина М.А.</b> <i>Расчет нежесткой дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги от воздействия нагрузок</i> .....	20
<b>Бурмистрова О.Н., Король С.А.</b> <i>Определение оптимальных скоростей движения лесовозных автопоездов из условия минимизации расхода топлива</i> .....	25
<b>Войтко П.Ф., Гайсин И.Г.</b> <i>Совершенствование выгрузки плоских сплоченных единиц с воды на рейдах приплава</i> .....	28
<b>Войтко П.Ф., Рощина М.М.</b> <i>Совершенствование конструкции гравитационного торцевыравнивателя К-142</i> .....	33
<b>Волосунов М.В.</b> <i>Оценка энергоемкости механизмов поворота модульных сочлененных лесотранспортных машин</i> .....	37
<b>Голубев М.И.</b> <i>Новые материалы для защиты лесных машин от коррозии</i> .....	40
<b>Голякевич С.А.</b> <i>Моделирование нагруженности несущих конструкций харвестеров на транспортных и технологических операциях</i> .....	42
<b>Григорьев И.В., Никифорова А.И., Хахина А.М.</b> <i>Новые технические решения для повышения эффективности лесосечных работ</i> .....	46
<b>Дербин В.М., Дербин М.В.</b> <i>Технология разработки лесосек с учетом сертификационных требований сохранения неэксплуатационных площадей</i> .....	50
<b>Дербин М.В., Дербин В.М.</b> <i>Охлаждающая способность аэростатических направляющих дереворежущих пил</i> .....	54
<b>Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Солдатова Е.В.</b> <i>Моделирование технологических процессов освоения древесины на ложе водохранилищ</i> .....	56
<b>Коваленко Т.В.</b> <i>К вопросу об учете скоростных параметров в системе оптимизации транспортного освоения лесов</i> .....	61
<b>Коломинова М.В.</b> <i>Определение удельных энерго- и трудозатрат при работе харвестеров и форвардеров</i> .....	63
<b>Копейкин А.М., Задраускайте Н.О.</b> <i>О моделировании раскря досок на заготовки</i> .....	68
<b>Копейкин А.М., Корельская М.А.</b> <i>Об изменениях в спецификациях товарных пиломатериалов на примере лесозэкспортных предприятий</i> .....	70
<b>Корпачев В.П., Гайдуков Г.А., Пережилин А.И., Андрияс А.А.</b> <i>Результаты экспериментальных исследований диссипации энергии волн на водохранилищах жесткими волногасителями</i> .....	73
<b>Котенко В.Д., Абразумов В.В., Сапожников И.В., Романенков В.А., Кузнецова Л.Н., Терехин А.И.</b> <i>Технология получения препрегов с высоким содержанием полимера</i> .....	77
<b>Куницкая О.А.</b> <i>Сквозные процессы лесозаготовительного производства для лесопромышленных холдингов, включающих мачтопропиточные заводы</i> .....	81

<b>Лаптев А.В.</b> <i>Параметры рабочей позиции многооперационной машины манипуляторного типа</i> .....	85
<b>Левушкин Д.М.</b> <i>Испытания физико-механических свойств асфальтобетонных смесей</i> .....	91
<b>Ледницкий А.В.</b> <i>Сравнительный анализ систем машин для производства топливной щепы</i> .....	94
<b>Макаренко А.В.</b> <i>Программное проектирование трелевочных волоков на лесосеке</i> .....	99
<b>Макуев В.А., Комаров Н.А., Хватов Е.А.</b> <i>Геометрия установки агрегата для формирования кроны деревьев</i> .....	105
<b>Матросов А.В., Быковский М.А.</b> <i>Моделирование работы и оценка эффективности системы лесосечных машин</i> .....	107
<b>Матюшкина О.Н., Быковский М.А.</b> <i>Анализ применения зарубежной многофункциональной техники с канатно-чокерной оснасткой на выборочных рубках</i> .....	112
<b>Пискунов М.А.</b> <i>Закономерности образования лесосечных отходов на лесосеках</i> .....	117
<b>Питухин А.В., Скобцов И.Г.</b> <i>Математическая модель напряженно-деформированного состояния элементов конструкций кабин лесозаготовительных машин с учетом пластических деформаций</i> .....	121
<b>Прохоров В.Ю.</b> <i>Технология получения углеродных антифрикционных материалов для подшипников скольжения технологического оборудования</i> .....	125
<b>Рябухин П.Б., Казаков Н.В., Абузов А.В.</b> <i>Метод комплексного анализа систем устойчивого лесопользования</i> .....	129
<b>Салминен Э.О., Борозна А.А.</b> <i>Логистическо-математическое моделирование транспортно-технологического процесса лесопромышленного комплекса</i> .....	132
<b>Свойкин Ф.В., Григорьев И.В.</b> <i>Мобильная канатно-рельсовая трелевочная установка (МКРТУ)</i> .....	137
<b>Селиванов К.В.</b> <i>Диагностирование дизелей лесных машин, работающих на биотопливе</i> .....	142
<b>Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю.</b> <i>Система лесозаготовительной логистики для сортиментной технологии с учетом возможности заготовки топливной древесины</i> .....	145
<b>Сорокин М.А.</b> <i>Устойчивость на сдвиг мягких гидротехнических сооружений наполняемого типа</i> .....	150
<b>Суханов Ю.В.</b> <i>Система моделирования лесозаготовок с учетом потребностей биоэнергетики</i> .....	152
<b>Сухих А.Н.</b> <i>Современные аспекты повышения эффективности технологии лесозаготовок</i> .....	158
<b>Сушков А.С.</b> <i>Методы оценки экологического и энергетического качества лесовозных автомобильных дорог</i> .....	162
<b>Сушков С.И.</b> <i>Совершенствование параметров распределения и транспортировки лесопроductии с учетом их влияния на размещение производства</i> .....	167
<b>Тесовский А.Ю., Лапин А.С.</b> <i>Дистанционная система мониторинга технического состояния технологических и транспортных машин ЛПК</i> .....	170
<b>Федоренчик А.С.</b> <i>Состояние и пути развития лесозаготовок в Республике Беларусь</i> .....	175
<b>Щербаков Е.Н., Карпачев С.П.</b> <i>Экспериментальные исследования количественной оценки лесосечных отходов методом линейных пересечений</i> .....	179
<b>Якимович С.Б., Ефимов Ю.В.</b> <i>Экспериментальная оценка распределения мощности по составляющим цикла продольного лесопиления на основе амплитудно-частотных характеристик</i> .....	185
<b>Якимович С.Б., Тетерина М.А., Груздев В.В.</b> <i>Опытно-промышленная оценка эффективности нового способа заготовки сортиментов</i> .....	192

## ЛЕСОИНЖЕНЕРНАЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ: СТАНОВЛЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Специальность лесоинженерное дело создавалась в тяжёлый период истории России – Гражданской войны 1918 – 1920 г. Первый набор студентов на эту специальность проведен летом 1921 г. в Московском лесотехническом институте, который был открыт двумя годами ранее, в 1919 г., на основании декрета Советского Правительства о создании специальности инженер-лесотехнолог по заготовке, транспорту и переработке древесины.

В 20-е годы прошлого века лесоинженерный факультет МЛТИ, осуществлявший подготовку по базовой специальности, был самым многочисленным по количеству обучающихся студентов. Вскоре подготовка лесоинженеров стала проводиться в ведущих лесных вузах страны: ЛЛТА, АЛТИ, УЛТИ, СибТИ, ВЛТИ, ПЛТИ (названия прежние) и рядом других.

Большой вклад в развитие специальности лесоинженерное дело на протяжении 90 лет внесли многие выдающиеся учёные и педагоги. Следует вспомнить такие имена, как А.Н. Сулимов, И.И. Сиротов, Т.В. Хованский, Ю.В. Шелгунов, И.Ф. Верхов, Г.А. Вильке, П.П. Пациора, Б.А. Таубер, Б.И. Кувалдин, Б.Д. Ионов, К.М. Ашкенази, Б.Г. Залегаллер, В.Г. Кочегаров, П.В. Ласточкин, С.И. Рахманов, В.Н. Меньшиков, В.И., Алябьев, В.М. Захариков, Ю.Я. Дмитриев и многие другие. Их труды были не напрасны: выпускники «Лесоинженерного дела» были, а многие и в настоящее время работают ведущими специалистами предприятий, НИИ, КБ и проектных институтов, стали учеными российского и мирового уровня, руководителями различного уровня вплоть до министров и их заместителей. И это не случайно. Подготовка и широкий уровень знаний (несомненно, и личностные качества) давали возможность для продвижения. Именно из инженерного корпуса технологов и механиков, знающих производство, шло пополнение руководящих кадров. Широкий спектр деятельности требовал широкой сферы подготовки специалистов: фундаментальной, общетехнической, лесохозяйственной, лесоперерабатывающей и специальной. Специалисты лесоинженерного дела внесли и вносят большой вклад в развитие лесной промышленности страны, разработку новых перспективных машин и оборудования, а также работают преподавателями и учёными тех учебных заведений, выпускниками которых были.

В конце января – начале февраля 2012 г. прошла ежегодная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава МГУЛ, посвящённая юбилейной дате – 90-летию подготовки специалистов лесоинженерного профиля. Особенностью этой конференции было широкое участие ученых, преподавателей и производителей практически из всех регионов России и Республики Беларусь. Значительное количество докладов, прозвучавших на пленарном и рабочих заседаниях, отразили широкий спектр проводимых научных исследований и созданных разработок по фундаментальным и прикладным направлениям науки для лесопромышленного комплекса. Естественно, во многих выступлениях рассматривались не только проблемы науки, но и тема высшего образования по лесоинженерному профилю, его важности и значимости в современных условиях. Неоспоримо высокая роль лесоинженера в лесном комплексе и других отраслях экономики явилась общим лейтмотивом выступавших.

М.А. Быковский, А.В. Макаренко

## ТЕХНИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ АЭРОСТАТНО-КАНАТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ

А.В. АБУЗОВ, доц. каф. технологии заготовки и переработки древесных материалов Тихоокеанского ГУ, канд. техн. наук

ac-systems@mail.ru

Многолетние отечественные и зарубежные практические исследования аэростатных систем, применяемых в области трелевки и транспортировки древесины, послужили серьезной основой для выработки оптимальных технических и конструктивных решений при утверждении внешнего облика, а также параметров управления данным оборудованием, с учетом достижения эффективной и рентабельной эксплуатации [1–3].

Современный комплекс аэростатно-канатной системы трелевки АКС-5, совмещающий радиодистанционное управление с элементами пеленгации и совокупность модернизированных технических механизмов и элементов, относится к третьему поколению аэростатных систем, разработанных для трелевочных операций в горной местности (рис. 1).

Аэростатный носитель системы представляет собой газовый аэростат, «луковичной» формы (естественной формы).

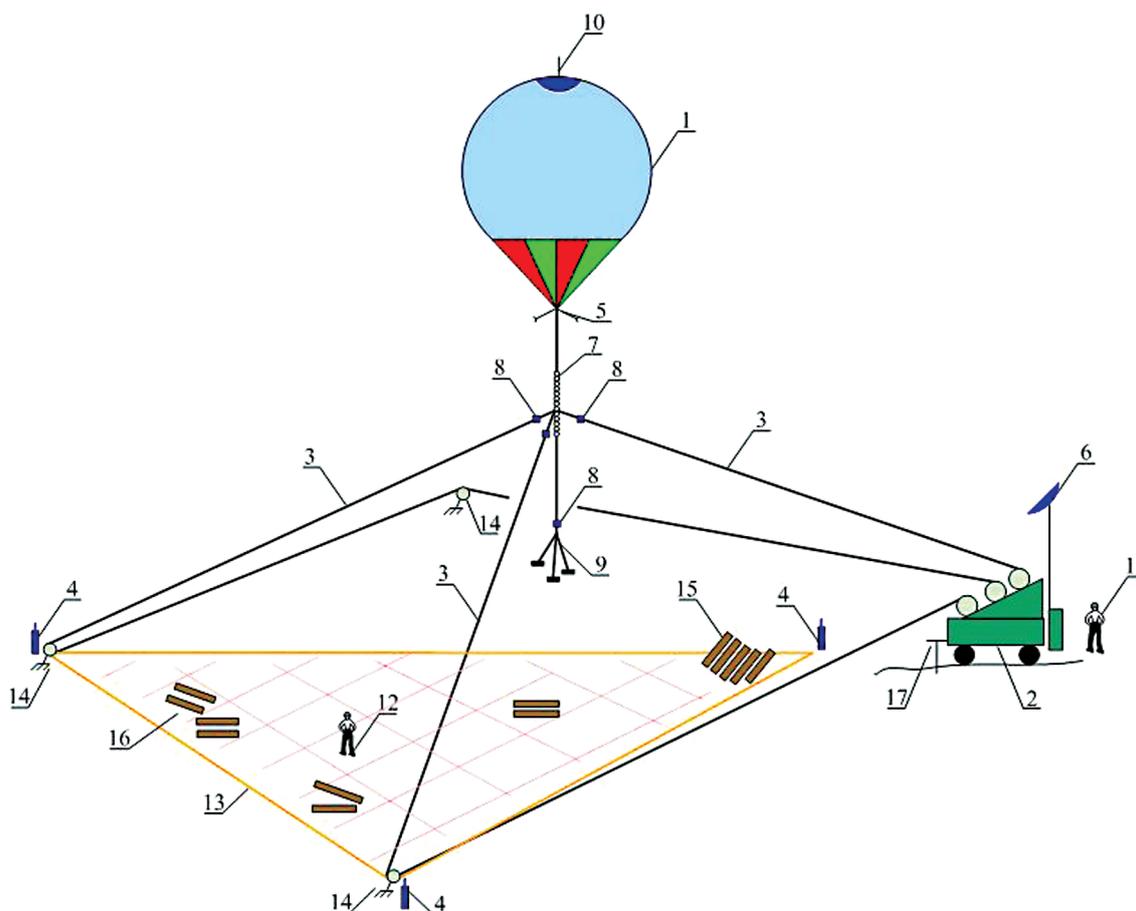


Рис. 1. Комплекс аэростатно-канатной системы трелевки: 1 – газовый аэростат; 2 – трехбарабанная лебедка; 3 – тягово-возвратные нити; 4 – контурные маячки; 5 – пеленгатор системы управления; 6 – комплекс управления навигационной системой; 7 – амортизатор; 8 – динамометры; 9 – чокера с РДУ; 10 – молниеотвод; 11 – основной оператор; 12 – дополнительный оператор; 13 – контур рабочего участка; 14 – направляющие контурные блоки; 15 – разгрузочный пункт; 16 – древесина для трелевки; 17 – заземление

В связи с тем, что аэростат для выполнения трелевочных работ во время обработки лесного участка постоянно меняет направление движения в горизонтальной и вертикальной плоскостях, эксплуатация аэростата аэродинамической формы в данном случае снижала бы оперативность передвижения.

С учетом того, что АКС должна эксплуатироваться в горных районах, т.е. районах с неустойчивыми, изменяющимися по направлению и скорости ветровыми потоками, имеющими собственную турбулентность, и аэростат должен передвигаться относительно поверхности с некоторой собственной скоростью, лучшие аэродинамические показатели оперенного аэростата обтекаемой формы будут практически не востребованы.

Кроме того, при изменении скорости ветрового потока у аэростата аэродинамической формы будет возникать дополнительная неуценная положительная и отрицательная подъемная сила, которая является переменной величиной и не может быть принята в расчет летно-технических характеристик.

Аэростат с естественно образующейся формой характеризуется высокими несущими свойствами, несмотря на неблагоприятные особенности воздушного потока приземного слоя (турбулентность, восходящие потоки, изменение направления и силы ветра), способен противостоять высоким ударным нагрузкам. При естественно образующейся форме не происходит местных перегрузок материала оболочки, отсутствуют чрезмерные концентрации напряжений. При такой форме нагрузки от полезного груза распределяются главным образом меридионально и напряжение по касательной на окружности практически равно нулю [4].

**Баллонет** аэростата компенсирует изменение объема газа от температурных колебаний и поддерживает избыточное давление во время сильных ветровых порывов и утечки несущего газа через материю оболочки. Он имеет систему принудительного надува, в отличие от прошлых конструкций аэростата, когда поступление воздуха осуществлялось просто от потока ветра через «юбку» в нижней части аэростата. В наших условиях

надува может быть недостаточно, особенно в период низких температур, когда газ внутри оболочки сильно сжимается.

**Грузовая подвеска АКС и силовая часть оболочки** представлена следующими элементами:

- верхнее силовое кольцо служит для крепления силовых каркасных лент и равномерного распределения нагрузки;

- специальная подболочная каркасная подвеска, служащая для связи силовых каркасных лент оболочки с верхним канатом грузовой подвески;

- гибкий амортизатор, который находится в центре грузовой подвески и служит для уменьшения динамических нагрузок на канаты при рывках аэростата в процессе разгрузки и при порывах ветра;

- в амортизаторе имеется специальное грузовое кольцо для соединения трех нитей тяговых канатов, чем он разделяет грузовую подвеску на две составляющие – канат для удержания аэростата и канат для удержания груза. Нити тяговых канатов крепятся к грузовому кольцу через электронные динамометры, которые фиксируют и передают показания натяжения канатов в верхней точке соединения в радиоэлектронном виде на пульт управления АКС;

- нижняя часть подвески (канат для удержания груза) также снабжена электронным динамометром, фиксирующим показания по весу поднимаемого груза и комплектом радио- дистанционно управляемых чокеров или грейферной системой.

**Система защиты АКС от статического электричества** состоит из следующих элементов:

- молниеотвод, расположенный в верхней части оболочки, имеет связь с грузовой подвеской через несколько плоских медных канатиков, закрепленных вдоль оболочки;

- механизм сбора статического электричества с канатов, который расположен в универсальном блоке лебедки и имеет выход на заземление.

**Канато-блочная система** состоит из синтетических канатов с напылением ПВХ и металлопластиковых направляющих кон-

турных блоков. Использование современных канатов дает возможность увеличить грузоподъемность, расстояние трелевки и сопротивляемость аэростата ветровым потокам при неизменном объеме оболочки, а также облегчить и ускорить монтажный процесс подготовительных работ. Применение пластиковых или металлопластиковых блоков устраняет истирание и, следовательно, быстрый износ синтетических канатов [5].

**Аэростатная лебедка** представляет собой самопередвигающуюся трехбарабанную радиодистанционно управляемую лебедку с электрическим приводом. В процессе управления участвуют два оператора: первый (основной) – на разгрузочном пункте, второй оператор, использующийся только в случае применения чокерной системы захвата, – на деляне, в месте загрузки аэростата. Каждый из операторов имеет радиопульт управления, сигналы от которого через основную передающую антенну, находящуюся под оболочкой аэростата, поступают на основной пульт управления. На мониторе пульта управления у основного оператора отражаются значения напряжений в канатах, скорость намотки и возможные различные критические моменты. На каждой из направляющих нитей лебедки имеются гибкие амортизаторы, которые необходимы для уменьшения нагрузок от динамических рывков. Каждый из трех барабанов оснащен распределительным механизмом для правильной укладки каната и специальным универсальным блоком, который служит для обеспечения приема каната с различных направлений от аэростата. Все шкивы и выходные ролики лебедки также выполнены из металлопластика.

**Система радиуправления** АКС представлена комплексом, с помощью которого можно управлять движением аэростата как полуавтоматически, с помощью локальной навигационной системы и радиосигналов, так и с помощью ручного пульта управления подачи радиосигналов. Реализация радиодистанционного управления аэростатно-канатной системой может быть представлена двумя вариантами – способами с использованием чокерной или грейферной системами

захвата, выбор которых зависит от лесоводственных требований и способа рубок.

**Навигационная система** управления состоит из следующих элементов:

- пеленгатор радиосигналов;
- антенна пеленгатора;
- контурные маячки;
- автономный пульт управления (для чокеровщика);
- основной пульт управления;
- система сбора, обработки радиосигналов и расчета координат;
- система курса и высоты движения аэростата;
- система управления скоростью намотки и размотки канатов (для каждого из барабанов лебедки);
- система наблюдения и обработки рабочих характеристик и параметров АКС во время эксплуатации (натяжение канатов, скорость движения, скорость ветра, атмосферное давление, температура окружающего воздуха, электростатическое электричество и т.д.)
- система компьютерной визуализации контура обрабатываемого участка с ориентировкой на исходящие радиосигналы от точки необходимых координат;
- система записи параметров процесса работы на электронный носитель.

**Пульт системы управления** представлен в виде трехосного и двухосного джойстиков и нескольких дополнительных кнопок управления.

Трехосный джойстик служит для управления аэростатной системой в горизонтальной плоскости. Помимо плавного управления рычагом джойстика, на пульте есть дополнительные контрольные кнопки «Стоп» и «Движение». Фиксирование и регулировка скорости ведется с помощью регулятора оборотов и скорости.

Управление в вертикальной плоскости осуществляется с помощью второго двухосного джойстика, который также имеет дополнительные кнопки управления.

**Процесс применения** АКС на эксплуатационном участке начинается с фиксации сигналов от расставленных контурных маячков. Это осуществляется через основную

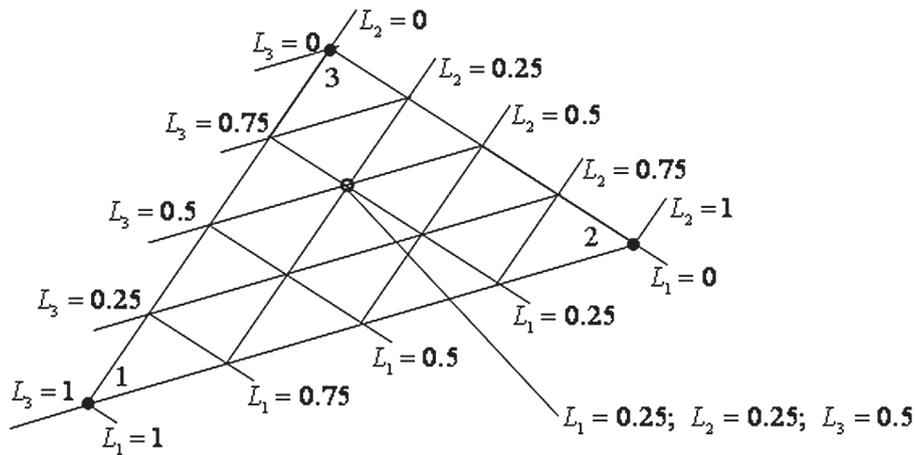


Рис. 2. Относительная система  $L$ -координат

$S_{01max} = S_{01max}(\text{Alpha}, \text{Thetta}, h=100)$  на стороне 13

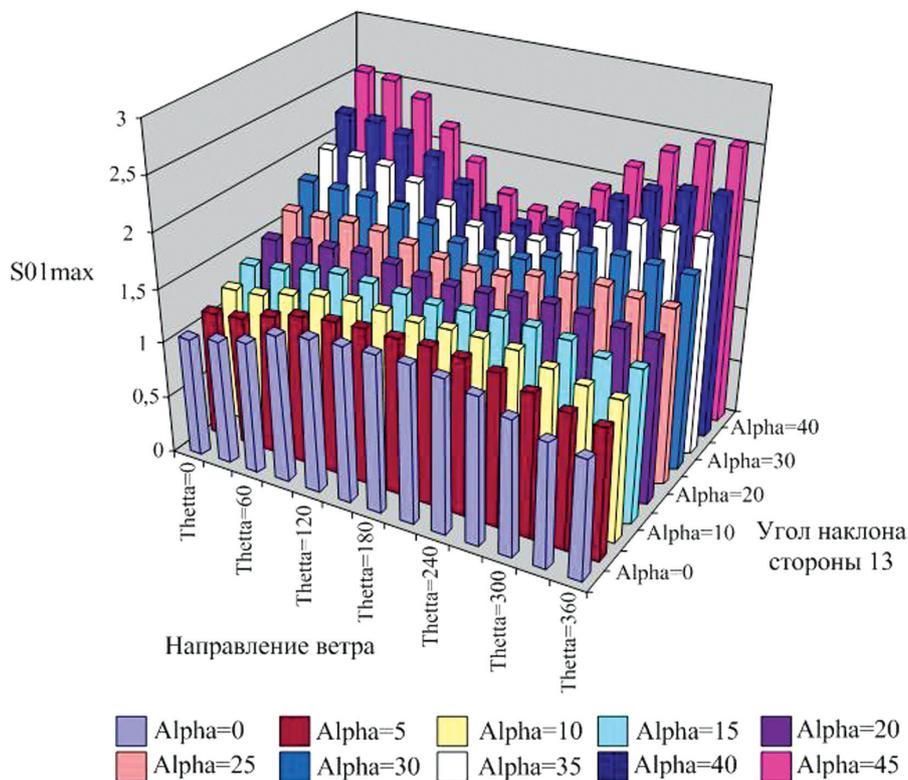


Рис. 3. График изменения напряжения в канате с изменением угла склона и угла направления ветрового потока

антенну пеленгатора, находящуюся под оболочкой аэростата. Зафиксированные сигналы поступают в систему сбора, обработки радиосигналов и расчета координат. Обработав сигнал, система выдает на экран координаты со схемой расположения контурных маячков, тем самым задавая координаты рабочего участка. Координаты показывают удаленность маячков от основной лебедки, уровень

высоты расположения АКС в системе координат  $X, Y, Z$ .

Аналогичный маячок имеется у вальщика. После спила дерева вальщик посылает сигнал, координаты которого фиксируются пеленгатором. Исходя из этих координат, система автоматически определяет параметры длин, скоростей выгибания для каждого из трех канатов и после команды основного

оператора осуществляет наводку аэростата на место загрузки. Перед началом работ скорость может устанавливаться путем введения оператором данных в компьютер.

Естественно, при наличии множества спиленных деревьев на мониторе системы управления отражается такое же количество точек и их координаты. Последовательность начала трелевки помеченных деревьев определяет оператор, исходя из обработанных данных по рельефным и погодным условиям. Для более точного попадания и управления моментом захвата в реальном времени грейферная или чокерная система оснащена специальной камерой, которая передает изображение работы на монитор основного пульта управления. Видя происходящее в реальном времени, оператор при необходимости может маневрировать работой лебедок, соответственно меняя положение аэростата, и системами захвата груза.

После подхода аэростата в заданную точку в некоторых случаях может возникнуть необходимость в дополнительных действиях, таких как блокировка (стоп), движение одной или несколькими лебедками, обеспечивающих более точный подход АКС к грузу. Для этих целей может использоваться дополнительный ручной пульт управления, который находится у дополнительного оператора или чокеровщика на лесосеке.

Возврат аэростата к постоянному месту разгрузки осуществляется также с учетом координат двух точек (загрузки и разгрузки), рельефных параметров, рейсовой загрузки и скорости перемещения [6].

В основе разработанного под руководством автора программного обеспечения для управления АКС лежит система расчета по определению положения точки грузовой подвески аэростата с использованием метода аппроксимации рельефа по  $L$ -координатам (рис. 2).

Полученная методика и программа определения координат способна не только выполнять мгновенные расчеты по определению месторасположения груза на эксплуатационном участке и нагрузкам, возникающим в канатах, но и корректировать работу АКС с учетом погодных условий (направление и сила ветра, температура воздуха, высота над

уровнем моря) для каждой отдельно взятой рабочей точки [7]. Помимо цифровых значений, программа способна проводить расчеты по планированию последовательности обработки участка с учетом изменения направления ветра. Параметры подобных изменений могут выражаться не только цифровыми значениями, но графически (рис. 3).

В настоящий момент с учетом накопленного опыта учеными ТОГУ начата разработка аэростатно-канатной системы для трелевки древесины уже четвертого поколения. В основе этой системы лежит метод воздушного спила растущих деревьев без последующего их падения с дальнейшей транспортировкой на погрузочный пункт. Непосредственно под эту технологию, с участием специалистов из ДальНИИЛХ, разработаны специальные геометрические формы и типоразмеры волоков и эксплуатационных площадок. Разрабатываемая технология позволит не только максимально сохранять экосистему горных лесов, но и способствовать эффективно, естественно лесовосстановлению и росту молодых древостоев.

#### Библиографический список

1. Ярцев, И.В. Исследование подъемной силы аэростата при трелевке леса в горных условиях / И.В. Ярцев : дисс... канд. техн. наук. – М., 1968. – 400 с.
2. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование возможностей использования летательных аппаратов на лесозаготовках в горных условиях». Ч. 1, 2. – Химки: ЦНИИМЭ, 1985. – 189 с.
3. Абузов, А.В. Патент на полезную модель № 31481 / А.В. Абузов // Аэростатно-тросовая система для трелевки леса и перемещения груза: Государственный реестр полезных моделей РФ. – 2003.
4. Бойко, Ю.С. Воздухоплавание: Привязное. Свободное. Управляемое / Ю.С. Бойко. – М.: МГУП, 2001. – 462 с.
5. Industrial rope catalog. // Samson rope technologies, 2003. – 60 p.
6. Абузов, А.В. Перспективы внедрения и эксплуатации современных аэростатных систем трелевки / А.В. Абузов // Наука – Хабаровскому краю: материалы восьмого краевого конкурса-конференции молодых ученых и аспирантов. – Хабаровск: ТОГУ, 2006. – С. 144–154.
7. Ловцов, А.Д. Определение усилий натяжения канатов аэростатных трелевочных систем / А.Д. Ловцов, А.В. Абузов // Новые идеи нового века: 7-й международный научный форум ИАС ТОГУ. – Хабаровск: ТОГУ, 2007. – 466–474.

## МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ РАСКРОЯ ХЛЫСТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ СОРТИМЕНТОВ

Ю.И. БЕЛЕНЬКИЙ, доц. каф. технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ  
им. С.М. Кирова, канд. техн. наук,

О.И. КУНИЦКАЯ, доц. каф. технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ  
им. С.М. Кирова, канд. техн. наук,

С.С. БУРМИСТРОВА, асп. каф. технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ  
им. С.М. Кирова

tlzp@inbox.ru, ola.ola07@mail.ru, unpplta@mail.ru

Оптимизация технологических операций лесозаготовительного и лесоперерабатывающих производств является необходимым условием эффективного развития лесопромышленного комплекса. Раскрой хлыстов является важной составляющей рационального использования заготовленной древесины, поэтому поиск математического метода его оптимизации является актуальным. Основной исходной информационной составляющей для этого является пространственный профиль хлыста, подлежащего раскрою. Образующую ствола хлыста следует аналитически описывать как сложную пространственную кривую, поэтому сам ствол рассматривается как тело, составленное из различных конусообразных тел.

Целевой функцией оптимального раскроя хлыста становится наибольший выход целевых сортиментов в стоимостном выражении [1].

Математический аппарат рассмотрения оптимальной программы раскроя с позиции методов классического анализа, градиента, одношагового поиска, динамического программирования представлен в [2], а линейного программирования на целочисленной решетке – в [3]. В общем случае решаемая задача является нелинейной и представление ее решения становится востребованным.

Для каждого хлыста задача оптимального раскроя методом нелинейного программирования (НЛП) ставится следующим образом: найти максимум нелинейной целевой функции

$$\sum c_i l_i x_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum l_i x_i \leq L, \quad (2)$$

$$\sum v_i x_i \leq V, \quad (3)$$

где  $V, L$  – соответственно объем и длина хлыста;

$v, l$  – соответственно объем и длина сортимента,  $x \in N$  ( $N$  – множество положительных целых чисел);

$c$  – стоимость 1 м, зависящая от диаметра лесоматериала.

Задача может быть дополнена обязательствами по портфелю заказов  $x_i \leq N_i$ .

На основании аналитического анализа цен на круглые лесоматериалы, установленные лесозаготовителями, была получена формула для определения стоимости 1 м сортимента от диаметра [3]

$$c = 1812,5d^{5/2}. \quad (4)$$

На основании исследований, выполненных в работе [3], зависимость текущего объема хлыста от длины имеет линейный характер

$$d^2/d_k^2 = 1 - 1/L, \quad (5)$$

где  $d_k$  – диаметр в комлевом сечении.

С учетом минимально допустимого значения вершинного диаметра  $d_0$  при соответствующей ему длине ствола  $L_0$  можно получить выражение

$$(d^2 - d_0^2)/(d_k^2 - d_0^2) = 1 - 1/L_0, \quad (6)$$

откуда следует зависимость диаметра от длины в виде

$$d^2 = (d_k^2 - d_0^2)/(1 - 1/L_0) + d_0^2,$$

или

$$d^2 = [(d_k^2 - d_0^2)/(1 - 1/L_0) + d_0^2]^{1/2}. \quad (7)$$

После подстановки (7) в (4) получаем формулу для расчета текущей стоимости одного метра по длине ствола

$$c = 1812,5[(d_k^2 - d_0^2)/(1 - 1/L_0) + d_0^2]^{5/4}. \quad (8)$$

Таким образом, условие оптимизации раскроя хлыста на сортименты с учетом (8)

переходит в условие определения максимального значения функционала стоимости

$$c = 1812,5]dl[(d_k^2 - d_0^2)/(1 - 1/L_0) + d_0^2]^{5/4} \rightarrow \max, \quad (9)$$

после интегрирования (9) с учетом граничных условий получаем

$$c = 805,6L_0(d_k^2 - d_0^2)^{-1} \left\{ d_k^2 - [(d_k^2 - d_0^2)(1 - \frac{1}{L_0}) + d_0^2]^{9/4} \right\}$$

тогда оптимальному раскрою хлыста соответствует максимальное значение функционала (9)

$$c = 805,6L_0(d_k^2 - d_0^2)^{-1} \times \left\{ d_k^2 - \left[ (d_k^2 - d_0^2) \left( 1 - \sum \frac{l_i x_i}{L_0} \right) + d_0^2 \right]^{9/4} \right\} \rightarrow \max. \quad (10)$$

Видно, что максимальному условию (10) соответствует условие минимума

$$1 - \sum l_i x_i / L_0 \rightarrow \min.$$

При  $1 - \sum l_i x_i / L_0 = 0$ , получаем значение максимальной стоимости хлыста

$$c = 805,6L_0(d_k^2 - d_0^2)^{-1}(d_k^{9/2} - d_0^{9/2}). \quad (11)$$

Формула (11) показывает зависимость стоимости хлыста от длины, диаметра в комлевом сечении и минимального диаметра вершинной части, определяющего минимальный диаметр сортимента.

Целевую функцию можно переопределить как двойственную (1) в виде

$$[C - \sum c_i l_i x_i], \quad (12)$$

и оптимизацию выполнять из условия минимума этой функции

$$[C - \sum c_i l_i x_i] \rightarrow \min, \quad (13)$$

при ограничении (2).

Таким образом, задачу оптимального раскроя хлыстов на сортименты можно сформулировать как задачу квадратичного программирования:

Найти минимум целевой функции

$$1/2[C - \sum c_i l_i x_i]^2 \rightarrow \min, \quad (14)$$

при ограничении (2).

В этом случае задача решается аналитическим методом Лагранжа путем нахождения стационарного значения вспомогательной функции

$$F = 1/2[C - \sum c_i l_i x_i]^2 + \lambda(\sum l_i x_i - L), \quad (15)$$

путем решения системы уравнений (16) и (17)

$$\partial F / \partial x_i = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (16)$$

$$\partial F / \partial \lambda = \sum l_i x_i - L = 0. \quad (17)$$

С учетом (15) система уравнений принимает вид

$$\partial F / \partial x_i = [C - \sum c_i l_i x_i](-c_i l_i) + \lambda l_i. \quad (18)$$

Система уравнений является линейной и замкнутой по числу неизвестных  $x_i$  и  $\lambda$ , поэтому ее решение находится по формуле Крамера

$$X_i = d_i / d, \quad (19)$$

где  $d$  – определитель основной матрицы системы уравнений (15) и (18);

$d_i$  – определитель матрицы, получающейся из определителя основной матрицы путем замены I-того столбца столбцом из свободных членов.

В первом приближении целевую функцию (14) можно представить в виде

$$1/2[cL - \sum c a_i l_i x_i]^2 \rightarrow \min, \quad (20)$$

или

$$1/2[L - \sum a_i l_i x_i]^2 \rightarrow \min, \quad (21)$$

где  $c$  – стоимость единицы длины, соответствующая среднему диаметру хлыста;

$a$  – относительное отклонение стоимости единицы длины для каждого типоразмера сортимента, при  $l_i > l_{i+1}$  имеет место условие  $a_i > a_{i+1}$ .

При раскряжке на два типоразмера получаем формулы

$$X_1 = Ll_1^{-1}(1 - a_2)/(a_1 - a_2), \quad (22)$$

$$X_2 = Ll_2^{-1}(a_1 - 1)/(a_1 - a_2). \quad (23)$$

Полученные формулы определяют область на целочисленной решетке оптимального раскроя хлыстов на сортименты.

Выполненные исследования показывают, что решение задачи оптимального раскроя хлыстов методом нелинейного программирования сводится к нахождению узлов  $N$ -мерной целочисленной решетки, примыкающих к  $N$ -мерной гиперплоскости ( $N$  – общее число типоразмеров сортиментов), определяемой уравнением

$$\sum l_i x_i = L, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N,$$

а целевая функция указывает на область целочисленной решетки (верхнюю или нижнюю), где находится оптимальное решение.

Поэтому основным информативным параметром решения поставленной задачи

являются длина хлыста и числа типоразмеров сортиментов, на которые необходимо выполнить операцию раскроя.

#### Библиографический список

1. Куницкая, О.А. Повышение эффективности заготовки сырья для мачтопропиточных заводов при проведении лесосечных работ / О.А. Куницкая,

И.И. Тихонов, С.С. Бурмистрова, И.В. Григорьев // Научное обозрение, 2011. – № 4. – С. 78–85.

2. Петровский, В.С. Оптимальная раскряжка лесоматериалов / В.С. Петровский. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 288 с.

3. Ледеява, А.С. Обоснование оптимального раскроя хлыстов методом линейного программирования / А.С. Ледеява: дисс... канд. техн. наук. – СПб.: ЛТА, 2007. – 20 с.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСОВ

О.В. БОЛОТОВ, доц. каф. использования водных ресурсов СибГТУ, канд. техн. наук

*ivr@sibstu.kts.ru*

Мировое сообщество стран, обладающих лесными ресурсами, переходит на новый уровень развития лесных отношений – устойчивое управление лесами. В настоящее время сформулированы и продолжают развиваться принципы устойчивого лесопользования. В самом общем смысле под устойчивым управлением лесами понимается организация такого их использования, при котором обеспечивается сохранение биоразнообразия, продуктивности, возобновление, жизнеспособность и потенциал выполнять сейчас и в будущем соответствующие экологические, экономические и социальные функции на местном, национальном и глобальном уровнях. При этом принцип устойчивости рассматривается как «установление некоторых предельных норм и правил» для все более возрастающего потребительского отношения общества к ограниченным возможностям природной среды. Соблюдение этих норм должно обеспечиваться и регламентироваться на международном и национальном уровнях соответствующей лесной политикой, лесным законодательством и нормативной базой. Именно эти инструменты в основном и определяют конкретные решения о собственности на леса, их охране, защите, воспроизводстве, с одной стороны, и рациональном и экономически эффективном освоении – с другой.

В настоящее время разработаны и продолжают развиваться системы оценки состояния лесов и ведения лесного хозяйства на соответствие принципам устойчивого раз-

вития. Разработаны концепции критериев и индикаторов, которые незначительно отличаются в разных международных и национальных инициативах, но совпадают между собой по оцениваемым проблемам и содействуют развитию устойчивого управления лесами. Однако любая система критериев и индикаторов не призвана определять нормативно-правовую базу, которая в конкретных условиях каждой страны позволит решать проблему планирования и организации устойчивого лесопользования.

Учение о пользовании лесом в России имеет более чем 200-летнюю историю. По мере исторической эволюции, накопления научных знаний и изменения социально-экономических условий менялись организационные формы ведения лесного хозяйства, однако основной научный подход к пользованию лесом носил постоянную смысловую нагрузку, которая в современной теории и законодательной базе формулируется как принцип непрерывного, неистощительного пользования лесом – ННПЛ.

Для соблюдения принципа ННПЛ необходимо установление нормы пользования, которая будет учитывать состояние лесных ресурсов и их воспроизводство. Такая постановка вопроса является исходной методологической основой лесопользования. Эквивалентом нормы годичного пользования выступает расчетная лесосека.

На основе моделирования динамики лесного фонда (разработка опубликована нами

ранее в Лесном журнале еще в 1999 г. [1]), разработана математическая модель (1–6) для определения и оптимизации расчетной лесосеки для группы хозяйственных секций [2, 3]

$$\sum_{p=1}^P X_{m+1;p} - \sum_{p=1}^P X_{m;p} \geq 0, (m = \overline{1, d}; p = \overline{1, P}); \quad (1)$$

$$X_{m+1;p} - X_{m;p} \geq 0, (m = \overline{1, d}; p = \overline{1, P}); \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^m X_{k;p} \leq \sum_{k=1}^m \eta_{g-k+1;p} \mu_{g-k+1;p} S_{g-k+1;p}^1 + \alpha \eta_{g-k+1;p} \mu_{g-k+1;p} S_{g-m;p}^1$$

$$(m = \overline{1, d-1}, d < g; p = \overline{1, P}); \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{i;p} - \alpha_p \beta_p X_{d-g+1;p} - \beta_p \sum_{j=1}^{m-g} X_{j;p} \leq \sum_{i=1}^g \eta_{g-k+1;p} \mu_{g-k+1;p} S_{i;p}^1$$

$$(m = g; d; d \geq g; p = \overline{1, P}); \quad (4)$$

$$(1 - \alpha) \beta_p X_{p;d-g} \geq S_p^{\min}; \quad (5)$$

$$F = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^d X_{p;k} C_p \rightarrow MAX, \quad (6)$$

- где  $p$  – номер хозяйственной секции;  
 $P$  – число хозяйственных секций;  
 $X_{i;p}$  – расчетная лесосека  $i$ -го десяти- или двадцатилетия (далее для краткости – десятилетия)  $p$ -й хозяйственной секции;  
 $S_{i;p}$  – площадь лесосеки  $i$ -й возрастной градации  $p$ -й хозсекции;  
 $S_p^{\min}$  – минимально допустимая с экологической точки зрения площадь спелых лесов  $p$ -й хозяйственной секции;  
 $C_p$  – товарная продукция, на 1 га  $p$ -й хозяйственной секции;  
 $m$  – номер расчетного десятилетия;  
 $\alpha$  – коэффициент, учитывающий интенсивность перехода приспевающих лесов в категорию спелых;  
 $S_g$  – площадь спелых и перестойных лесов;  
 $g$  – число возрастных градаций древостоя;  
 $S_g^1$  – площадь лесосеки  $g$ -й возрастной градации в первом десятилетии;  
 $d$  – число расчетных десятилетий;  
 $k$  – расчетное десятилетие;  
 $\beta$  – коэффициент, характеризующий качество процесса лесовосстановления;

$\eta$  и  $\mu$  – коэффициенты «риска», учитывающие вероятность потерь ресурсов древесины от пожаров, лесных вредителей и других негативных факторов.

Ограничение (1) определяет требование общей неубываемости (неистощительности и равномерности) лесопользования. Ограничение (2) может применяться к лесосекам с хозяйственно ценным древостоем, неубываемость которых обусловлена экономическими или экологическими требованиями. Ограничениями (3), (4) учитываются возможные потери ресурсов древесины от негативных природных или антропогенных воздействий и несвоевременного и/или некачественного лесовосстановления соответственно. Для сохранения биологического разнообразия можно исключить возможность истощения определенных пород древостоя системой ограничений (5). В полученной модели в качестве целевой функции (6) принято требование максимизации товарной продукции. Следует отметить, что данная математическая модель устраняет ряд существенных недостатков методик, применяемых в настоящее время, и дает широкие возможности для уточнения и конкретизации задачи путем введения дополнительных ограничений. В частности, здесь обеспечивается неистощительность и равномерность лесопользования, учитываются процессы лесовосстановления, возможные потери ресурсов древесины от пожаров, вредителей и других естественных и антропогенных факторов.

На основе этой модели нами разработано соответствующее программное обеспечение («Расчет оптимальной величины расчетной лесосеки по прогнозируемым запасам древесины»), свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2009613237).

В условиях новой системы лесного планирования при определении нормы годичного пользования лесом необходимо учитывать экономическую доступность лесных ресурсов на основе их динамики на долгосрочную перспективу с учетом основных природных и технико-экономических факторов лесопользования и лесовосстановления,

охраны и защиты лесов. При этом планирование размещения объектов лесного хозяйства и лесопользования должно осуществляться, прежде всего, на основе проектирования оптимальной транспортной инфраструктуры. Лесопользователь обязан сам на основании договора аренды и лесохозяйственного регламента лесничества планировать стратегию и варианты эффективного и рационального лесопользования, которые отражаются в проекте освоения лесов. Проект должен содержать ведомости и тематические лесные карты пространственного размещения лесных дорог и лесосек, а также лесохозяйственных мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов на весь период планирования.

Без планирования и реализации развития транспортной инфраструктуры, причем достаточной плотности и качества, в принципе не могут быть выполнены планы освоения ресурсов древесины и тем более комплекс лесохозяйственных мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов. Следовательно, в этом случае достаточно проблематично говорить о реальном соблюдении принципа ННПЛ, а тем более о возможности решать проблему организации устойчивого лесопользования.

При диалектическом подходе к лесному хозяйству, отмечал Н.П. Анучин [4], «не-

Т а б л и ц а 1

**Варианты исходных данных для проектирования**

Номер варианта	Цена 1 м <sup>3</sup> древесины, руб.	Заграты на заготовку, руб./м <sup>3</sup>	Заграты на вывозку, руб./м <sup>3</sup> на 1 км	Заграты на строительство 1 км дороги, тыс. руб.
1	800	500	2	2000
2	1200	500	2	2000
3	1200	600	4	2000

Т а б л и ц а 2

**Результаты расчета по вариантам**

Номер варианта	Радиус экономической доступности (км), при рентабельности		
	0 %	10 %	20 %
1	120	92	62
2	330	228	194
3	130	50	38

прерывность процесса наращивания древесной массы в лесу следует рассматривать как первопричину, а непрерывное лесопользование – как следствие. Эти диаметрально противоположные явления и служат базой для построения научно обоснованного лесного хозяйства с неистощительным использованием леса. Эта основополагающая идея не раз бралась под сомнение. Однако ни одному из критиков теоретических основ лесного хозяйства не удалось предложить новый метод его организации, при котором бы сохранились сами леса». Также отмечалось большое экономическое и социальное значение непрерывности лесопользования и его равномерности, которые на протяжении всего периода развития лесной науки являются «краеугольным камнем научно обоснованного лесного хозяйства».

Таким образом, для разработки проекта освоения лесов на ближайшее десятилетие и более отдаленную перспективу необходимо решить как минимум три задачи: 1) сколько и каким способом можно заготавливать древесины, не истощая лесосырьевые ресурсы в данном объекте? 2) спроектировать рациональную сеть лесных дорог и обеспечить их поэтапное строительство; 3) разместить лесосеки и комплекс лесохозяйственных мероприятий по времени и территории объекта. При этом лесопользование должно быть экономически эффективным.

В Красноярском крае в настоящее время доступными в транспортном отношении являются только около 17 % от общей площади лесных земель. Общая протяженность дорог, обеспечивающих транспортную доступность эксплуатационных лесов края, составляет почти 36 тыс. км, из которых 16,5 тыс. км – автодороги общего назначения. На 1 тыс. га лесного фонда в крае приходится в среднем 0,6–0,8 км дорог. Это ниже среднего уровня наличия лесовозных дорог в Сибирском федеральном округе, в 2 раза меньше, чем в среднем по России и в 30–40 раз – чем в странах с развитым лесным сектором экономики Европы и Северной Америки. При этом примерно 80 % лесовозных дорог – это временно действующие лесовозные дороги, так называемые «зимники».

Для решения этой проблемы в Лесном плане Красноярского края планируется увеличить общую протяженность лесных дорог до 6 км на 1000 га. В перспективе ставится задача по обеспечению автодорогами территории эксплуатационного лесного фонда в объеме не менее 10 км на 1000 га.

Согласно отраслевой программе «Развитие деятельности по заготовке и переработке древесины» на период 2007–2017 гг. только в Кежемском, Богучанском, Мотыгинском районах Красноярского края планируется построить более 1 тыс. грузосборочных магистралей круглогодочного действия.

Для выполнения качественных предпроектных проработок (ТЗ, ТЭР, ТЭО) и исключительно капиталоемкого дорожного строительства необходимо иметь специаль-

ное информационно-аналитическое обеспечение. Оно необходимо для автоматизированного проектирования и оптимизации схемы сети лесных дорог с одновременным определением экономической доступности планируемых к освоению участков лесного фонда, а также проработки вариантов размещения (во времени и по территории) лесозаготовительного и лесохозяйственного производств. При этом должна быть обеспечена оперативная разработка альтернативных вариантов указанных выше задач для различных сценариев развития ситуации на кратко-, среднесрочные и более длительные периоды планирования. Эти по меньшей мере непростые и слабо формализованные задачи до настоящего времени имеют, на наш взгляд, недостаточную проработку и апробацию.

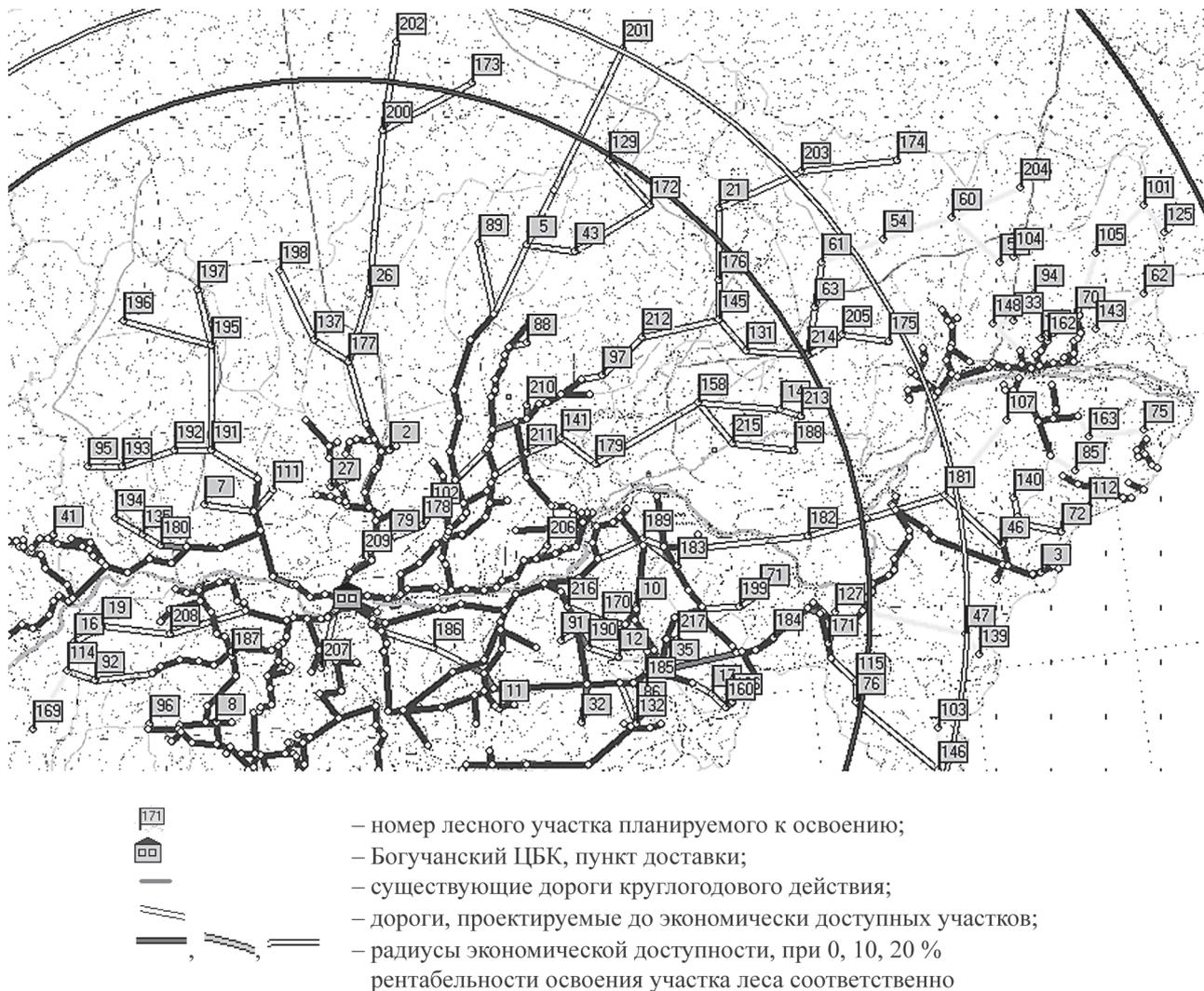


Рисунок. Результаты проектирования и расчета по варианту 2

Нами разработаны алгоритм, математическая модель, программное обеспечение (две программы для ЭВМ зарегистрированы в государственном Реестре: № 2008614147 и № 2009610561) и методика, позволяющие решать вышеуказанные задачи [3, 6].

По заданию Агентства лесной отрасли Администрации Красноярского края на базе наших разработок были спроектированы схемы лесных дорог и определена экономическая доступность ресурсов древесины, расположенных в Кежемском, Богучанском и части Мотыгинского района Красноярского края, где сосредоточено более ста арендных участков с суммарной расчетной лесосекой 77,5 тыс. га. Лесозаготовки на этих участках обеспечивают значительную часть краевых лесоперерабатывающих предприятий, в том числе и для обеспечения древесиной строящегося Богучанского ЦБК. По условию задачи древесина заготавливается на реальных арендных участках, расположенных на территории вышеуказанных районов, и доставляется на ЦБК (п. Ярки) автомобильным транспортом по существующим, а там где их нет – проектируемым (по нашей методике) дорогам. Расчеты выполнены для нескольких вариантов исходных данных, представленных в табл. 1.

Вычисленные радиусы экономической доступности, при рентабельности освоения участка леса – 0, 10, 20 % по трем вариантам приведены в табл. 2.

Результаты расчетов и проектирования сети дорог по варианту 2 представлены на рисунке.

Ранее нами неоднократно было апробировано данное информационно-аналитическое обеспечение на арендных участках Ангаро-Енисейского региона [2, 3, 6]. В данном случае приведен пример определения экономической доступности и проектирования схем сети лесных дорог (магистралей) для весьма крупного объекта. Для таких объектов экономическая доступность участков леса определяется в виде радиусов с заданным уровнем рентабельности. Для более детального анализа и разработки схем сети лесных дорог каждого арендного участка необходимо исследовать их по отдельности по разработанной и апробированной нами методике.

### Библиографический список

1. Болотов, О.В. Математическое моделирование динамики лесного фонда и оптимизация лесопользования / О.В. Болотов, Ю.М. Ельдештейн, А.А. Колесник // Лесной журнал. ИВУЗ. – Архангельск: АЛТИ, 1999. – № 6. – С. 27–31.
2. Болотов, О.В. Моделирование и оптимизация размеров главного пользования лесом: монография / О.В. Болотов, Ю.М. Ельдештейн, А.С. Болотова. – Красноярск: СибГТУ, 2004. – 80 с.
3. Болотов, О.В. Основы расчета и планирования устойчивого управления лесопользованием: монография / О.В. Болотов, Ю.М. Ельдештейн, А.С. Болотова, А.П. Мохирев, Е.В. Горяева. – Красноярск: СибГТУ, 2005. – 183 с.
4. Анучин, Н.П. Проблемы лесопользования / Н.П. Анучин. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 264 с.
5. Болотов, О.В. Оценка эколого-экономического потенциала и доступности лесных ресурсов // Вестник КрасГАУ. Производство товаров и услуг. – Красноярск: КрасГАУ, 2006. – № 8. – С. 79–82.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

А.А. БОРОЗНА, *проф. каф. сухопутного транспорта леса СПбГЛТУ, канд. техн. наук*,  
Э.О. САЛМИНЕН, *зав. кафедрой сухопутного транспорта леса СПбГЛТУ, канд. техн. наук*,  
Д.В. ПУШКОВ, *асп. каф. сухопутного транспорта леса СПбГЛТУ*

*salminen.lta@mail.ru*

Дорожно-строительные и технологические машины и оборудование в лесной отрасли работают в тяжелых условиях, на зна-

чительном удалении от сервисных центров и ремонтных баз. В связи с этим проблема повышения надежности и работоспособности

машин является особенно актуальной. Не менее актуальной является и проблема снижения потребления энергии на технологические процессы.

Исследования кафедры сухопутного транспорта леса СПбГЛТУ совместно с филиалом кафедры в ОАО «НПК РусПромРемонт» по повышению эффективности работы машин и оборудования за счет использования нанотехнологий имеют большое практическое значение для различных отраслей, в том числе и для лесного комплекса страны.

В лесной промышленности используется разнообразная техника как на технологических операциях лесозаготовок и переработки древесины, так и на транспортных операциях по доставке лесного сырья в пункты переработки и готовой продукции в сфере потребления. Любая техника имеет трущиеся пары. Долговечность, надежность и работоспособность техники зависит от состояния трущихся пар.

Даже очень хорошо подготовленная поверхность стали при рассмотрении под

микроскопом имеет вид вспаханного поля с чередой пиков, кратеров и редких равнин между ними (рис. 1).

В процессе движения этих поверхностей наиболее выступающие (рис. 2) пики приходят в соприкосновение и выбивают друг друга, образуя на обеих поверхностях по микрократеру. (рис. 3)

В каждый последующий момент работы будут соприкасаться и стираться другие выступы микрорельефа, добавляя в масло все новые и новые частицы металла, увеличивая зазоры. Классический способ борьбы с трением – использование «масляного клина» в зонах трения – приводит к существенному уменьшению вышеописанных эффектов, и до недавнего времени задача увеличения ресурса механизмов решалась путем улучшения свойств применяемых масел, а также специальной обработки металлических поверхностей.

В состав присадки входят антиокислительные, антизадирные и заполняющие элементы. В процессе трения крупные кратеры на поверхностях металла заполняются

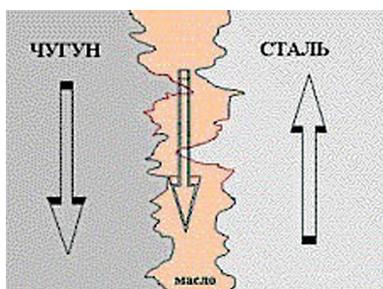


Рис. 1

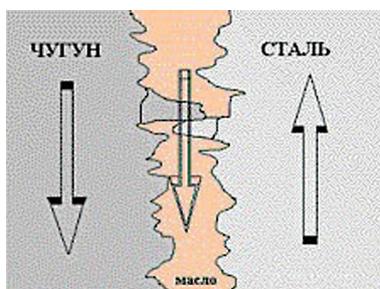


Рис. 2

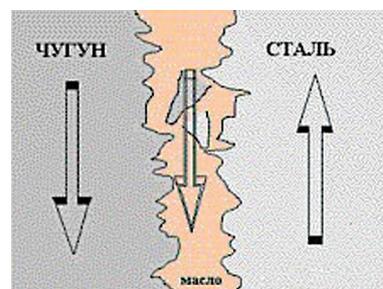


Рис. 3

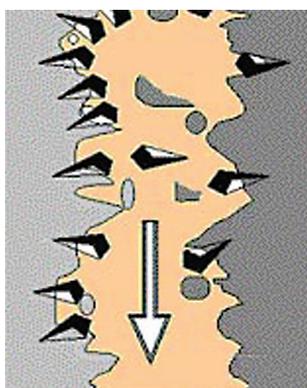


Рис. 4

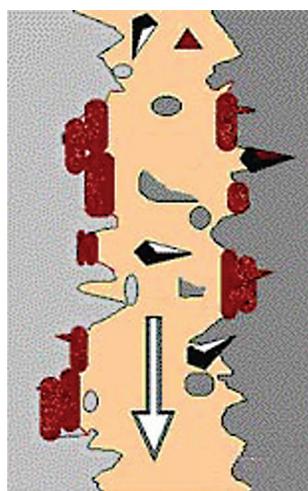


Рис. 5

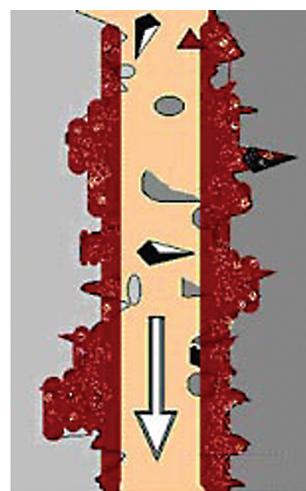


Рис. 6

и частично выровненные поверхности как на шариках антизадирных элементов проскальзывают друг по другу. Основным недостаток данной технологии состоит в том, что в местах трения все время необходимо наличие присадки, причем в достаточной концентрации. Постоянное поддержание значительной концентрации присадок в системе подачи масла приводит к тому, что в процессе работы механизма продукты износа присадок постепенно засоряют узкие места масляных каналов, давление снижается и т.д. Кроме того, применение присадок лишь притормаживает процесс износа пар трения, по существу не восстанавливая технических характеристик агрегата.

Значительного снижения расхода энергии и повышения надежности и работоспособности механизмов можно добиться за счет использования РВС – технологии, при которой на поверхности пар трения образуется модифицированный слой, обладающий высокой прочностью и низким коэффициентом трения.

Это российское изобретение с 2007 г. включено в государственную целевую программу по нанотехнологиям. РВС – это мелкодисперсная (размер частиц 1–10 мкм), многокомпонентная смесь минералов, добавок, катализаторов. Основным сырьем для его изготовления являются шунгит, серпентинит и нефрит. Добавки и катализаторы – это «науха».

Попадая на поверхности трения и контакта работающих механизмов, частицы РВС модифицируются сами и модифицируют поверхность трения

Процесс образования модифицированного слоя на поверхностях пар трения происходит следующим образом. В соответствии с технологией ремонтно-восстановительные составы (РВС) добавляются в носитель, в данном случае масло, причем не новое, а уже имеющее в составе продукты трения. Если условно разделить протекающие процессы на этапы, то можно представить себе картину следующим образом. За счет высоких абразивных свойств РВС в местах контакта происходит суперфинишная обработка по-

верхностей трения – очистка нагаров, окислов, деструктурированного масла. В местах локального контакта в микрообъемах возникают высокие температуры (до 1000 °С и более), что приводит к инициации микрометаллургических процессов – микросхватывания, микросваривания и шаржирования. В результате происходит «приплавление» частиц РВС к кристаллической решетке поверхностного слоя стали (рис. 4).

Практически одновременно с этим происходит нагартовка несработанных частиц РВС, частиц металла и других продуктов трения в углубления микрорельефа (рис. 4). Поскольку элементы РВС работают как катализаторы, в местах нагартовки создаются условия для активного протекания окислительно-восстановительных процессов. В результате этих реакций происходит образование модифицированного слоя. Одновременно в пограничной области происходит образование новых кристаллов, наращенных на кристаллической решетке металла (рис. 5). В дальнейшем эти кристаллы ориентируются вдоль поля и срастаются, образуя на всей поверхности пятна контакта непрерывный ряд твердых растворов – монокристаллы (рис. 6).

Все вышеуказанные процессы на самом деле протекают практически одновременно и имеют место до тех пор, пока в носителе не иссякнет добавленный материал РВС или пока в системе не наступит равновесие: все зазоры будут выбраны до оптимальной величины, определяемой термодинамическими процессами, протекающими в каждой точке локального контакта данной системы. В конечном счете оптимизация зазоров в местах контакта определяется конструктивными особенностями самой системы и всего агрегата в целом. Теперь в местах контакта вместо трения металл–металл будет металл–модифицированный слой, а эта пара имеет значительно меньший коэффициент трения и гораздо большую износостойчивость. Кроме того, после такой обработки существенно меняется роль масла – оно уже не должно играть роль эффективного третьего тела в паре трения, а лишь выполнять функцию теплоотвода.

Основные отличия составов РВС от существующих присадок:

– Низкая стоимость относительно получаемого технико-экономического эффекта.

– Не требуется поддержания постоянной концентрации в масле.

– Не требует последующих добавок после замены масла.

– Образуются не пленочные покрытия, а модифицированная поверхность самого металла, образующаяся за счет инициации микрометаллургических процессов и энергии, выделяемой при трении.

– Способность наращивать поверхности разной толщины, оптимизируя существующие зазоры в паре трения.

– Универсальность по отношению к подавляющему большинству используемых конструкционных сплавов металлов и типов смазок.

– Относительная независимость от типа пары трения и режима ее работы.

– Возможность безаварийной эксплуатации обработанной пары трения без присутствия масла или смазки продолжительное время.

– Экологически чистый продукт при производстве и применении (класс опасности приравнивается к пищевым продуктам).

Преимущества РВС-Технологии (RVS-Technology) по сравнению с традиционными способами обслуживания и ремонта механизмов:

– работы выполняются в режиме штатной эксплуатации оборудования без остановки технологического процесса;

– при своевременном применении значительно дешевле и эффективнее традиционного ремонта;

– позволяет восстанавливать эксплуатационные характеристики оборудования с износом до 50 %, а в отдельных случаях имеющего предельно допустимый износ;

– применяется не только для восстановления изношенных узлов механизмов, а также для предотвращения износа новых;

– ремонтно-восстановительные составы не влияют на физико-химический состав масел и смазок, не требуют добавки при замене последних, т.к. не являются присадками.

– РВС в смазках не растворяется, в химические реакции с ними не вступает. Вязкость не меняет (ввиду очень малой концентрации РВС в масле).

– экологически безвреден как в порошке, так и в процессе его приработки.

– для донесения РВС до поверхности трения может быть использован любой жидкий носитель (масло, керосин, спирт и вода и прочее). Эти же жидкие носители обеспечивают устранение с поверхности трения и контакта продуктов износа и разложения масел (присадок) в процессе приработки частиц РВС.

Основные свойства и показатели получаемого модифицированного слоя

1. Коэффициент линейного термического расширения – 13,6–14,2.

2. Очень низкий коэффициент трения – около 0,007.

3. Микротвердость поверхностей – 690–710 НУ.

4. Ударная прочность – 50 кг/мм<sup>2</sup>.

5. Высокая коррозионная стойкость.

6. Повышенная износостойкость.

Опыт ремонта различного оборудования с использованием РВС-технологии позволяет утверждать, что в восстановленном агрегате:

1. Ресурс восстановленного агрегата намного превышает ресурс нового.

2. Восстанавливается компрессия и увеличивается мощность любых ДВС.

3. Расход топлива и электроэнергии снижается на 10–20 %.

4. Уменьшаются потери на трение и повышается КПД.

5. Уменьшается вибрация и шум.

6. Снижается содержание СО в выхлопных газах.

В настоящее время работа по дальнейшему совершенствованию РВС-технологий включена в перечень работ Санкт-Петербургского Центра нанотехнологий.

## РАСЧЕТ НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАГРУЗОК

О.Н. БУРМИСТРОВА, доц. каф. технологии и машин лесозаготовок и прикладной геодезии УГТУ, д-р техн. наук,

М.А. ВОРОНИНА, асп. каф. технологии и машин лесозаготовок и прикладной геодезии УГТУ

*oburmistrova@ugtu.net*

Расчет дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог произведен совместно с дорожным агентством Республики Коми и ООО «Дороги Севера». В статье приведен расчет нежесткой дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги Ухта – Троицко-Печорск от воздействия нагрузок А-3 [1].

Основные характеристики расчетной нагрузки А-3:

- нормативная нагрузка на ось 13000 кг (0,13 МН);
- давление воздуха в колесе наиболее нагруженной оси – 6 кгс/см<sup>2</sup> (0,6 МПа);
- диаметр отпечатка колеса при статическом нагружении – 37 см (0,37 м), при динамическом нагружении – 42 см (0,42 м);
- расчетная статическая нагрузка на колесо – 6500 кг (0,065 МН).

Интенсивность движения принимается 50 расчетных лесовозных автопоездов в сутки.

В связи с низкими физико-механическими характеристиками и значительной неоднородностью подстилающих грунтов, а также расположением участка строительства в зоне распространения вечномёрзлых грунтов [2] в конструкции дорожной одежды, проектируемой с допущением оттаивания грунтов в основании насыпи, в период эксплуатации дороги (второй принцип [2]) предусмотрено



Рис. 1. Заклинка щебня в ячейках георешеток (образование слоя, способного воспринимать растягивающие напряжения)

применение георешеток Геоком Б-450 ОАО «Комитекс», что в данных условиях является одним из наиболее эффективных и рациональных способов увеличения его прочности и надежности. При этом:

1. Повышается однородность основания, что немаловажно для обеспечения равнопрочности покрытия, а, следовательно, и надежности его работы на всей площади.

2. Практически исключается проникновение крупнозернистого материала в нижележащие слабосвязные слои (сохранение толщины дренирующего слоя за счет исключения вдавливания щебня в подстилающий грунт (рис. 1).

3. Обеспечиваются оптимальные условия для уплотнения щебня до требуемой величины и тем самым достигается расчетное значение его модуля упругости и модуля деформации.

4. Значительно снижается динамика накопления и величина остаточных деформаций конструкций вследствие того, что значительные сдвигающие напряжения ( $m_{xy}$ ) концентрируются не в подстилающем грунте и слабосвязных слоях конструкции, а в слое «щебень – георешетка», способном сопротивляться сдвигу.

Кроме того, наблюдается тенденция к увеличению и концентрации непосредственно под покрытием главных горизонтальных напряжений  $a_3$ , что свидетельствует об уменьшении коэффициента уровня напряженно-деформированного состояния конструкции  $K_{unc}$  (1), величина которого в наибольшей степени определяет характер деформирования среды при многократных приложениях нагрузок

$$K_{unc} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)(1 - \sin \varphi)}{2(\sigma_3 \sin \varphi + C \cos \varphi)} \quad (1)$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  – главные напряжения;  
 $\varphi$  – угол внутреннего трения;

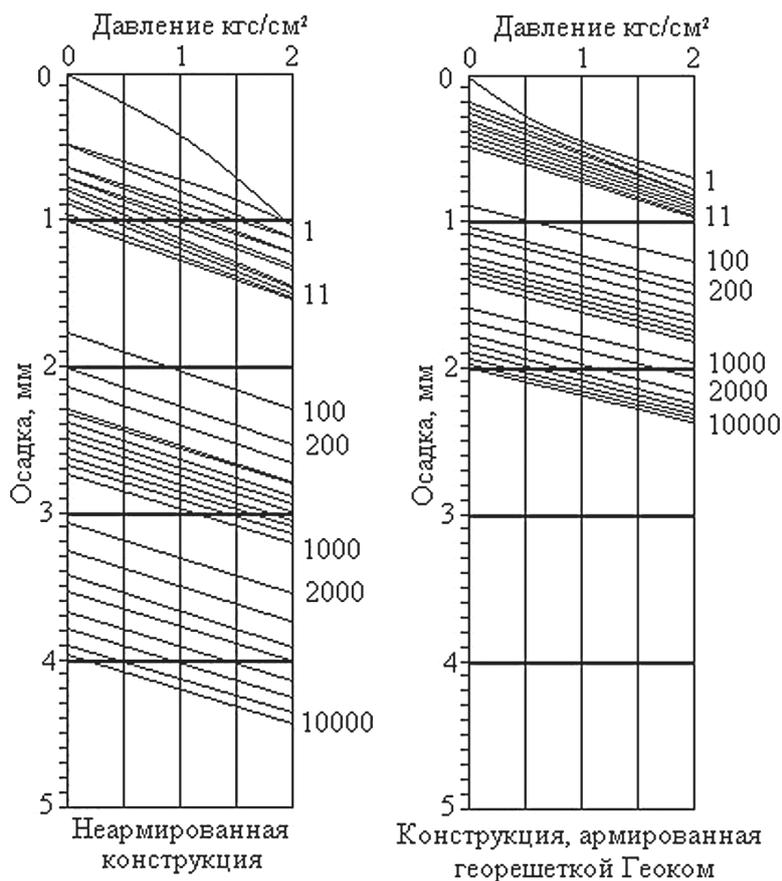


Рис. 2. Сравнительные графики деформаций конструкций

$C$  – удельное сцепление.

$$S_{упр}/S_{ост} = 0,328/2,003 = 0,194,$$

$$S_{упр}^*/S_{ост}^* = 0,5/3,965 = 0,126.$$

5. Возможно увеличение величины нагрузки на конструкцию, при которой будет соблюдаться линейная зависимость между напряжениями и деформациями, т.е. увеличение несущей способности (рис. 3). Увеличиваются деформативные характеристики конструкции, включающей в свой состав георешетку.

Предлагается для дорог Республики Коми следующая конструкция, армированная георешеткой Геоком Б-450 (рис. 4). Высотная отметка площадки варьируется увеличением толщины слоя щебня (рис. 4, 1). В качестве подстилающего слоя проектируемой дорожной одежды выбран слой торфа среднезоторфованного (ИГЭ – 6в) и суглинка тяжелого мягкопластичного (ИГЭ – 42г).

Исходные данные для производимых расчетов сведены в табл. 1.

Результаты расчета по допускаемому упругому прогибу сведены в табл. 2 и представлены на рис. 5.

Недопустимые деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если в слабосвязном слое дорожной одежды и подстилающем грунте обеспечено условие

$$K_{np} \geq \tau_{np} / \tau_{акт}^*$$

где  $K_{np}$  – требуемый коэффициент прочности по данному критерию  $K_{np} = 0,87$ ;

$\tau_{акт}^*$  – расчетное активное напряжение сдвига в слабосвязном слое дорожной одежды или грунте от действующей нагрузки, кгс/см<sup>2</sup>;

$\tau_{np}$  – предельная величина активного напряжения сдвига, превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг, кгс/см<sup>2</sup>.

Действующие в грунте активные напряжения сдвига  $\tau_{акт}$  определены по зависимости

$$\tau_{акт} = [(\sigma_1 - \sigma_2) - (\sigma_1 + \sigma_3)\sin\varphi]/2\cos\varphi,$$

где  $\sigma_1$  – максимальное главное напряжение;

**Расчет нежестких дорожных одежд на прочность**

Исходные данные		Варианты
		армированная конструкция
Категория дороги	1–5	4
Дорожно-климатическая зона	1–5	1
Тип дорожной одежды	к – капит. о – облегч. п – перех.	п
Давление воздуха в шине расчетного автомобиля	$P$ , МПа	0,6
Нагрузка на колесо расчетного автомобиля	$Q$ , т	6,5
Кол-во осей (расчетных)		1
Кол-во колес на полуоси	1 или 2	2
Расстояние между осями (для многоосных)	Бм	0
Расчетная нагрузка на колесо	$Q_{расч.}$ , т	6,5
Расчетный диаметр отпечатка колеса	$D$ , м	0,42
Коэффициент надежности	$K_n$	0,8
Расчетный срок службы, лет	$T_{сл}$	10
Приведенная интенсивность движения автомобилей на последний год службы	$N_p$ , авт/сут	50
Изменение интенсивности	$q$	1,02
Число расчетных дней в году	$T_{род}$	135
Суммарное приведенное количество проходов расчетного автомобиля	$\sum N_p$ , авт.	50218,22
Грунтовое основание		торф средне-заторфованный
Расчетные характеристики грунтового основания		
Модуль деформации	$E_{зр}$ , МПа	0,15
Удельное сцепление	$C_{зр}$ , МПа	0,012
Угол внутреннего трения	$\varphi_{зр}$ , град	1
Статический угол внутреннего трения	$\varphi_{ст}$ , град	1
Расчетные характеристики материалов дорожной одежды		
Щебень	$E$ , МПа	350
	$\gamma$ , кгс/см <sup>3</sup>	0,002
Георешетка Геоком Б-450	Тип	40
Песок	$E$ , МПа	100
	$C$ , МПа	0,004
	$\varphi$ , град	21
	$\varphi_{ст}$ , град	31
	$\gamma$ , кгс/см <sup>3</sup>	0,0017
Толщины конструктивных слоев дорожной одежды		
Щебень	$h$ , м	0,95
Георешетка Геоком Б-450	Тип	40
Песок		1,25
Общая толщина дорожной одежды	$h_{общ.}$ , м	2,20

Минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции	$E_{min}$ , МПа	113,53
Требуемый коэффициент прочности	$K_{пр} I$	1,02
Общий модуль упругости	$E_{общ.}$ , МПа	147,95
Фактический коэффициент прочности	$E_{общ.}/E_{min}$	1,303
Выполнение критерия по упругому прогибу		да



Рис. 3. Сравнительные графики несущей способности конструкций

1. Щебень гранитный, марки 1200, фр. 20÷40 мм с расклиновкой по ГОСТ 25607-94, ГОСТ 8267-93, $K_{ути}$ = 0,98	$t = 80$ см
2. Песок мелкий по ГОСТ 8267-93, $K_{ути}$ = 0,98, $K_{ф}$ $\geq 3$ м/сут	$t = 125$ см
3. Щебень гранитный, марки 1200, фр. 20÷40 мм с расклиновкой по ГОСТ 25607-94, ГОСТ 8267-93, $K_{ути}$ = 0,98	$t = 15$ см
4. Георешетка Геоком Б-450	
5. Грунтовое основание – торф среднеразложившийся (ИГЭ – бв)	

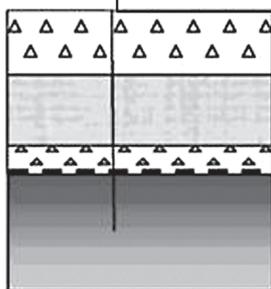


Рис. 4. Конструкция дорожной одежды

$\sigma_3$  – минимальное главное напряжение;  
 $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта.

Главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  вычислены с использованием точного решения осесимметричной задачи теории упругости.

Предельная величина активных напряжений сдвига  $\tau_{np}$  определена по зависимости

$$\tau_{np} = k_o (c + \gamma_{cp} z_{on} \operatorname{tg} \varphi_{cm}),$$

где  $c$  – сцепление в грунте, МПа;

$z_{on}$  – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигустойчивость (от верха конструкции), см;

$\gamma_{cp}$  – средневзвешенный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кгс/см<sup>3</sup>;



Эпюры напряжений по оси штампа D=42 см, давление P= 6 кгс/см<sup>2</sup>

Рис. 5. Эпюры вертикальных напряжений от действующей нагрузки и собственного веса дорожной одежды



Рис. 6. Эпюры действующих и допускаемых активных касательных напряжений ( $\tau_{акт}$ ) в слабосвязном слое дорожной одежды и подстилающем грунте

$\varphi_{ст}$  – расчетный угол внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки, град;

$\kappa_0$  – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе подстилающего слоя с нижним слоем несущего основания.

Для слабосвязного слоя дорожной одежды  $\kappa_0 = 1$ ; для подстилающего слоя  $\kappa_д = 4$ .

Для слабосвязного слоя  $\tau_{акт} = 0,142 < \tau_{пр} = 0,156$ ; для подстилающего слоя  $\tau_{акт} = 0,0002 < \tau_{пр} = 0,511$ .

Условия прочности выполнены.

### Выводы и рекомендации

1. Требуемые коэффициенты уплотнения  $K_y$  для щебеночных и для песчаных слоев – не менее 0,98.

2. Минимальная величина нахлеста полотен георешеток равна 30 см.

3. В расчетах конструкций на прочность и морозостойчивость учтен эффект армирования, характеризующий работу георешеток Геоком Б-450 в конструкциях дорожных одежд. Требуемая рабочая отметка продольного профиля автомобильной дороги достигается увеличением толщины слоя щебня (1).

### Библиографический список

1. ОДН 218.04 6–01 «Проектирование нежестких дорожных одежд».
2. ВСН 84–8 9 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты».
3. СНиП 3.06.03–85 «Автомобильные дороги».

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ИЗ УСЛОВИЯ МИНИМИЗАЦИИ РАСХОДА ТОПЛИВА

О.Н. БУРМИСТРОВА, доц. каф. технологии и машин лесозаготовок и прикладной геодезии Ухтинского ГТУ, д-р техн. наук,

С.А. КОРОЛЬ, ст. преподаватель каф. технологии и машин лесозаготовок и прикладной геодезии УГТУ

*oburmistrova@ugtu.net*

Для определения скорости лесовозного автопоезда составим дифференциальное уравнение его движения. Уравнения движения лесовозного автопоезда получим с помощью уравнения Лагранжа второго рода, поскольку его целесообразно применять при исследовании сложных систем со многими степенями свободы. Учитывая данное обстоятельство, в качестве исходного примем дифференциальное уравнение Лагранжа 2-го рода

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} = 0. \quad (1)$$

Обобщенной координатой при этом является угол поворота вала двигателя  $\theta = \varphi_0$ , а обобщенной силой – момент на валу двигателя.

Как указывается в исследованиях Г.А. Смирнова [1] и Я.Е. Фаробина [2, 3], после преобразования дифференциальное уравнение (1) примет вид

$$\frac{dv}{dt} G_{an} \delta_{ep} = P_T - \sum P_{comp} \quad (2)$$

где  $G_{an}$  – полная масса автопоезда, Н;

$\delta_{ep}$  – коэффициент учета вращающихся масс автопоезда;

$P_T$  – сила тяги на ведущих колесах тягача, Н;

$\sum P_{comp}$  – сумма сил сопротивления движению, Н.

Выражение (2), как отмечается в работе А.С. Литвинова и Я.Е. Фаробина [2, 3],

является дифференциальным уравнением движения автопоезда. При этом для общего случая движения сумма сил сопротивления движению определяется по зависимости

$$\sum P_{comp} = P_f + P_i + P_g + P_u, \quad (3)$$

где  $P_f$  – сила сопротивления качению автопоезда, Н;

$P_i$  – сила сопротивления подъему, Н;

$P_g$  – сила сопротивления воздуха, Н;

$P_u$  – сила сопротивления инерции (разгону), Н.

Тогда дифференциальное выражение движения автопоезда принимает следующий вид

$$\frac{dv}{dt} G_{an} \delta_{ep} = P_T - P_f - P_i - P_g - P_u. \quad (4)$$

Движение автопоезда на максимальной скорости будет описываться выражением [4]

$$P_T - P_f - P_i - P_g - P_u = 0. \quad (5)$$

Данная часть дифференциального уравнения представляет собой разность сил, движущих систему (лесовозный автопоезд) и сопротивляющихся этому движению. Такое выражение называется уравнением силового баланса, и оно отображает состояние системы, при котором возможно движение автопоезда в заданных условиях эксплуатации [1]

$$P_T = P_f + P_i + P_g + P_u. \quad (6)$$

Способ определения максимальной скорости движения по методу расчета дина-

**Фактические данные расхода топлива автопоезда МАЗ-630 3А8-326+МАЗ-83781-020 на участках лесной автомобильной дороги Сыктывкар – Троицко-Печорск**

Условия движения	Участок № 1	Участок № 2	Участок № 3
	расход топлива, л/100 км		
Без груза	21,87	23,04	23,6
С грузом	48,54	51,37	52,84

**Средний расход топлива автопоезда в зависимости от удельного сопротивления качению**

№ участка	Удельное сопротивление качению, Н/т.	Средний расход топлива, л/100 км		
		аналитический метод	фактические замеры	расхождение, %
1	120	22,15/49,4	21,87/48,54	1,28/1,77
2	125	22,83/51,27	23,04/51,37	0,91/0,15
3	130	23,50/53,15	23,6/52,84	0,42/0,59

Примечание: в числителе указаны величины в порожнем направлении, в знаменателе – в грузовом.

мической характеристики автопоезда был предложен основоположником теории автомобиля Е. А. Чудаковым [4, 5].

Использование подобного метода для нахождения максимальной скорости движения лесовозного автопоезда позволит с наибольшей точностью рассчитать комплексный коэффициент эффективности его работы.

Скорость движения (км/ч) автопоезда определяется по формуле

$$v_a = 0,377R_d n / k_{mp}, \quad (7)$$

где  $R_d$  – динамический радиус колеса или звездочки, м;

$k_{mp}$  – общее передаточное число трансмиссии на соответствующей передаче

$$k_{mp} = i_1 \cdot i_0, \quad (8)$$

где  $i_1$  – передаточное число соответствующей передачи;

$i_0$  – передаточное число главной передачи;

$$i_0 = k_{выс} / i_{выс}, \quad (9)$$

$k_{выс}$  – передаточное число трансмиссии на высшей передаче

$$k_{выс} = 0,377R_d n_{ен} / v_{max}. \quad (10)$$

Кроме нахождения скорости движения лесовозного автопоезда немаловажным является также определение общего расхода топлива автопоездом  $Q_{S_{общ}}$  (л). Величина данного показателя зависит от значения среднего расхода топлива  $[Q_s]$  (л/100 км). Аналити-

чески удельный расход топлива автопоездом рассчитывают по формуле [2, 4]

$$Q_{s_i} = \frac{q_e [G_a \cdot (w_f + q_i) + 0,077 \cdot k \cdot F \cdot V_a^2]}{36000 \cdot \eta_{mp} \cdot \rho_T}, \quad (11)$$

л/100 км,

где  $q_e$  – удельный расход топлива, г/(кВт·ч);

$G_a$  – расчетная масса автопоезда, т;

$w_f$  и  $q_i$  – удельные сопротивления соответственно качению и от уклона, Н/т;

$k$  – коэффициент сопротивления воздушной среды;

$F$  – лобовая площадь автомобиля, м<sup>2</sup>;

$\rho_T$  – плотность топлива, кг/л;

$\eta_{mp}$  – КПД трансмиссии.

При полной загрузке двигателя ( $\eta_N = 1$ ) показатель  $q_e$  может быть определен по эмпирической формуле С.Р. Лейдермана [4]

$$q_e = q_{eN} \left( A_0 - B_0 \frac{n}{n_N} + C_0 \frac{n^2}{n_N^2} \right), \quad (12)$$

где  $N$  – номинальная мощность двигателя;

$q_e$  – удельный расход топлива двигателя;

$A_0, B_0, C_0$  – постоянные коэффициенты;

$q_{eN}$  – удельный расход топлива при максимальной мощности двигателя, г/кВт ч;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, об/мин;

$n^N$  – частота вращения, соответствующая максимальной мощности, об./мин.

Методом хронометражных наблюдений были получены следующие пока-

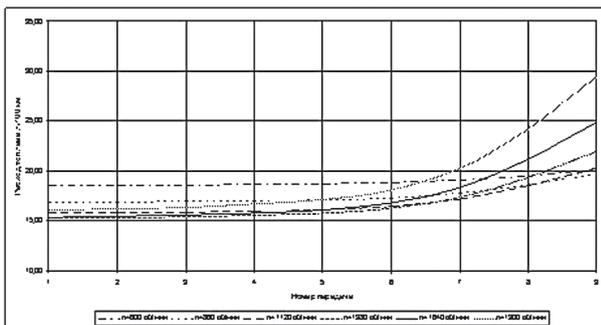


Рис. 1. График определения среднего расхода топлива автопоезда без груза на участке № 1

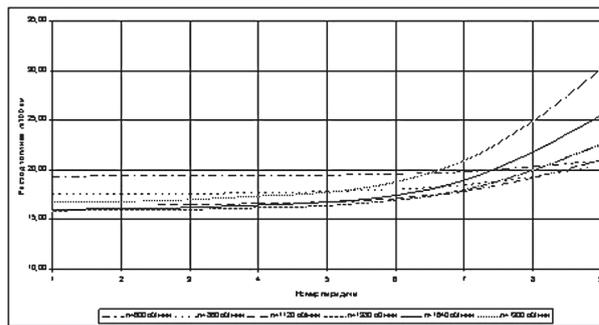


Рис. 2. График определения среднего расхода топлива автопоезда без груза на участке № 2

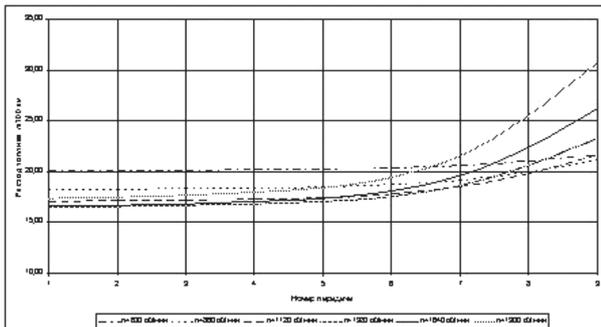


Рис. 3. График определения среднего расхода топлива автопоезда без груза на участке № 3

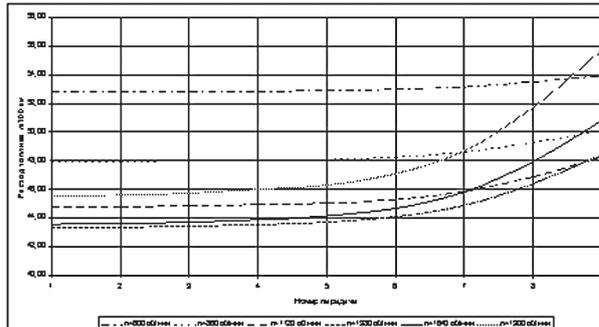


Рис. 4. График определения среднего расхода топлива автопоезда с грузом на участке № 1

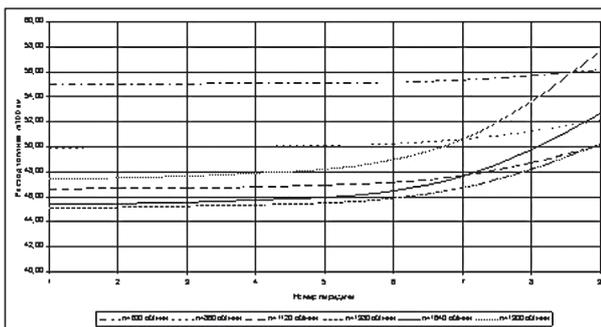


Рис. 5. График определения среднего расхода топлива автопоезда с грузом на участке № 2

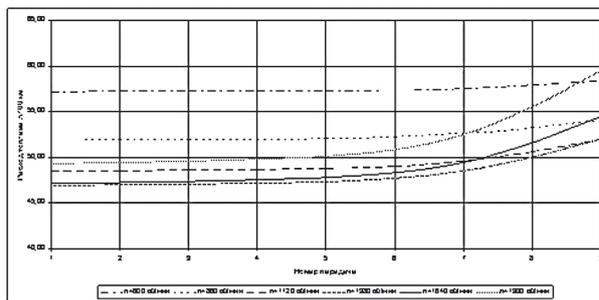


Рис. 6. График определения среднего расхода топлива автопоезда с грузом на участке № 3

затели работы лесовозного автопоезда (табл. 1).

Наблюдаема лесная автомобильная дорога Сыктывкар – Троицко-Печорск разделена на три участка различной протяженности и ровности покрытия: участок № 1 – участок с показателем ровности менее 660 см/км, участок № 2 – участок с показателем ровности 660–860 см/км, участок № 3 – участок с показателем ровности более 860 см/км.

Для определения удельного сопротивления качению составляющей формулы 11 была смоделирована работа автомобиля МАЗ 5336-026 на данных участках, при которой показате-

ли расхода топлива и скоростей движения были максимально приближены к фактическим, таким образом были получены значения удельного сопротивления качению для трех участков: № 1 – 120 Н/т, № 2 – 125 Н/т, № 3 – 130 Н/т.

Получив значения удельного сопротивления качению, определяем средний расход топлива на каждом из участков для наблюдаемого сортиментовоза МАЗ-630 3А8-326+МАЗ-83781-020 (рис. 1–6).

Как видно из табл. 2, расхождения между аналитическим методом и фактическими данными не превышают 2 %, поэтому можно утверждать, что полученные аналитическим

методом значения удельного сопротивления качению будут справедливы для участков лесовозной автомобильной дороги Сыктывкар – Троицко-Печорск, а в частности, соответствующие им показатели ровности покрытия лесной автомобильной дороги; так же были определены оптимальные скоростные режимы движения лесовозных автопоездов, позволяющие минимизировать расход топлива.

### Библиографический список

1. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин: учебник для студентов автомобильных специальностей вузов / Г.А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990 (1981). – 271 с.
2. Фаробин, Я.Е. Теория движения специализированного подвижного состава / Я.Е. Фаробин, В.А. Овчаров, В.А. Кравцева. – Воронеж: ВГЛТА, 1981. – 160 с.
3. Фаробин, Я.Е. Трехзвенные автомобильные поезда / Я.Е. Фаробин, Ю.А. Самойленко. – М.: НИИ-Навтопром, 1983. – 47 с.
4. Чудаков, Е.А. Боковая устойчивость автомобиля при торможении / Е.А. Чудаков. – М.: АН СССР, 1962. – 184 с.
5. Чудаков, А.Е. Избранные труды. т.1. / А.Е. Чудаков // Теория автомобиля. – М.: АН СССР, 1961. – 463 с.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЫГРУЗКИ ПЛОСКИХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ С ВОДЫ НА РЕЙДАХ ПРИПЛАВА

П.Ф. ВОЙТКО, *проф.*, декан лесопромышленного факультета МарГТУ, *д-р техн. наук*,  
И.Г. ГАЙСИН, *асп. каф. технологии и оборудовании лесоперерабатывающих производств МарГТУ*

*gaisin.ilschat@yandex.ru; lpf@marstu.net*

В связи с ликвидацией молевого лесосплава как одного из видов первичного транспорта леса практически исключена из эксплуатации значительная часть лесных массивов, тяготеющих к внутренним водным путям. По данным Лесинвеста [4], к внутренним водным путям России тяготеет около 14 млрд м<sup>3</sup> лесосырьевых ресурсов, что позволяет вести неистощительное лесопользование и доставлять лесопотребителям водным транспортом до 140 млн м<sup>3</sup> древесины ежегодно.

В Архангельской области и Республике Карелия разработан альтернативный способ молевого лесосплава – водные поставки круглых лесоматериалов потребителям в плоских сплотивных единицах [10]. В верховьях малых и средних рек на приречных складах формируют речные плоты из однорядных или двухрядных сплотивных единиц, которые буксируют лесосплавными судами на рейды приплава лесоперерабатывающих предприятий. На путях сплава, где при переходе на реку с большими глубинами производится укрупнение сплотивных единиц. Из однорядных сплачиваются двухрядные, из двухрядных — четырехрядные и выполняются другие сочетания.

На рейдах приплава лесопромышленных предприятий для выгрузки лесных грузов с воды используются краны, конвейеры, бремсберги, транспортные агрегаты и лебедки отечественного производства, а также ряда иностранных фирм. К числу наиболее распространенных перегрузочных машин относятся порталные, плавучие, мостовые, башенные и кабельные краны. Однако существующий парк грузоподъемных машин малопроизводителен на выгрузке плоских сплотивных единиц с воды на рейдах приплава. Для этого необходимо в выгрузочном дворике распускать многорядные плоские сплотивные единицы в однорядную щель и формировать пачки круглых лесоматериалов для последующей выгрузки лесных грузов с воды. Противоречие заключается в том, что для выполнения лесоперевалочных процессов на предприятиях с рейдами приплава применяют более 220 типов различных машин, механизмов и вспомогательного оборудования, которые не эффективны для выгрузки плоских сплотивных единиц с воды. С учетом роли и значения водного транспорта леса для доставки лесоматериалов потребителям проблема совершенствования лесоперевалочных процессов

выгрузки плоских сплочных единиц с воды на предприятиях с рейдами приплава является весьма актуальной.

Для совершенствования процесса выгрузки плоских сплочных единиц с воды на рейдах приплава разработана новая технология выгрузки плоских сплочных единиц (рис. 1) и эффективное грузозахватное устройство (рис. 3, 4).

Предлагаемое грузозахватное устройство (рис. 2) к различным грузоподъемным машинам состоит из грузозахватной рамы 1, до-

полнительно оборудованной консолями 2, на которых жестко закреплены грузозахватные крюки 3, размещенные снизу конструкции с установленными на них грузозахватными стропами с чокерными захватами и смонтированными на раме 1 на расстоянии, равном длине конструкции плоских сплочных единиц.

Отличительной особенностью предлагаемого грузозахватного устройства является возможность грузозахватной рамой выгружать с воды плоские сплочные единицы различных конструкций (одно-, двух-, трех-,

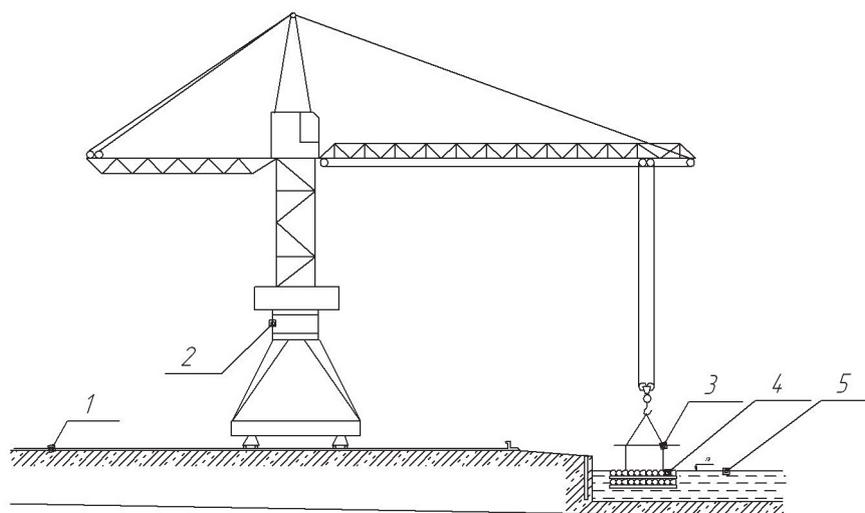


Рис. 1. Схема выгрузки ПСЕ башенным краном КБ-572 с воды на рейде приплава: 1 – подкрановый путь; 2 – башенный кран; 3 – грузозахватное устройство; 4 – плоская сплочная единица; 5 – выгрузочный дворик

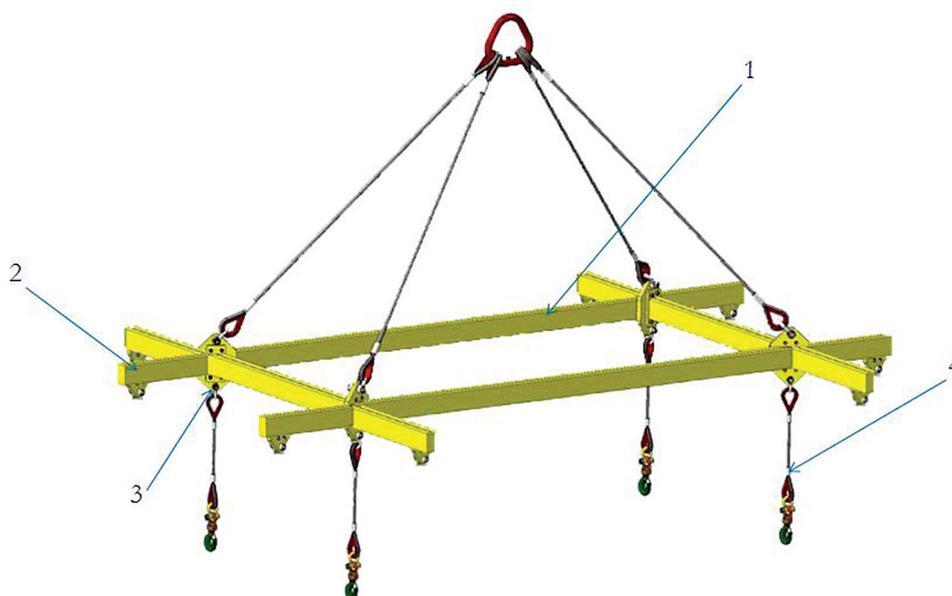


Рис. 2. Конструкция грузозахватного устройства: 1 – жесткая грузозахватная рама; 2 – консоли грузовых балок; 3 – грузозахватные крюки; 4 – грузозахватные стропы; 5 – канатные тяги; 6 – навесное грузозахватное звено

четырёхрядные; переменной длины от 4 до 6,5 м и весом от 60 до 240 кН) послойно, или укрупнять до номинальной грузоподъемности выгрузочных механизмов лесные грузы, укладывая их друг на друга в выгрузочном дворике. Способ выгрузки лесных грузов с воды зависит от конструкции и размеров плоских сплочных единиц (плиток) и грузоподъемности крана на рейде приплава.

Если грузоподъемность крана соответствует весу однорядной плитки, то выгрузку ее из воды производят в один прием рекомендуемым грузозахватным устройством (рис. 3). Однорядную плитку выгружают с воды башенным краном в один прием. Два грузчика заводят плитку баграми в понтонный выгрузочный дворик, где с нее снимают сплавной такелаж. Затем крановщик опускает механизм подъема крана грузозахватное устройство по центру плоской сплочной единицы и два грузчика устанавливают на консолях рамы четыре грузовых крюка на расстоянии расположения двух верхних обвязок и захватывают 4 стропами с чокерными захватами оплотные бревна плитки. Краном плитку поднимают с воды и перегружают на берег (лесовозный автотранспорт, приемную эстакаду, штабель лесоматериалов).

Многорядные плитки выгружают из воды грузоподъемным краном послойно.

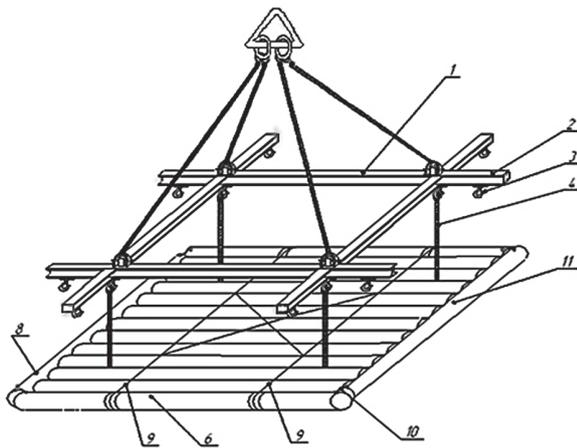


Рис. 3. Грузозахватное устройство для однорядной ПСЕ: 1 – жесткая грузозахватная рама; 2 – консоли грузовых балок; 3 – грузозахватные крюки; 4 – грузозахватные стропы; 6 – плоская сплочная единица; 7 – крановый крюк; 8 – оплотное бревно; 9 – верхние обвязки; 10 – цепные стяжки; 11 – оплотное бревно

Двухрядную плитку выгружают с воды краном в два приема. Два грузчика заводят плитку баграми в выгрузочный дворик, где с нее снимают верхние обвязки, вертикальную связь, цепные стяжки, перекатывают боковые оплотные бревна и два крайних бревна в центр верхнего ряда плитки. Крановщик опускает грузозахватное устройство по центру плавающего лесного груза, два грузчика на консолях рамы устанавливают четыре грузовых крюка на расстоянии длины верхнего ряда бревен и захватывают стропами с чокерными захватами два бревна с нижнего ряда. Краном верхний ряд бревен плитки перегружают на берег, а затем выгружают нижний ряд бревен с воды по технологии, описанной выше (рис. 4).

Трёхрядные и четырёхрядные плитки выгружают краном с воды на берег аналогично двухрядным плиткам. Если грузоподъемность крана превышает вес однорядной плитки, то их предварительно укрупняют в выгрузочном дворике до номинальной грузоподъемности крана, а затем выгружают из воды в один прием.

Грузозахватная траверса (рис. 2) рассчитывается по методу допускаемых напряжений [8]. При этом конструкция (рис. 2) рассматривается в рабочем состоянии под действием нормативных нагрузок (рис. 5), а

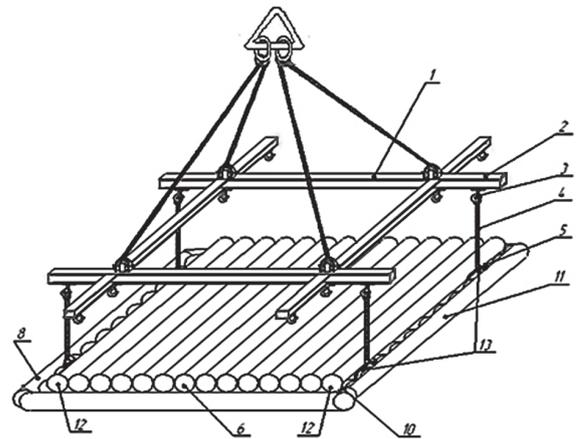


Рис. 4. Грузозахватное устройство для двухрядной ПСЕ: 1 – жесткая грузозахватная рама; 2 – консоли грузовых балок; 3 – грузозахватные крюки; 4 – грузозахватные стропы; 5 – чокерные крюки; 6 – плоская сплочная единица; 7 – крановый крюк; 8 – оплотное бревно; 10 – цепные стяжки; 11 – оплотное бревно; 12 – два крайних бревна; 13 – два бревна нижнего ряда

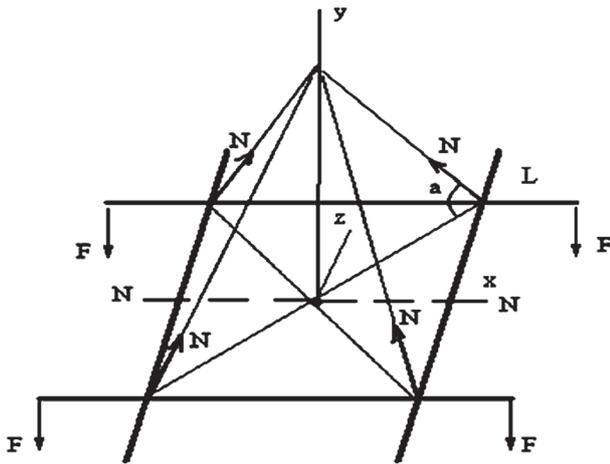


Рис. 5. Общая расчетная схема грузозахватной траверсы

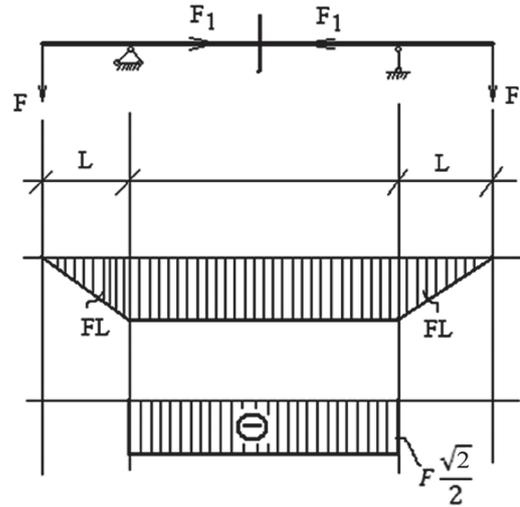


Рис. 6. Расчетная схема грузозахватной рамы

полученные напряжения сравниваются с допускаемыми:  $\sigma \leq [\sigma]$  [8].

Для расчета рекомендуемого грузозахватного устройства (рис. 5) необходимо решить следующую задачу: рассчитать балку грузозахватного устройства, работающего на изгиб и сжатие, при подъеме плоских сплоченных единиц различных конструкций (одно-, двух-, трех- и четырехрядные) весом до 10 т. Длина консоли  $L = 1$  м. Для расчета балки необходимо разделить данное устройство на две части по линии  $N-N$  (рис. 5). Возьмем нижнюю часть устройства, в результате расчетная схема будет выглядеть следующим образом (рис. 6).

Решение задачи.

Наибольший изгибающий момент возникает в середине пролета грузовой балки (рис. 7)

$$M_z = F \cdot L = 25000 \cdot 1 = 25 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (1)$$

где  $F = P/4$  – нагрузка, действующая на конец балки, Н;

$P$  – общая нагрузка на траверсу, Н;

$L$  – длина консоли, м.

Нагрузка  $F$ , действующая на конец балки равна

$$F = P/4 = 2,5 \text{ т}, \quad (2)$$

где  $P$  – общая нагрузка на траверсу, Н.

Сжимающая сила

$$N = F \sqrt{2}/2. \quad (3)$$

Условие прочности по нормальным напряжениям в этом сечении (для крайних точек сечения) будет

$$\sigma_{max} = N/A + M_z/W_z \leq [\sigma], \quad (4)$$

где  $N$  – сжимающая сила, Н;

$A$  – площадь поперечного сечения грузозахватного устройства,  $\text{м}^2$ ;

$M_z$  – изгибающий момент,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;

$W_z$  – момент сопротивления поперечного сечения балки,  $\text{см}^3$ .

Выбираем материал грузовой балки для конструкции грузозахватного устройства из стали Ст3, у которой  $[\sigma] = 150$  МПа. Тогда требуемый момент сопротивления поперечного сечения балки

$$\begin{aligned} W_z &= M_z/[\sigma] = 25 \cdot 10^3/150 = \\ &= 0,1667 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 166,7 \text{ см}^3. \end{aligned} \quad (5)$$

Принимаем сквозного сечения конструкцию грузовой балки траверсы, состоящую из двух швеллеров, сваренных между собой (рис. 6). Из таблицы сортамента [8] подбираем швеллер № 16, у которого  $W_z = 93,4$   $\text{см}^3$ .

Находим момент сопротивления сечения балки рамы в целом

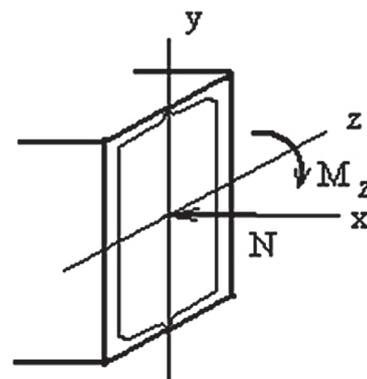


Рис. 7. Схема для определения изгибающего момента

$$W_0 = 2W_z = 2 \cdot 93,4 = 186,8 \text{ см}^3, \quad (6)$$

что удовлетворяет условию ( $W_0 \geq W_z$ )  $186,8 \text{ см}^3 > 166,7 \text{ см}^3$ .

Следовательно, условие прочности грузовой балки (4) выполняется

$$y_{\max} = (25 \cdot 10^3 \sqrt{2}) / (2 \cdot 3,62 \cdot 10^{-3}) + (25 \cdot 10^3) / (0,1667 \cdot 10^{-3}) = 154,85 \text{ МПа} \geq [y].$$

Данное сечение балки дает перенапряжение на 3,2 %, что соответствует требуемому диапазону  $\pm 5$  %. Поэтому останавливаемся на швеллере № 16 для изготовления конструкции грузовой балки.

Натяжение в канатной тяге, соединяющей грузозахватную раму с навесным грузозахватным звеном крана, при угле наклона тяги к вертикали  $\alpha = 45^\circ$  [8] равно

$$N = (P + 0,1P) 10^3 g / 4 \cos \alpha = (10 + 0,1 \cdot 10) \times 10^3 \cdot 9,81 / 4 \cos 45^\circ = 38,15 \cdot 10^3 \text{ Н}, \quad (7)$$

где  $P$  – общая нагрузка на траверсу, Н;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\alpha$  – угол наклона тяги к вертикали, град.

Разрывное усилие в канате с учетом коэффициента запаса, равного  $z_p = 6$

$$S = N \cdot z_p = 38152 \cdot 6 = 228912 \text{ Н}. \quad (8)$$

По найденному разрывному усилию (8) подбираем по ГОСТ 3069-80 [6] стальной канат типа ЛК-0 конструкции 6Ч7(1+6)+1, диаметром  $d = 21$  мм.

Выбор навесного грузозахватного звена проводится по руководящему документу Госгортехнадзора России (РД 10-33-93 (с изм – РД 10-231-98)). Настоящий РД [11] распространяется на стропы из стальных канатов и цепные стропы, используемые для подвески грузов к крюкам грузоподъемных машин, предназначенные для применения на промышленных предприятиях, а также на транспортных и складских объектах.

Данное звено было выбрано в связи с легкостью его изготовления и выбора по грузоподъемности крана. По РД 10-33-93 (с изм – РД 10-231-98) выбираем звено Т-10,0 [11].

Выбор грузозахватного крюка по заданной грузоподъемности не требует расчета на прочность и выбирается по ГОСТ 6627-74 [7]. Грузоподъемность одного крюка составляет 2,5 т. По данной грузоподъемности подбираем крюк № 11 для режима работы механизма подъема 5М-6М (ГОСТ 25835-83).

Общее количество требуемых крюков составило 20 штук.

Разработанная технология и новое грузозахватное устройство для выгрузки плоских сплочных единиц с воды краном позволит интенсифицировать лесоперевалочный процесс на рейдах приплава; сократить время на перенастройку работы грузоподъемного механизма на сплочные единицы различных размеров по длине; улучшить экологическое состояние речных водоемов, исключив расформирование лесных грузов на воде в однорядную щеть бревен.

Потенциальными потребителями продукта могут быть предприятия лесопромышленного комплекса Архангельской области и Республики Карелия, получающие древесину в п্লотах из плоских сплочных единиц речным лесовозным транспортом.

#### Библиографический список

1. Пат. № 2166467 РФ, МКИ В 63 В35/62. Плоская сплочная единица / А.А. Митрофанов. – Оpub. 10.05.01., Бюл. № 13 – 4 с.
2. Пат. № 2187442 РФ, МКИ В 63 В35/62. Плоская сплочная единица / А.А. Митрофанов, В.В. Воробьев и др. – Оpub. 20.08.02, Бюл. № 23 – 5 с.
3. Камусин, А.А. Водный транспорт леса: учебник для вузов / А.А. Камусин, Ю.Я. Дмитриев, А.Н. Минаев и др.; под ред. В.И. Пяткина, 2-е изд. стереотип. М.: МГУЛ, 2002. 432 с.
4. Войтко, П.Ф. Транспорт леса. Совершенствование лесоперевалочных процессов на рейдах приплава: учебное пособие / П.Ф. Войтко. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 304 с.
5. ГОСТ 25835-83 Краны грузоподъемные. Классификация механизмов по режимам работы. Введ. 01.01.85. – М.: Изд-во стандартов, 1983. 9 с.
6. ГОСТ 3069-80. Канат стальной. Сортамент. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1980. 5 с.
7. ГОСТ 6627-74 Крюки однорогие. Заготовки. Типы. Конструкция и размеры. Введ. 01.01.76. М.: Изд-во стандартов, 1974. 7 с.
8. Грузозахватные приспособления и тара: Учебное пособие / М.Н. Хальфин [и др.]; под общей ред. М.Н. Хальфина. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 144 с.
9. Гайсин, И. Г. Разработка операционной технологии выгрузки плоских сплочных единиц из воды на рейдах приплава: Сб. матер. Междунар. молодеж. науч. конф. «Науч.-прогрессу – творчество молодых» в 3 ч. – ч.3. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010 С. 94-96.
10. Митрофанов, А. А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: монография. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. – 492 с.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ТОРЦЕВЫРАВНИВАТЕЛЯ К-142

П.Ф. ВОЙТКО, *проф., декан лесопромышленного факультета МарГТУ, д-р техн. наук,*  
М.М. РОЩИНА, *асп. каф. технологии и оборудования лесоперерабатывающих пр-в МарГТУ*

*roschinamm@marstu.net*

На лесопромышленных предприятиях для формирования лесных грузов наибольшее распространение получили торцевыравнивающие устройства гравитационного типа с поворотными щитами ТГПК-1, К-127, К-142, К-153 [1]. Они эксплуатируются на лесоперевалочных базах и лесопромышленных предприятиях совместно с крановыми механизмами различных типов. Принцип их работы заключается в использовании силы тяжести лесного груза, опускаемого краном в торцевыравниватель для выравнивания торцов пачки бревен поворотными щитами. Недостатком известных гравитационных торцевыравнивателей [2–6] является длительный цикл торцевания, связанный с наличием больших сил трения между круглыми лесоматериалами и грузовыми балками и необходимостью многократного опускания краном пачки круглых лесоматериалов в торцевыравниватель. При опускании краном пачки лесоматериалов в гравитационный торцевыравниватель К-142 она ложится на грузовые балки, которые, опускаясь с пачкой и перемещаясь в горизонтальном направлении, скребут по поверхности бревен и создают дополнительное сопротивление трения скольжения. Возникающее сопротивление уменьшает общее усилие торцевания и снижает качество выравнивания, что требует повторного опускания краном пачки круглых лесоматериалов в торцевыравниватель. Недостатком конструкции К-142 [6] являются частые поломки грузовых балок, которые приварены к телескопическим балкам, что исключает их производственную замену.

Для устранения перечисленных недостатков и снижения сил трения между грузовыми балками и пачкой лесоматериалов, а также повышения производительности торцевыравнивателей гравитационного типа предлагаем совершенствовать конструкцию грузовых балок торцевыравнивателя К-142. Предлагаемая

конструкция торцевыравнивателя (рис. 1) содержит металлическую горизонтальную раму 1, на которой вертикально установлены четыре стойки уловители 2, трособлочную систему 3, промежуточную опору 4, за которую крепятся две регулировочные цепи 5, соединяющие две передвижные каретки 6, на которых шарнирно установлены два Г-образных поворотных торцующих щита 7, оборудованных горизонтальными ребрами 8, противовесами 9 и телескопическими балками 10, на концах которых установлены упоры 13 и съемные грузовые балки-ролики 10, на концах которых установлены упоры 11 и съемные грузовые балки-ролики 12, вращающиеся вокруг своей оси на шарикоподшипниках 13.

Грузовые балки-ролики 12 (рис. 2–4) выполнены из полых труб, прикрепленных к телескопическим балкам 10 с помощью болтовых соединений 14, на которых смонтированы самовращающиеся ролики 15 на шарикоподшипниках 13 расчетной длины, равной минимальному диаметру торцуемых бревен 16. Вращающиеся ролики позволяют независимо перемещаться круглым лесоматериалам на грузовых балках в противоположных направлениях при торцевании и снижать силы трения между грузовыми балками и нижним рядом круглых лесоматериалов. Вращающиеся ролики на грузовых балках при взаимодействии с пачкой круглых лесоматериалов катятся по поверхности бревен и создают незначительное сопротивление качения. Трение качения значительно меньше во много раз, чем трение скольжения, потому что коэффициенты трения качения (дерево–сталь) 0,03 меньше трения скольжения (сталь–дуб) 0,6 в 20 раз [8].

Выравнивание торцов пачек круглых лесоматериалов осуществляется следующим образом. Краном пачку круглых лесоматериалов в грузовых стробах или грейфером опускают на грузовые балки-ролики торце-

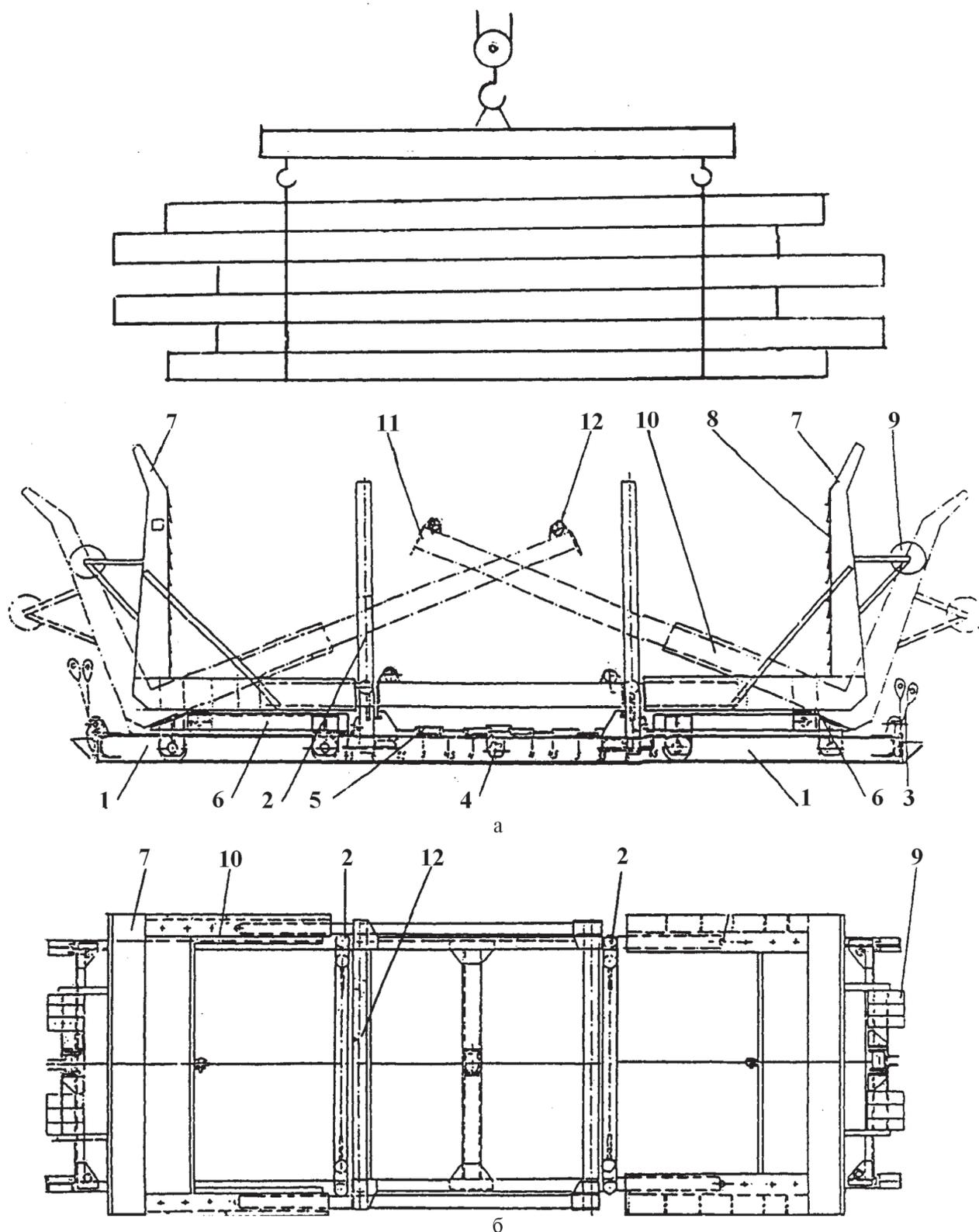


Рис. 1. Устройство для выравнивания торцов пачки круглых лесоматериалов: 1 – металлическая горизонтальная рама; 2 – четыре стойки уловители; 3 – трособлочная система; 4 – промежуточная опора; 5 – две регулировочные цепи; 6 – две передвижные каретки; 7 – два Г-образных поворотных торцующих щита; 8 – горизонтальные ребра; 9 – противовесы; 10 – две телескопические балки; 11 – упоры; 12 – съемные грузовые балки-ролики; 13 – шарикоподшипники

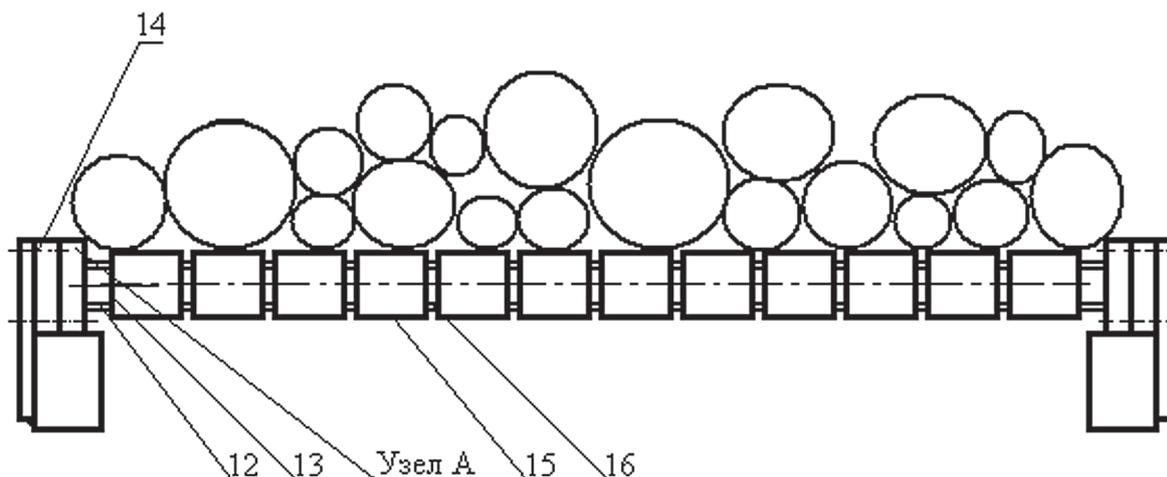


Рис. 2. Грузовая балка гравитационного торцевывравнивателя: 12 – съемные грузовые балки-ролики; 13 – шарикоподшипники, 14 – болтовое соединение, 15 – самовращающиеся ролики, 16 – торцуемые бревна

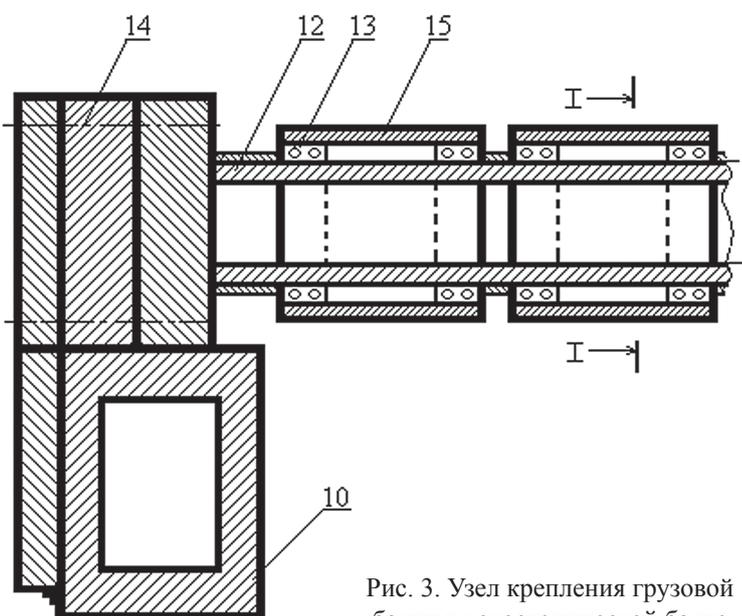


Рис. 3. Узел крепления грузовой балки к телескопической балке

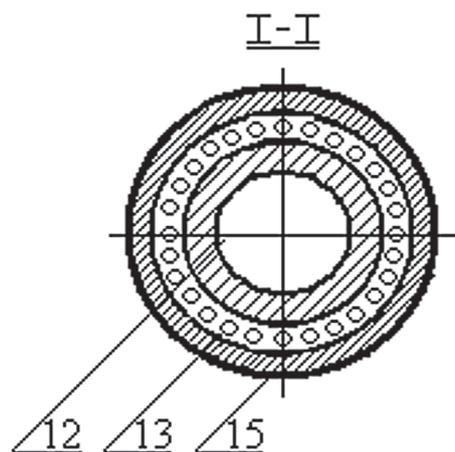


Рис. 4. Разрез грузовой балки

выравнивателя 12. Под действием веса пачки грузовые балки-ролики 12 опускаются с грузом на металлическую раму 1, поворачивая Г-образные торцующие щиты 7 в вертикальное положение. Одновременно вертикальные участки торцующих щитов 7 взаимодействуют с выступающими торцами круглых лесоматериалов 16, перемещая их внутрь пачки. После торцевания пачку выровненных бревен перегружают краном из торцевывравнивателя на лесовозный транспорт, а торцующие щиты 7 возвращаются в исходное положение под действием силы тяжести противовесов 9.

Для определения усилия торцевания любого слоя пачки круглых лесоматериалов

гравитационным торцевывравнивателем с поворотными щитами используем зависимость И.П. Донского и Я.И. Виноградова [9]

$$F_c = 2Kf(1 + m)\gamma \eta l_o h B_n, \quad (1)$$

где  $K$  – относительное число выступающих торцов бревен в слое;

$f$  – коэффициент трения между бревнами при их относительном перемещении вдоль волокон;

$m$  – коэффициент распора;

$\gamma$  – объемный вес древесины, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta$  – коэффициент полнодревесности пачки;

$h$  – высота вышележащего слоя бревен, м;

$B_n$  – ширина пачки, м.

Для гравитационного торцевывравнивателя, оснащенного грузовыми балками-роликами, коэффициент сопротивления продольному перемещению бревен

$$f = f_c + f_k, \quad (2)$$

где  $f_c$  – коэффициент трения скольжения бревен между собой;

$f_k$  – коэффициент трения качения бревен по грузовой балке.

Количество бревен в пачке

$$n = n_1 + n_2, \quad (3)$$

где  $n_1$  – количество бревен внутри пачки;

$n_2$  – количество бревен, расположенных на грузовых балках.

Коэффициенты трения и количество бревен можно связать выражением

$$fn = f_c n_1 + f_k n_2. \quad (4)$$

Выразим осредненный коэффициент трения  $f$  выражения (4)

$$f = (f_c n_1 + f_k n_2) / n. \quad (5)$$

Масса пачки круглых лесоматериалов соответствует грузместимости торцевывравнивателя

$$M = W\gamma, \quad (6)$$

где  $W$  – объем древесины в пачке, м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – объемный вес древесины, т/м<sup>3</sup>.

Объем пачки

$$W = LBH\eta, \quad (7)$$

$$\text{или } W = nW_0, \quad (8)$$

где  $L$ ,  $B$ ,  $H$  – длина, ширина, высота пачки, формируемой в торцевывравнивателе, м;

$\eta$  – коэффициент полндревесности пачки;

$W_0$  – объем одного бревна, м<sup>3</sup>

Приравнявая выражения (7) и (8), вычислим  $n$

$$n = LBH\eta / W_0. \quad (9)$$

Вычислим объем осредненного бревна в пачке круглых лесоматериалов

$$W_0 = \pi d_0^2 L / 4, \quad (10)$$

где  $d_0$  – средний диаметр бревен, м.

Количество бревен в пачке

$$n = 4BH\eta / \pi d_0^2. \quad (11)$$

С учетом преобразований (5) и (11) усредненный коэффициент трения вычислим по формуле

$$f = \frac{(n_1 \cdot f_1 + n_2 f_2) \pi \cdot d_0^2}{4 \cdot B \cdot H \cdot \eta} \quad (12)$$

Тогда по формуле (1) усилие торцевания вычисляем по формуле

$$F_6 = 2K_n \frac{(n_1 f_c + n_2 f_k) \pi d_0^2}{4BH\eta} (1+m) \gamma \cdot \eta \cdot l \cdot h \cdot B = \frac{2K \cdot (n_1 f_c + n_2 f_k) \cdot d_0^2 \cdot (1+m) \gamma \cdot l \cdot \pi \cdot h}{4H}. \quad (13)$$

Предложенная конструкция грузовых балок гравитационного торцевывравнивателя позволит уменьшить трение качения между пачкой лесоматериалов и грузовыми балками, интенсифицировать процесс торцевания пачки круглых лесоматериалов, за счет чего повысится производительность торцевывравнивателя на 30 %, снизится расход электроэнергии кранового оборудования на 25 %.

### Библиографический список

1. Войтко, П.Ф. Транспорт леса. Совершенствование лесоперевалочных процессов на рейдах приплава: учебное пособие / П.Ф. Войтко. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 304 с.
2. АС 140843 СССР, МКИ 81е, 129. Устройство для выравнивания торцов круглого леса в пакете / П.Н. Колосов (СССР). – № 646262/27. Заяв. 07.12.59. Оpubл. 01.11.60. Бюл. № 15. – 2с.
3. АС 192066 СССР, МКИ 81е, 129. Устройство для выравнивания торцов бревен в пачке / Д.И. Кожанов, Э.С. Ескарев, П.А. Юринкин (СССР). – № 1049718/27-11. Заяв. 17.01.66. Оpubл. 23.01.67. Бюл. № 44. – 2с.
4. АС 1183436 СССР, МКИ<sup>3</sup> В65 G57/18, 129. Устройство для выравнивания торцов пакета лесоматериалов / А.С. Фадеев, М.И. Кошкин, М.В. Щенов, В.И. Фадеева (СССР). – № 3568685/27-11. Заяв. 24.03.83. Оpubл. 07.10.85. Бюл. № 37. – 2с.
5. АС 1456335 СССР, МКИ<sup>4</sup> В65 G57/18, 69/00. Устройство для выравнивания торцов пакетов лесоматериалов / А.С. Фадеев (СССР). – № 4134877-11, № 418403/29-11. Заяв. 07.10.86. Оpubл. 07.02.89/29. Бюл. № 5. – 2с.
6. Патент 2303566 РФ, МПК 51 В65 G57/18, 69/00. Устройство для выравнивания торцов пачек (пучков) круглых лесоматериалов / М.Н. Волдаев, Е.М. Царев. Заяв. 06.02.2006. Оpubл. 27.07.2007. Бюл. № 21. – 4с.
7. Грубов, С.И. Исследование коэффициентов сопротивления движению неокоренной древесины / С.И. Грубов // Тр. / ЦНИИМЭ. – 1964. – № 52. – С.35.
8. Никитин, Е.М. Теоретическая механика / Е.М. Никитин. – Изд. 6-е, стереотип. – М.: Наука, 1967. – 520 с.
9. Донской, И.П. Усилия выравнивания торцов пакетов бревен. / И.П. Донской, Я.И. Виноградов // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса. Межвуз. сб. науч. тр. – Л., РИО ЛТА, 1974. – Вып. III. – С. 84–89.

## ОЦЕНКА ЭНЕРГОЕМКОСТИ МЕХАНИЗМОВ ПОВОРОТА МОДУЛЬНЫХ СОЧЛЕНЕННЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

М.В. ВОЛОСУНОВ, асс. каф. лесных д/о машин и материаловедения УхмГТУ

*michaelvolosunov@mail.ru*

Запасы деловой древесины на территории нашей и зарубежных стран в легкодоступных областях регионов преимущественно освоены. Все возрастающие потребности в сырье вынуждают лесозаготовителей разрабатывать древесину в труднодоступных местах на грунтах III и IV категорий, представляющих собой слабонесущие поверхности. Разработка таких лесосек предъявляет повышенные требования к проходимости лесозаготовительных машин, которые около

60 % времени движения затрачивают на маневрирование, что связано со значительными затратами энергии машины на поворот в коле. Наилучшим вариантом для разработки подобного рода лесосек являются модульные сочлененные гусеничные машины. Применяемые сейчас модели машин были разработаны в шестидесятых годах и не отвечают современным требованиям технологичности и экономичности. Необходимо разрабатывать и внедрять принципиально новые перспектив-

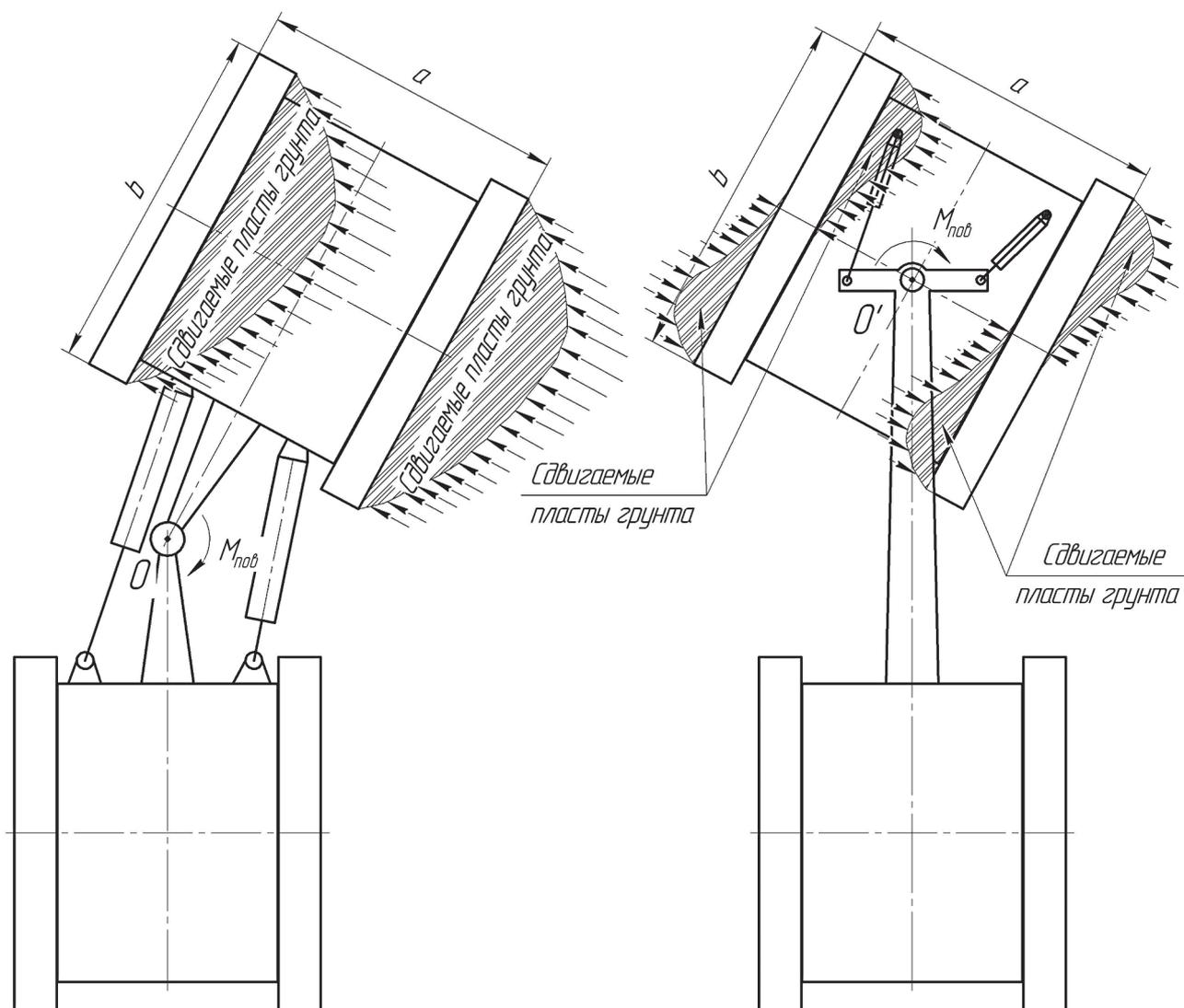


Рис. 1. Конструктивные схемы механизмов поворота сочлененных транспортных машин: 1 – традиционная, 2 – перспективная

ные технические решения с учетом энергоёмкости процесса поворота в колее, применимые к слабонесущим поверхностям лесосек.

Проанализируем два варианта различных конструктивных схем поворота сочлененной колесно-гусеничной лесотранспортной машины (рис. 1) [1].

Кинематически-силовой анализ двух сравниваемых режимов поворота (рис. 1) позволяет определить общие зависимости момента поворота передней секции.

Первый (традиционный) способ поворота был рассмотрен в [2]

$$M_n = \frac{P \times j_{mp} + K_y \times \delta + C_0 \times \mu_{\delta} \times}{(1 - \mu_{\delta} \times \operatorname{tg} j^{\circ}) \times} \times r_k^2 \left( \frac{\pi \times \arccos((r_k - h) / r_k) - K}{A} \right) \times (d_n^2 - 0,5d_u^2) \cos \alpha, \text{ (кНм)} \quad (1.1)$$

$$M_n = a \cos \alpha P \pi (d_n^2 - 0,5d_u^2), \text{ (кНм)}. \quad (1.2)$$

Согласно методике определения момента сопротивления повороту  $M_{cn}$  двигателей (опорных ходовых элементов), находящихся в колее, он равен с учетом деформации грунта при создании  $M_{cn}$

$$\Sigma M_{СП} = G \cdot \varphi_{mp} \cdot C + K_y \cdot \delta \cdot C + M_n \cdot \mu_{\delta} \cdot \operatorname{tg} \varphi^{\circ} + C_0 \cdot C \cdot \mu_{\delta} \cdot \Sigma F_c \text{ (кН} \cdot \text{м)}.$$

Условие выполнения поворота в колее

$$M_n > \Sigma M_{СП}$$

или

$$M_n (1 - \mu_{\delta} \cdot \operatorname{tg} \varphi^{\circ}) > G \cdot \varphi_{mp} \cdot C + K_y \cdot \delta \cdot C + C_0 \cdot C \cdot \mu_{\delta} \cdot \Sigma F_c,$$

откуда

$$M_n > C \frac{G \cdot \varphi_{mp} + K_y \cdot \delta + C_0 \cdot \mu_{\delta} \cdot \Sigma F_c}{1 - \mu_{\delta} \cdot \operatorname{tg} \varphi^{\circ}},$$

где суммарная площадь сегментов двух колес передней секции равна

$$\Sigma F_c = r_k^2 \left( \frac{\pi \cdot \arccos((r_k - h) / r_k)}{90^{\circ}} - K \right) = r_0^2 \cdot A$$

где  $r_k$  – динамический радиус ведущего колеса (м).

Зная выражение « $M_n$ » для каждого рассматриваемого случая схем, определим необходимое давление « $P$ » гидрожидкости в приводных гидроцилиндрах каждой схемы (давление « $P$ » является критерием оценки энергоёмкости поворота в каждой схеме).

Традиционная схема

$$P > C \cdot \frac{G \cdot \varphi_{mp} + K_y \cdot \delta + C_0 \cdot \mu_{\delta} \cdot r_k^2 \times \left( \frac{\pi \cdot \arccos((r_k - h) / r_k) - K}{A} \right)}{(1 - \mu_{\delta} \cdot \operatorname{tg} \varphi^{\circ}) \cdot (d_n^2 - 0,5d_u^2) \cos \alpha} \text{ (МПа)}. \quad (1.3)$$

Прогрессивная схема

$$P > C \cdot \frac{G \cdot \varphi_{mp} + K_y \cdot \delta + C_0 \cdot \mu_{\delta} \cdot \Sigma F_c}{(1 - \mu_{\delta} \cdot \operatorname{tg} \varphi^{\circ}) \cdot a \cdot \cos \alpha \cdot \pi (d_n^2 - 0,5d_u^2)} \text{ (МПа)}. \quad (1.4)$$

Исходные параметры расчета.

Угол поворота  $\varphi^{\circ} = 30^{\circ}$ ; ширина секции  $a = 2,5$  м; длина секции  $b = 1$  м; используемый гидроцилиндр ЦС-110,  $d_n = 0,11$  м,  $d_{штока} = 0,04$  м.

Параметры глинистого грунта при разной консистенции  $B_k$  и величине глубины колеи « $h$ » определены  $h = 0,1$  м для глинистой тугопластичной поверхности и  $h = 0,156$  м для текучепластичного состояния с вариацией прочностных параметров  $C_0$ ,  $\varphi^{\circ} = f(B_k)$ .

Параметр  $C$  – отношение  $a$  к  $2b$  равен  $C = 2,5/2,0 = 1,25$  (в расчетах параметр  $C$  взят 1,274, т.е. параметр  $b$  взят равным 0,98 м).

При расчете величины  $P$  все параметры грунта и колес ходовой части взяты из статьи [2] для тугопластичного и текучепластичного состояния глинистой поверхности.

Расчет параметров необходимого давления в гидроцилиндре.

Прогрессивная схема.

Тугопластичное состояние грунта  $h = 0,1$  м (гидроцилиндр ЦС-110)

$$P > 1,274 \cdot \frac{(50 \cdot 0,4 + 280,5 \cdot 0,122 + 40 \cdot 0,5 \cdot 0,603^2 \cdot 0,28)}{0,8375 \cdot 2,5 \cdot \cos 30^{\circ} \times 3,14(0,11^2 - 0,5 \cdot 0,04^2)},$$

$$P = 1114 \text{ кН/м}^2 = 1,114 \text{ МПа},$$

Тугопластичное состояние грунта  $h = 0,1$  м

(гидроцилиндр ЦС-80  $d_n = 0,11$  м,  $d_{штока} = 0,04$  м)  $P = 2,23$  МПа.

Текучепластичное состояние грунта  $h = 0,156$  м (гидроцилиндр ЦС-110)

$$P > 1,274 \cdot \frac{(50 \cdot 0,3 + 280,5 \cdot 0,052 + 10 \cdot 0,4 \cdot 0,603^2 \cdot 0,6)}{0,944 \cdot 2,5 \cdot \cos 30^{\circ} \cdot 3,14 \cdot 0,0113}$$

**Сравнительные параметры давлений  $P$  традиционной и прогрессивной схем поворота сочлененной лесотранспортной машины (МПа)**

Тип механизма	Тугопластичное состояние грунта	Текучепластичное состояние грунта
Традиционный (колесный движитель)	17,7	18,3
Прогрессивная (колесно-гусеничный движитель)	2,8	1,4

$P = 563 \text{ КН/м}^2 = 0,54 \text{ МПа}$ ,

Текучепластичное состояние грунта  $h = 0,156 \text{ м}$  (гидроцилиндр ЦС-80  $d_n = 0,11 \text{ м}$ ,  $d_{\text{штока}} = 0,04 \text{ м}$ )  $P = 1,08 \text{ МПа}$ .

Сравнение показателей необходимых давлений жидкости  $P$  в гидроцилиндрах сервопривода механизмов поворота.

Прогрессивная схема (ЦС-110)

при  $h = 0,1 \text{ м}$   $P > 1,1 \text{ МПа}$ ,

$h = 0,156 \text{ м}$   $P > 0,54 \text{ МПа}$ .

Прогрессивная схема (ЦС-80 параметр  $a = 2,5 \text{ м}$ )

при  $h = 0,1 \text{ м}$   $P > 2,23 \text{ МПа}$ ,

$h = 0,156 \text{ м}$   $P > 1,08 \text{ МПа}$ .

Приведение прогрессивной схемы поворота (схема 2 рис. 1) к традиционной (схема 1 рис.1).

Параметр  $P$  увеличиваем в 1,25 раза, т.к. ширина секции в [2] по схеме 1 меньше в 1,25 раза (ЦС-80 параметр  $a = 2,0 \text{ м}$ ), прогрессивная схема поворота

при  $h = 0,1 \text{ м}$   $P > 2,28 \text{ МПа}$ ,

$h = 0,156 \text{ м}$   $P > 1,4 \text{ МПа}$ .

Показатели необходимых давлений жидкости  $P$  в гидроцилиндрах сервопривода

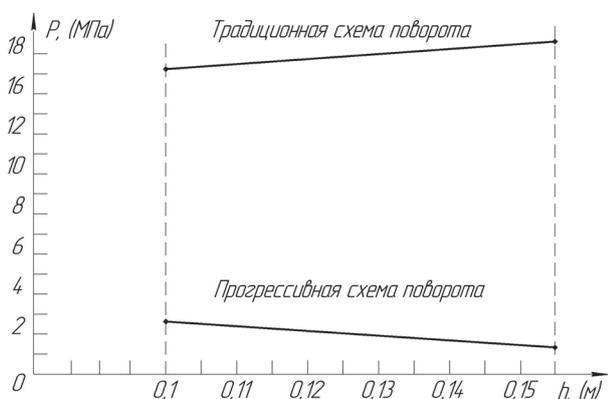


Рис. 2. Сравнительный график давлений в гидроцилиндре механизма поворота традиционной (колесный движитель) и прогрессивной (колесно-гусеничный движитель) схем

механизмов поворота традиционного способа взяты из статьи [2] и приведены в таблице.

Сравнив схемы механизмов поворота по критерию  $P$ , отдаем предпочтение прогрессивной схеме как обеспечивающей меньшую энергоемкость поворота по величине необходимого давления в сервоприводах механизма поворота.

Сравнение с традиционной схемой поворота сочлененной транспортной машины (схема 1, рис. 1) прогрессивной схемы поворота (схема 2, рис. 1) с использованием в обеих схемах гидроцилиндров ЦС-80 с параметрами  $d_n = 0,11 \text{ м}$ ,  $d_{\text{штока}} = 0,04 \text{ м}$  дает следующие показатели необходимого давления жидкости в гидроцилиндрах (таблица).

В графическом варианте сравнения уравнений энергоемкости поворота по критерию давления в сервоприводе механизмов поворота, зависящего от глубины колеи, представлена следующая зависимость (рис. 2).

По сравнению с традиционным способом поворота относительно точки  $O$  (рис. 1) поворот передней секции по схеме 2 относительно точки  $O'$  дает существенное снижение энергоемкости поворота за счет совершенно иного характера взаимодействия боковых поверхностей опорных катков колес со стенками колеи. Расчетное снижение давления в гидроцилиндре сервопривода поворотных механизмов при глубине колеи  $h = 0,1 \text{ м}$  в 6,32 раза, при глубине колеи  $h = 0,156 \text{ м}$  в 13 раз.

**Библиографический список**

1. Затейников, Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин / Н.А. Затейников – М.: Машиностроение, 1975. – 448 с.
2. Дроздовский, Г.П. Энергоемкость поворота шарнирно-сочлененного трелевочного трактора / Г.П. Дроздовский, Н.Р. Шоль // Матер. науч.-техн. конференции (март 2009, г. Ухта): в 3 ч.; Ч. 3. – Ухта: УГТУ, 2009. – С. 194.

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛЕСНЫХ МАШИН ОТ КОРРОЗИИ

М.И. ГОЛУБЕВ, *асп. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ*

*mgolubev@mgul.ac.ru*

**В** лесном хозяйстве используется большое количество прицепных машин, эксплуатируемых сезонно, в течение нескольких смен в году (плуги, бороны, культиваторы и др.). В остальное время они находятся на хранении, преимущественно на открытых площадках, что приводит к разрушению лакокрасочных покрытий и протеканию на поверхности машин коррозионных процессов.

Исследованиями установлено, что поверхности деталей с коррозионными разрушениями изнашиваются в 1,5–2 раза быстрее, а их усталостная прочность снижается на 30–40 %. Экономические потери от коррозии достигают 40 % от всех средств, затрачиваемых на ремонт техники, а 70–80 % деталей машин выходит из строя вследствие совместного воздействия атмосферной коррозии и механических нагрузок. После трех лет эксплуатации прицепных машин коррозионному воздействию подвержены 70–80 % деталей и узлов, площадь коррозионных по-

ражений составляет от 15 до 90 % поверхности [1].

Характер и степень поражения машин коррозией определяются их конструктивными особенностями, стойкостью к коррозии используемых конструкционных материалов и эффективностью консервационных составов. В настоящее время разработано большое количество консервационных материалов, различающихся эффективностью защиты машин от коррозии [2] (табл. 1).

Анализ консервационных материалов показывает, что составы, в основном получаемые на нефтяной основе, имеют высокую стоимость (табл. 2).

Возможно приготовление консервационных материалов на основе растительных масел. Проведенные в ГНУ ВИИТИН коррозионные испытания показывают, что растительные масла по защитным свойствам не хуже, чем минеральное моторное масло, в том числе отработавшее 300 мото-ч. [3].

Т а б л и ц а 1

**Консервационные материалы для защиты от коррозии**

Консервационный материал	Область применения	Толщина покрытия, расход	Срок действия
Пластичные смазки	Наружные неокрашенные поверхности в жестких и особо жестких условиях	Толщина покрытия 0,4–0,6 мм, расход 0,5–0,6 кг/м <sup>2</sup>	На открытых площадках до 1 года, в закрытых помещениях – до 3 лет
Жидкие консервационные масла	При хранении в закрытых помещениях и под навесом	Расход 50–150 г/м <sup>2</sup>	В закрытых помещениях до 12, под навесом – до 6–8 мес.
Пленкообразующие ингибированные нефтяные составы	На открытых площадках в особо жестких условиях	Толщина 10–40 мкм, расход 100–250 г/м <sup>2</sup>	10–12 мес.
Защитные восковые дисперсии	Защита от атмосферной коррозии и старения деталей	Толщина 30–60 мкм, расход 60–100 г/м <sup>2</sup>	До 12 мес.
Маслорастворимые ингибиторы коррозии	Защита наружных и внутренних поверхностей без прямого попадания атмосферных осадков	Толщина покрытия 30–200 мкм, расход 60–80 г/м <sup>2</sup>	10–12 мес.
Летучие ингибиторы коррозии	Изделия из стали, цветных металлов и неметаллических материалов	Количество ингибитора в бумаге от 3 до 20 г/м <sup>2</sup>	До 10 лет при герметичной упаковке
Бензинобитумные составы	При хранении на открытых площадках	Толщина защитного слоя 0,15–0,2 мм	6–8 мес.

**Стоимость 1 кг консервационных составов (данные на 1.01.2012 г.)**

Консервационный состав	Область применения	Стоимость, руб.
Пушечная смазка	Консервация наружных неокрашенных металлических поверхностей, запасных частей при складском хранении в условиях температур от -50 до +60° С	50
Смазка АМС	Защита от коррозии в жестких и особо жестких условиях. Консервация техники при транспортировке на судах и погруженных механизмов в условиях контакта с водой	170
Консервационное масло НГ-203	Защита от коррозии наружных металлических поверхностей и механизмов в закрытых помещениях и под навесом, внутренних поверхностей металлоизделий и механизмов	80
Консервационное масло К-17	Консервация черных и цветных металлов в условиях, исключающих прямое попадание атмосферных осадков и солнечных лучей. Внутренняя консервация двигателей, полостей и картеров машин	70
Защитное пленочное покрытие НГ-216	Защита техники на открытых площадках в особо жестких условиях	90
Защитный состав «Кормин»	Защита от коррозии наружных поверхностей деталей открытых передач и запасных частей машин при хранении под навесом и на открытых площадках	60
Состав ПЭВ-74	Защиты от коррозии в условиях открытой атмосферы, предохранение от старения лакокрасочных покрытий	60
Ингибированный водно-восковой состав ИВВС	Защита от атмосферной коррозии и старения основных материалов сборочных единиц и деталей машин (металла, резины, резинотекстиля, дерева, пластмассы), лакокрасочных покрытий	50
Присадка «Эмульгин»	Защита от коррозии внутренних и наружных металлических поверхностей узлов и механизмов машин	50
Ингибитор ХЦА	Защита от атмосферной коррозии стали, чугуна и цветных металлов	370

**Результаты натурно-стендовых испытаний ГНУ ВИИТИН**

Исследуемое масло	Степень защиты, %					
	Открытая атмосфера			Неотапливаемое помещение		
	3 мес.	6 мес.	12 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.
Подсолнечное	38	27	15	100	100	85
Отстой подсолнечного масла	100	100	100	100	100	100
Рапсовое	45	33	25	100	100	90
Отстой рапсового масла	100	100	100	100	100	100

Основным препятствием широкому применению растительных масел в качестве консервационных материалов является их относительно высокая стоимость. Поэтому перспективны исследования по применению в качестве консервационных материалов отходов производства растительных масел: подсолнечного, рапсового, соевого и других. При производстве растительных масел образуется от 5 до 10 % отходов, которые не могут использоваться в качестве пищевых компонентов. Одним из эффективных способов утили-

зации этих отходов является их переработка в технические смазки и консервационные материалы.

Исследования ГНУ ВИИТИН показывают, что отстой подсолнечного и рапсового масел при ускоренных и натурно-стендовых испытаниях позволяют полностью защитить стальную поверхность от коррозии [3] (табл. 3).

Использование отходов производства растительных масел в качестве консервационных составов перспективно вследствие их невысокой стоимости (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

**Стоимость 1 кг отходов  
производства растительных масел  
(данные на 1.01.2012 г.)**

Отходы производства растительных масел	Стоимость, руб.
Отходы производства подсолнечного масла	5
Отходы производства рапсового масла	4
Отходы производства соевого масла	4

В последние годы появились публикации о получении консервационных материалов путем наноструктурирования [4, 5]. Результаты испытаний показывают высокую защитную эффективность таких ингибиторов коррозии. Однако для их получения используются товарные растительные масла, а в качестве растворителей – минеральные масла.

Нами на кафедре технологии машиностроения и ремонта Московского государственного университета леса совместно с Московским государственным агроинженерным университетом разработан ингибитор коррозии, полученный на основе синтеза отходов производства рапсового масла. Введением в отработанное моторное масло разного количества ингибитора коррозии можно управлять защитной способностью получаемого консервационного состава. Оптимальная концентрация ингибитора коррозии позволит получить экономичный консервационный со-

став для противокоррозионной защиты в зависимости от климатических условий хранения машин. Опытно-промышленная партия этого ингибитора коррозии выпущена компанией «Автоконинвест» и в настоящее время проходит производственную проверку.

**Библиографический список**

1. Черноиванов, В.И. Сохраняемость и противокоррозионная защита техники в сельском хозяйстве / В.И. Черноиванов, А.Э. Северный, А.Н. Зазуля и др. – М.: ГОСНИТИ, 2010. – 266 с.
2. Северный, А.Э. Практикум по хранению и защите от коррозии сельскохозяйственной техники: учебно-методические рекомендации / А.Э. Северный, Е.А. Пучин, В.Е. Рязанов и др.. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 160 с.
3. Князева, Л.Г. Возобновляемое сырье для противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники / Л.Г. Князева, В.Д. Прохоренков, А.И. Петрашев и др. // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сб. научн. докладов XV международной научно-практической конференции (18–19 сентября 2009 г., г. Тамбов). – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2009. – С. 372–376.
4. Гайдар, С.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий: дисс. ... д-ра техн. наук / С.М. Гайдар. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2011 – 34 с.
5. Гайдар, С.М. Теория и практика создания ингибиторов коррозии для консервации сельскохозяйственной техники / С.М. Гайдар. – М.: Росинформагротех, 2011. – 301 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩИХ  
КОНСТРУКЦИЙ ХАРВЕСТЕРОВ НА ТРАНСПОРТНЫХ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ**

С.А. ГОЛЯКЕВИЧ, *асп. каф. лесных машин и технологии лесозаготовок Белорусского ГТУ*

*gsa.bstu@gmail.com*

**В**ажнейшим условием эффективной эксплуатации валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин (харвестеров) является обеспечение их безотказной работы. До 20 % эксплуатационных отказов этих машин происходит по причине выхода из строя несущих конструкций, что актуализирует задачу исследования их нагруженности.

Для оценки динамической нагруженности специализированных колесных харвестеров 4К4 и 6К6 на транспортных и технологических операциях разработана комплексная пространственная математическая модель, схема которой приведена на рис. 1.

При моделировании приняты следующие допущения: величины жесткости колес

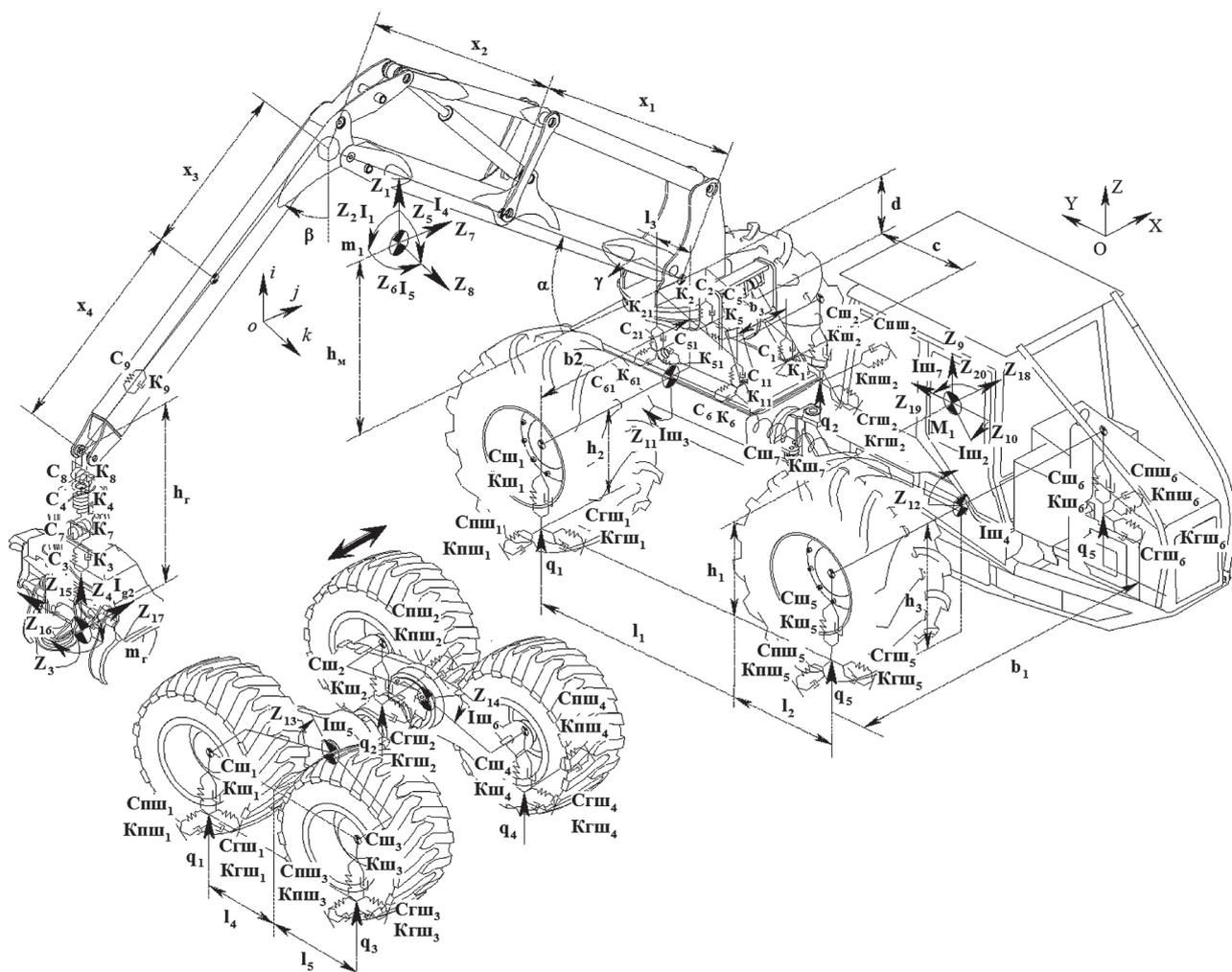


Рис. 1. Схема пространственной динамической модели харвестера 4К4 и 6К6

описываются соответствующими функциями от нагрузки; жесткости гидравлических систем наклона опорной платформы манипулятора, приведенные жесткости стрелы и рукоятки, а также телескопического звена постоянны, демпфирующие свойства элементов системы пропорциональны первой производной по деформации, а связи элементов модели голономны.

Необходимость использования переменной вертикальной жесткости шин подтверждена экспериментально, а постоянные величины жесткостей шин в продольном и поперечном направлении приняты на основании исследований [1]. Упругие характеристики гидроцилиндров манипулятора были приняты согласно исследованию [2].

Наличие поперечного шарнира в несущей конструкции специализированного хар-

вестера приводит к значительным отличиям в их моделировании в сравнении с машинами с «жесткими» рамами. Крутильная жесткость полурам в поперечной и изгибная жесткость рамы в продольной плоскости значительно больше, чем жесткость гидравлической блокировки горизонтального шарнира, что подтверждают исследования [3]. Поэтому в математической модели распределенная масса рамы заменена сосредоточенной, а каждая из полурам обладает выделенным моментом инерции относительно продольной оси. Ввиду наличия в конструкции заднего модуля харвестера 6К6 балансирных опор в модель введены обобщенные координаты их поворота.

Движение элементов шасси харвестера 4К4 в пространстве описывается 7 обобщенными координатами соответственно:  $Z_9$ ,



Рис. 2. Общий вид опорно-поворотной платформы манипулятора



Рис. 3. Гасители колебаний харвестерной головки

$Z_{18}, Z_{19}$  – поступательное движение сосредоточенной массы шасси  $M_1$  по осям  $OZ, OY, OX$ ;  $Z_{10}, Z_{20}$  – вращательное движение рамы в плоскости  $YOZ$  и  $XOY$  с моментами инерции рамы  $I_{u2}, I_{u7}$ ;  $Z_{11}, Z_{12}$  – вращательное движение задней и передней полурам в плоскости  $XOZ$  с моментами их инерции  $I_{u3}, I_{u4}$  соответственно. Для описания работы балансирных тележек в машинах с колесной формулой 6К6 дополнительно введены обобщенные координаты  $Z_{13}, Z_{14}$ , описывающие вращательное движение балансирных опор заднего модуля левого и правого борта в плоскости  $YOZ$

и моменты их инерции  $I_{u5}, I_{u6}$  относительно осей поворота.

Величины жесткости и демпфирования элементов шасси имеют следующие обозначения:  $C_{u1} - C_{u6}$  – жесткости шин в направлении оси  $OZ, K_{u1} - K_{u6}$  – их коэффициенты демпфирования;  $C_{u1} - C_{u6}$  – жесткости шин в направлении оси  $OY, K_{u1} - K_{u6}$  – их коэффициенты демпфирования;  $C_{zu1} - C_{zu6}$  – жесткости шин в направлении оси  $OX, K_{zu1} - K_{zu6}$  – их коэффициенты демпфирования;  $C_{u7}$  и  $K_{u7}$  – крутильная жесткость и коэффициент демпфирования механизма блокировки шарнира. Указанные жес-

ткости и демпфирующие свойства шин записаны для машин с колесной формулой 6К6.

Геометрическое положение элементов шасси описывается соответствующими величинами:  $l_1$  – расстояние от центра тяжести шасси до задней оси;  $l_2$  – расстояния от передней оси до центра тяжести шасси;  $l_3$  – расстояние от места крепления передних опор манипулятора до задней оси;  $l_4, l_5$  – расстояние от задней оси до осей передних и задних колес балансирной тележки;  $c$  – расстояние между передними и задними опорами манипулятора;  $d$  – высота опорной платформы манипулятора;  $b_1$  – расстояние между серединами левых и правых колес;  $b_2$  – расстояние между вертикальной плоскостью середины колеса и ближайшей к нему опоры платформы манипулятора;  $b_3$  – расстояние между левыми и правыми опорами манипулятора;  $h_1$  – высота положения центра тяжести машины;  $h_2$  – расстояние от опорной поверхности до опор манипулятора;  $h_3$  – расстояние от оси горизонтального шарнира сочленения полурам до опорной поверхности.

Современные манипуляторы часто оборудуются опорно-поворотной платформой, изображенной на рис. 2.

При моделировании такой платформы учитывались вертикальные жесткости задних гидроцилиндров  $C_1, C_{11}$  и соответствующие им коэффициенты демпфирования  $K_1, K_{11}$ ; вертикальные жесткости передних опор  $C_2, C_{21}$  и их коэффициенты демпфирования  $K_2, K_{21}$ ; приведенные продольные  $C_5, C_{51}$  и поперечные  $C_6, C_{61}$  жесткости опор с коэффициентами демпфирования  $K_5, K_{51}, K_6, K_{61}$ .

Кинематическое положение манипулятора относительно шасси определяется следующими угловыми координатами:  $\alpha$  – угол наклона стрелы манипулятора к горизонтальной плоскости  $jok$ ,  $\beta$  – угол наклона рукояти к вертикальной плоскости  $iok$ ,  $\gamma$  – угол поворота манипулятора относительно плоскости  $YOZ$ . Положение центров тяжести соответствующих звеньев манипулятора определяется длинами  $x_1 - x_4$ . Высота положения центра тяжести манипулятора относительно поворотной платформы  $h_m$ , а длина подвески харвестерной головки  $h_2$ .

Пространственное движение манипулятора описывается 6 обобщенными координатами:  $Z_1, Z_7, Z_8$  – поступательное движение центра тяжести манипулятора в направлении осей  $oi, oj, ok$  относительной системы координат;  $Z_2, Z_5, Z_6$  – вращательное движение манипулятора в соответствующих плоскостях;  $I_1, I_4, I_5$  – моменты инерции вращательного движения манипулятора;  $m_1$  – масса манипулятора, сосредоточенная в его центре тяжести при заданном кинематическом положении звеньев.

Отличием в моделировании технологического оборудования харвестеров от других манипуляторных лесозаготовительных машин является наличие в рукояти манипулятора телескопического звена с жесткостью  $C_9$  и коэффициентом демпфирования  $K_9$ , а также «не- жестким» подвесом харвестерной головки массой  $m_2$  к манипулятору. В конструкцию подвески современной харвестерной головки входят гасители колебаний (рис. 3). В модели учтены величины их жесткости  $C_7, C_8$  и демпфирующих свойств  $K_7, K_8$ , а также приведенные жесткости  $C_3, C_4$  и демпфирующие свойства  $K_3, K_4$  которые определяются параметрами ротатора головки и ее подвесной скобы.

Движение харвестерной головки описывается обобщенными координатами  $Z_3, Z_{15}-Z_{17}$ . Координата  $Z_4$  описывает свободное вращение харвестерного агрегата в поперечной плоскости манипулятора и применяется при описании операции валки дерева.

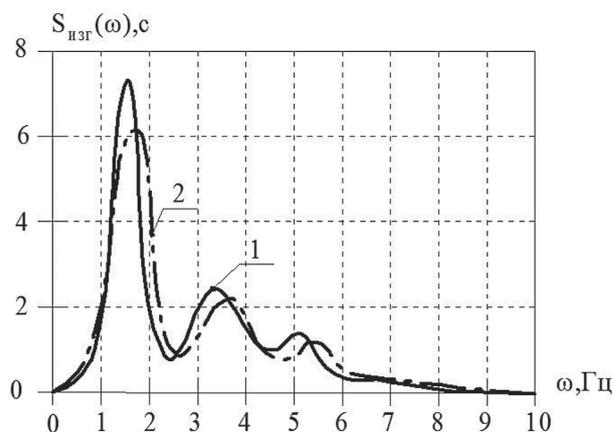


Рис. 4. Нормированные спектральные плотности в шарнире сочленения полурам: 1 – теоретическая зависимость; 2 – экспериментальная зависимость

Воздействия, воспринимаемые колесным двигателем на транспортных операциях харвестера, описываются последовательностью значений отклонения микропрофиля поверхности движения под левым и правым бортами машины, сглаженных с учетом параметров двигателя [4] и распределения опорных реакций в нем.

На основе динамической схемы (рис. 1) выполнено математическое описание в виде системы уравнений Лагранжа 2-го рода, решение которой произведено в программном пакете MathCAD 15 по методу Рунге – Кутты с переменным шагом интегрирования.

Оценка адекватности разработанной математической модели на технологических операциях производилась путем сравнения величин теоретических и экспериментальных значений скручивающих и изгибающих моментов в шарнире сочленения полурам харвестера МЛХ-414 (ПО «МТЗ») и вертикальных ускорений на его харвестерной головке, а на транспортных операциях их нормированных, сглаженных спектральных плотностей.

На рис. 4 показаны сглаженные весовой функцией Парзена нормированные спектральные плотности теоретически и экспериментально полученных изгибающих моментов в шарнире сочленения полурам при движении харвестера по экспериментальному участку волока со скоростью 4 км/ч и положении манипулятора вдоль продольной оси харвестера с вылетом 3,4 м.

Сравнение спектральных плотностей [5] теоретически и экспериментально полученных скручивающих и изгибающих моментов в шарнире сочленения полурам харвестера при движении по участку волока показало, что при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  величина  $\chi^2$  для спектральных плотностей изгибающих моментов составила 23,5–30,2 при значении области принятия гипотезы  $\chi_{n,\alpha}^2$ , равном 43,77 [5], что свидетельствует об эквивалентности сравниваемых спектров экспериментальных и теоретических реализаций изгибающих моментов в шарнире и адекватности разработанной математической модели харвестера.

### Библиографический список

1. Рыскин, Ю.Е. Экспериментальное определение упругих и демпфирующих характеристик крупногабаритных шин низкого давления / Ю.Е. Рыскин, Ю.И. Провоторов // Труды ЦНИИМЭ. – 1971. – Вып. 121. – С. 93–97.
2. Динамика гидропривода / Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Прокофьева. – М.: Машиностроение, 1972. – 288 с.
3. Кочнев, А.М. Повышение эксплуатационных свойств колесных трелевочных тракторов путем обоснования их основных параметров: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / А.М. Кочнев; Санкт-Петербургская лесотехн. академия. – СПб., 1995. – 36 с.
4. Яценко, Н.Н. Поглощающая и сглаживающая способность шин / Н.Н. Яценко. – М.: Машиностроение, 1978. – 132 с.
5. Бендат, Дж. Применение корреляционного и спектрального анализа: пер. с англ. / Дж. Бендат, А.Пирсол. – М.: Мир, 1983. – 312 с.

## НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ

И.В. ГРИГОРЬЕВ, *проф. каф. технологии лесозаготовительных пр-в СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, д-р техн. наук,*

А.И. НИКИФОРОВА, *доц. каф. технологии лесозаготовительных пр-в СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, канд. техн. наук,*

А.М. ХАХИНА, *асп. каф. технологии лесозаготовительных пр-в СПбГЛТУ им. С.М. Кирова*

*silver73@inbox.ru, zhukova\_tonya@mail.ru unpplta@mail.ru*

После известных событий 1991 г. многие отрасли отечественного машиностроения пришли в упадок. Это относится и к лесному машиностроению. Практически прекратили

деятельность большинство отраслевых НИИ и КБ, в лучшем случае, на половину производственных мощностей стали работать машиностроительные заводы лесного комплекса.

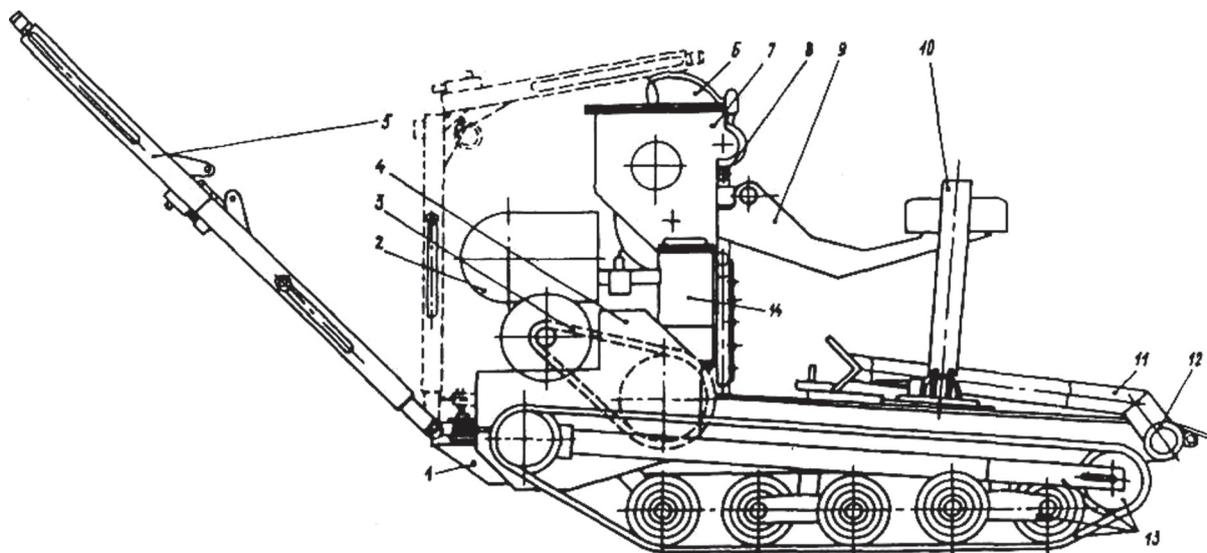


Рис. 1. Компоненка малой универсальной машины: 1 – рама; 2 – двигатель; 3 – клиноременный вариатор; 4 – коробка передач; 5 – водило; 6 – фара искатель; 7 – лебедка; 8 – ограждение; 9 – откидное сидение; 10 – коник; 11 – упоры; 12 – труба поперечная; 13 – ходовая часть; 14 – воздухоочиститель

В результате большая часть научно-технических и опытно-конструкторских разработок для развития и модернизации лесной промышленности легла на плечи отраслевых вузов. Они, в свою очередь, из-за резкого сокращения бюджетного финансирования, а также практически полного прекращения притока внебюджетных средств от отраслевых предприятий, также во многом потеряли научно-производственный потенциал. Практически повсеместно были закрыты опытные мастерские, ушли многие научные работники.

В настоящее время большая часть научно-технических и опытно-конструкторских разработок в области лесного машиностроения выполняется силами профессорско-преподавательского состава отраслевых вузов на личном энтузиазме. К сожалению, из-за разрыва связей с большей частью отраслевых машиностроительных предприятий, случившегося в годы наибольшего экономического упадка, научно-технические и опытно-конструкторские разработки, выполненные сотрудниками вузов, часто пишутся «на полку» и не находят потребителей.

При такой ситуации становится маловероятной инновационная модель развития экономики, декларируемая на различных уровнях государственной власти, поскольку

инновация (англ. innovation) – это внедренное новшество, обеспечивающее качественный рост эффективности процессов или продукции, востребованное рынком. Отсутствие же надежды на апробацию и возможное последующее внедрение разработок лишает их авторов какой-либо мотивации, а лесопромышленный комплекс – шансов на инновационное развитие.

Целью данной статьи является ознакомление читателя с рядом запатентованных научно-технических решений в области техники и технологии лесосечных работ, созданных сотрудниками кафедры Технологии лесозаготовительных производств лесоинженерного факультета СПбГЛТУ.

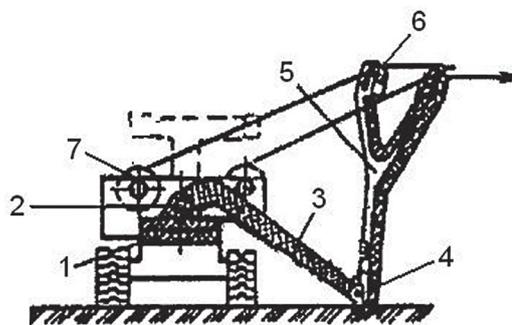


Рис. 2. Самоходная тыловая мачта для МКТУ (вид трактора сзади): 1 – поворотный круг; 2 – цапфа; 3 – наклонная стойка; 4 – шарнир; между наклонной и вертикальной стойками; 5 – вертикальная стойка; 6 – блоки; 7 – барабан для каната

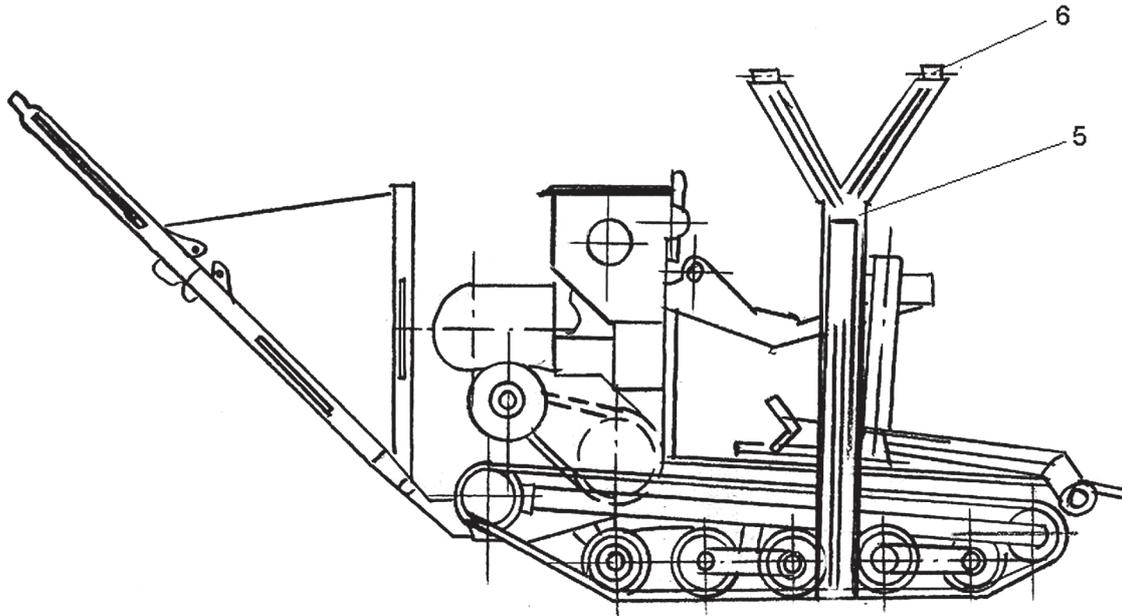


Рис. 3. Вид модернизированной малой универсальной машины сбоку, с тыловой мачтой

Известно, что наиболее узким местом всех технологических процессов лесосечных работ, как с точки зрения экологической, так и эксплуатационной эффективности, являются транспортные операции. В первую очередь это касается трелевки лесоматериалов [1, 2].

В условиях разработки труднодоступных лесосек наиболее предпочтительным видом первичного транспорта леса являются мобильные канатные трелевочные установки. В настоящее время при разработке лесосек в условиях холмисто-рядовых рельефов, характеризующихся крутыми малопротяженными склонами, можно применять мобильные канатные трелевочные установки (МКТУ), разработанные как в РФ, так и за рубежом.

Особенность МКТУ состоит в том, что все они являются однопролетными, причем головная мачта (складная или телескопическая) смонтирована на самоходной гусеничной или колесной базе, а тыловая мачта, вместе с канатной оснасткой, переносится и закрепляется различными методами вручную, что требует большого количества тяжелого ручного труда и существенно снижает производительность МКТУ.

Тыловая мачта при разработке лесосеки, расположенной на крутом склоне, требует нескольких перебазировок, число которых зависит от формы и размеров склона.

Для механизации переместительных операций в лесном хозяйстве в РФ и за рубежом выпускаются малые универсальные лесные тракторы (МУЛ) (рис. 1).

Формула полезной модели – оснащение МУЛа специальным приспособлением, в виде мачты с боковым расположением на поворотной цапфе (рис. 2). К шасси посредством цапфы на поворотном круге прикреплена наклонная стойка. К концу наклонной стойки шарнирно крепится вертикальная стойка. Канат наматывается на барабаны и запасовывается в блоки на вертикальной стойке.

Во время работы МКТУ вертикальная и наклонная стойки вручную поворачиваются на поворотном круге в нужную сторону. Затем вручную поднимается вертикальная стойка и выбирается необходимая длина каната с барабана. После разработки ленты, за счет шарнира, вертикальная стойка укладывается на наклонную и при помощи поворотного круга укладывается в транспортное положение (показано пунктиром).

Преимущество бокового расположения мачты, по сравнению с фронтальным, заключается в том, что при освоении лесосеки шасси может перемещаться по коридору, не выполняя технологических маневров.

Для устойчивости самоходная тыловая мачта может быть снабжена аутригера-

ми. Данное техническое решение проверено на патентную чистоту и защищено патентом РФ на полезную модель (Патент на полезную модель № 84181 опубл. 10.07.2009 Бюлл. № 19).

В настоящее время на лесозаготовках для трелевки лесоматериалов в основном используются трелевочные тракторы, которые, в зависимости от набора технологического оборудования, подразделяются на чокерные, бесчокерные (и тракторы с пачковым захватом). По принципу бесчокерных трелевочных тракторов работают и валочно-трелевочные машины [3].

После доставки древесины на верхний склад ее погружают на автолесовозы. Для этого используются либо специальные погрузчики, либо гидроманипуляторы, устанавливаемые на лесовозах для обеспечения возможности самопогрузки. Автопоезда, оборудованные гидроманипуляторами, также имеют существенный недостаток, связанный с массой погрузочного оборудования – установка гидроманипулятора уменьшает полезную грузоподъемность автопоезда и приводит к дополнительным расходам топлива как в грузовом, так и в холостом направлениях, поэтому использование таких автопоездов целесообразно при вывозке древесины с небольших лесосек при малых плечах вывозки.

Несмотря на наличие манипуляторов с достаточно мощным приводом бесчокерные трелевочные тракторы не могут производить погрузку древесины на лесовозы, поскольку расположение рычагов управления манипулятором (в кабине) не дает оператору достаточного обзора. Поэтому предлагается оснастить гидроманипуляторы бесчокерных трелевочных тракторов дополнительной системой управления и дополнительным местом для оператора на стреле манипулятора (рис. 4)

Предлагаемое решение позволит расширить функциональные возможности вышеуказанных машин за счет добавления в перечень работ, которые они могут выполнять, операции погрузки древесины на лесовозный транспорт. Данное техническое решение проверено на патентную чистоту и защищено патентом РФ на полезную модель (Патент на

полезную модель № 74755 опубл. 20.07.2008 Бюлл. № 20).

Еще одной проблемой лесозаготовительного производства в настоящее время является оперативный учет заготавливаемой древесины, который производится в нескольких точках пути, что снижает производительность технологической цепочки в целом. Кроме этого, оперативный и точный учет лесоматериалов является одним из аспектов эффективной борьбы с незаконными рубками леса.

Для решения этого вопроса предлагается следующее техническое решение. В настоящее время одним из наиболее распространенных способов учета лесоматериалов является весовой, т.е. через измерение веса при известной плотности лесоматериалов определяют их объем в метрах кубических. Этот метод является одним из наиболее точных, простых и соответственно дешевых. Для этого на лесопромышленных складах устанавливаются специальные устройства, взвешивающие груженный лесовоз, и после разгрузки [4].

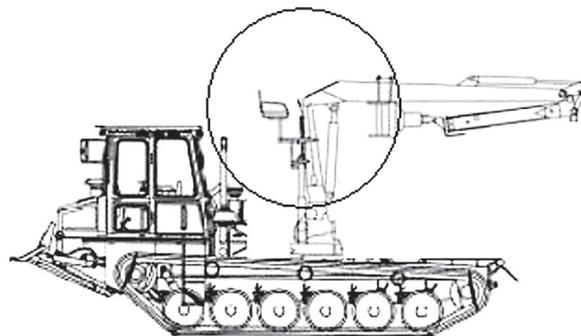


Рис. 4. Бесчокерный трелевочный трактор с дублирующей системой управления для обеспечения возможности погрузки древесины на лесовозный транспорт

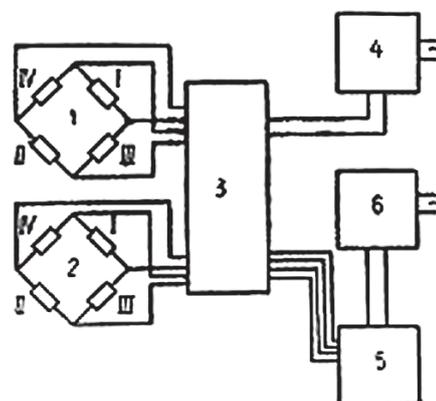


Рис. 5. Блок схема измерения и регистрации веса груза

Использование данного метода в условиях лесосеки (погрузочного пункта) является в настоящее время невозможным, а для мелких лесопромышленных складов (с небольшим грузооборотом) взвешивающие устройства слишком дороги. В этой связи предлагается оснащать лесовозы несложной измерительной системой, позволяющей автономно определять вес вывозимого груза (рис. 5). Измерительная система состоит из следующих элементов: на верхних пластинах рессор каждой оси автолесовоза размещены тензоизмерительные мосты (позиции 1 и 2), фиксирующие их деформации под нагрузкой. Электрический сигнал тензопреобразующих мостов подается на усилитель (поз. 3). Усиленные сигналы подаются на вибраторы регистрирующего устройства, например, осциллографа (поз. 5), который производит запись силы веса груза при стоящем автолесовозе. Электропитание усилителя и осциллографа осуществляется от соответствующих блоков питания (поз. 4 и 6), которые получают энергию от бортовой электросети автолесовоза.

Данное техническое решение проверено на патентную чистоту и защищено патентом РФ на полезную модель (Патент на полезную модель № 86135 опублик. 27.08.2009 Бюлл. № 24).

В заключение хочется отметить, что без тесной связи производственных предприятий с научными работниками невозможно

развитие и модернизации техники и технологии лесопромышленного комплекса. Это приводит к тому, что часто отдается предпочтение импортной технике, как новой, так и бывшей в употреблении. Бездумная гонка за импортной техникой часто приводит к весьма плачевным экономическим последствиям для лесозаготовителей, что наглядно видно на ряде лесозаготовительных предприятий. Можно утверждать, что наличие прочных и взаимовыгодных связей между отраслевыми предприятиями и вузами позволит лесопромышленному комплексу вступить на путь модернизации и инновационного развития.

### Библиографический список

1. Пятякин, В.И. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Учебник / В.И. Пятякин, И.В. Григорьев, В.А. Иванов и др. – СПб: ЛТА, 2009. – 362 с.
2. Григорьев, И.В. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Технология и машины лесосечных работ. Учебное пособие / И.В. Григорьев, А.К. Редькин, В.Д. Валяжонков, А.В. Матросов. – СПб: ЛТА, 2010. – 330 с.
3. Григорьев, И.В. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Технологическое оборудование и технология работы трелевочных тракторов. Методические указания / И.В. Григорьев, А.М. Кочнев, Б.М. Локштанов, И.И. Тихонов и др. – СПб: ЛТА, 2010. – 56 с.
4. Бит, Ю.А. Лесозаготовка. Практическое руководство / Ю.А. Бит. – СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. – 272 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ЛЕСОСЕК С УЧЕТОМ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ СОХРАНЕНИЯ НЕЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПЛОЩАДЕЙ

В.М. ДЕРБИН, *доц. каф. технологии лесопромышленных производств Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, канд. техн. наук,*

М.В. ДЕРБИН, *асс. каф. технологии лесопромышленных производств Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова*

*v.derbin@mail.ru, m.v.derbin@mail.ru*

Сертификационная деятельность в Российской Федерации в последние годы развивалась достаточно эффективно. Как показывает практика, системы сертификации должны учитывать следующие принципы: добровольность, доверие, прозрачность,

эффективность затрат, участие всех заинтересованных сторон, открытый доступ и отсутствие дискриминации типов лесов и их владельцев. Необходимым элементом, обеспечивающим доверие, является независимый аудит.

Наиболее признанной и востребованной на российском и европейском рынках лесной продукции является добровольная лесная сертификация по системе Лесного попечительского совета (ЛПС). Лесной попечительский совет (Forest Stewardship Council – FSC) был учрежден в 1993 г. в Торонто. Этот совет создал систему по взаимному признанию аккредитованных органов сертификации, основанную на принципах и критериях, разработанных для экологически направленного, социально ориентированного и экономически жизнеспособного лесопользования.

Лесозаготовительные и лесоперерабатывающие предприятия Архангельской области более активно занимаются лесной сертификацией по сравнению с другими регионами России, поскольку эти предприятия большей частью экспортируют продукцию на европейский экологически чувствительный рынок.

Основными причинами, которые оказали влияние на сертификационный процесс

лесозаготовительных и лесоперерабатывающих предприятий, являются следующие:

– в последнее время переработчикам древесины все чаще приходится иметь дело с экологически чувствительными рынками сбыта лесной продукции. Для того, чтобы удержать позиции на рынке, предприятия лесопромышленного комплекса вынуждены заниматься добровольной сертификацией лесопользования и цепочки поставок от лесозаготовителя до потребителя;

– возможно повышение цены сертифицированной продукции;

– предприятия разрабатывают и принимают экологическую политику. Им небезразлично, каким в будущем будет окружающий мир. Они стремятся к устойчивому лесопользованию. А устойчивость – это баланс экономических, социальных и экологических функций леса. Чаще всего начало сертификационных процессов лесопромышленных компаний все-таки связано с удержанием и упрочнением позиций на рынках сбыта.

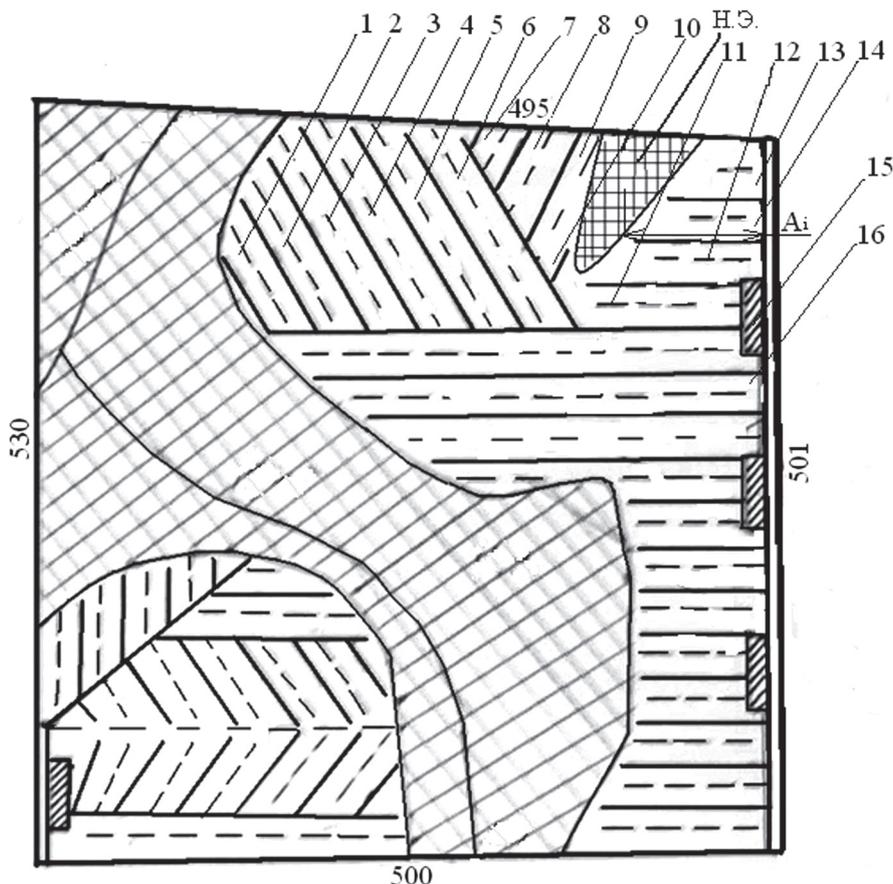


Рис. 1. Схема деланки № 7 в 109 квартале: 1–14 – элементарные участки; 15 – лесопогрузочный пункт; 16 – лента, разрабатываемая валочно-пакетирующей машиной; Н.Э. – неэксплуатационная площадь

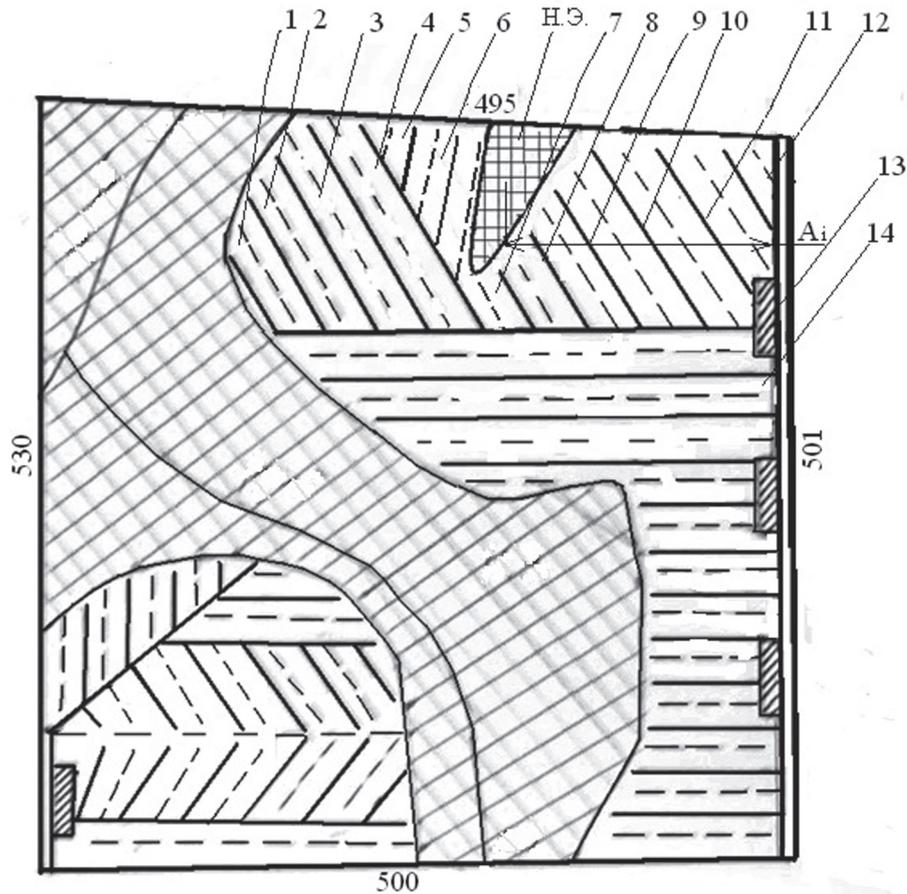


Рис. 2. Схема деланки № 7 в 109 квартале: 1–12 – элементарные участки; 13 – лесопогрузочный пункт; 14 – лента, разрабатываемая валочно-пакетирующей машиной; Н.Э. – неэксплуатационная площадь

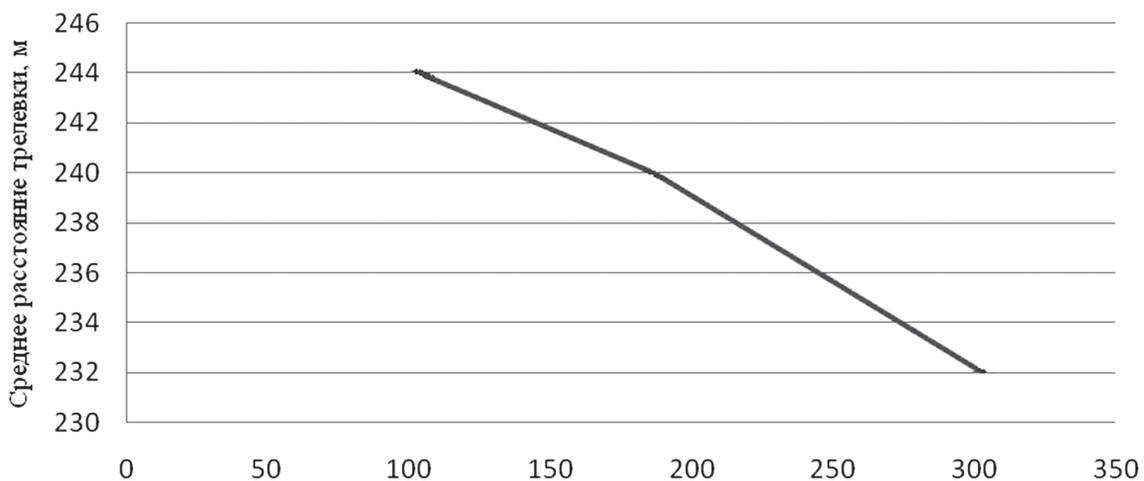


Рис. 3. График зависимости среднего расстояния трелевки от расстояния  $A_i$

ОАО «Светлозерсклес» включилось в сертификационный процесс с 2002 г. Предприятие провело подготовку к сертификации. Немецкая аудиторская компания GFA Consulting Group GmbH во время предварительного и основного аудитов оценила лесоправление, и

был выдан сертификат на 5 лет. В связи с окончанием срока действия сертификата в июле 2009 г. проведена ресертификация и подтвержден сертификат на очередные 5 лет.

Выполнение требований стандарта лесоправления по системе FSC оказывает

влияние на технологический процесс лесосечных работ, в частности на схемы расположения трелевочных волоков.

При проектировании трелевочных волоков следует учитывать необходимость сохранения элементов биоразнообразия (малопродуктивные участки леса; участки леса вдоль водотоков; «окна» распада древостоя с естественным возобновлением и валежом различной стадии разложения; крупные устойчивые сухостойные и перестойные деревья, обломанные на различной высоте естественные пни и др.). Например, при выделении на делянке неэксплуатационной площади технология по заготовке и трелевке меняется. Рассмотрим на конкретной делянке № 7, расположенной в квартале 109 Холмогорского лесничества (рис. 1), влияние оставления элементов биоразнообразия на технологические параметры делянки, например среднее расстояние трелевки. Часть делянки, тяготеющей к одному лесопогрузочному пункту, на которой расположена неэксплуатационная площадь (элемент биоразнообразия), разбиваем на элементарные участки правильной формы. В качестве элементарных участков приняты ленты леса, разрабатываемые валочно-пакетирующей машиной (ВПМ).

Т а б л и ц а

**Сводная таблица расчета среднего расстояния трелевки**

№ п/п	Площадь участка, м <sup>2</sup> (S)	Среднее расстояние трелевки на участке, м (L)
S1	2912	395
S2	4368	395
S3	5460	382
S4	5824	361
S5	5824	324
S6	5824	287
S7	37,44	270
S8	1820	262
S9	2912	253
S10	1164	170
S11	3931	104
S12	3276	108
S13	2402	116
S14	995	133
Sн.э.	4179,3	-
S <sub>общ.</sub>	50930	244

При расчетах среднего расстояния трелевки используем формулы площадей и среднего расстояния

$$L_{\text{тр}}^{\text{ср}} = S_{\text{общ}} / (S_1/L_1 + S_2/L_2 + \dots + S_n/L_n), \quad (1)$$

где  $L_{\text{тр}}^{\text{ср}}$  – среднее расстояние трелевки, м;

$S_{\text{общ}}$  – общая площадь делянки, м<sup>2</sup>;

$S_i$  – площади участков делянки, м<sup>2</sup>;

$L_i$  – среднее расстояние трелевки на соответствующем участке, м.

Результаты расчетов средних расстояний трелевки сводим в таблицу.

Для анализа влияния места расположения неэксплуатационной площади по отношению к лесопогрузочному пункту искусственно смещаем эту площадь на определенное расстояние  $A_i$  (рис. 2).

Подобные расчеты среднего расстояния трелевки выполнены для нескольких вариантов расположения неэксплуатационной площади, и построен график зависимости среднего расстояния трелевки от расстояния  $A_i$  ( $A_i$  – расстояние от неэксплуатационной площади до лесопогрузочного пункта).

Из приведенных исследований следует, что сохранение элементов биоразнообразия на разрабатываемых делянках оказывает значительное влияние на технологические параметры делянки, в частности на среднее расстояние трелевки. Удаление неэксплуатационной площади от лесопогрузочного пункта от 100 м до 300 м приводит к уменьшению среднего расстояния трелевки примерно на 5 %.

Анализ расчетных данных показывает, что для снижения среднего расстояния трелевки лесопогрузочные пункты следует располагать в зоне, тяготеющей к эксплуатационным площадям.

#### Библиографический список

1. Лифиц, И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: учебник. – 7-е изд., перераб. и доп. / И.М. Лифиц. – М.: Юрайт-Издат, 2007. – 399 с.
2. Климов, А.Ю. Лесная сертификация: сущность и экономическая эффективность: монография / А.Ю. Климов, А.В. Пластинин. – Архангельск: АрхГТУ, 2008. – 138 с.
3. Паутов, Ю.А. FSC сертификация в России: практические решения. Пособие для работников лесной отрасли / Ю.А. Паутов, Д.П. Засухин, А.Н. Ключихин, С.Ю. Паутов, Е.А. Порошин. – Сыктывкар: Коми региональный некоммерческий фонд «Северная тайга», 2007. – 151 с.

## ОХЛАЖДАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ АЭРОСТАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЯЮЩИХ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ПИЛ

М.В. ДЕРБИН, *асс. каф. технологии лесопромышленных производств Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова,*

В.М. ДЕРБИН, *доц. каф. технологии лесопромышленных производств Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, канд. техн. наук*

*m.v.derbin@mail.ru, v.derbin@mail.ru*

**Т**очность пиления – один из главных показателей качества пиления древесины. Она в значительной степени зависит от жесткости пил.

В процессе пиления значительная часть работы резания древесины превращается в теплоту, вызывающую нагрев зубьев и диска пилы. На круглых пилах из-за неравномерного охлаждения происходит температурный перепад по радиусу диска  $\Delta t$ . При правильно выбранных режимах пиления и подготовке пил и станка к работе в соответствии с действующими рекомендациями температурный перепад может достигать 30 °С. На рамных и ленточных пилах значение температурного перепада имеет меньшее значение. В результате неравномерного нагрева по радиусу диска пилы возникают тангенциальные напряжения  $\sigma_{\theta}$  и радиальные  $\sigma_r$ . Радиальные напряжения на всех участках пилы

положительные. В периферийной зоне пилы возникают тангенциальные напряжения  $\sigma_{\theta}$  сжатия, а в центральной – растяжения. Сжимающие напряжения  $\sigma_{\theta}$  периферийной зоны пилы снижают ее жесткость, а при определенных значениях могут привести к потере пилой плоской формы.

Для уменьшения вредного влияния температурного перепада  $\Delta t$  на качество пиления древесины круглыми пилами рекомендуются следующие мероприятия [1, 2].

- Создание в пиле начального напряженного состояния проковкой или вальцеванием.
- Выполнение в пиле температурных компенсаторов в виде щелей различных конструкций.
- Нагрев центральной зоны пилы.
- Применение пил специальных конструкций.

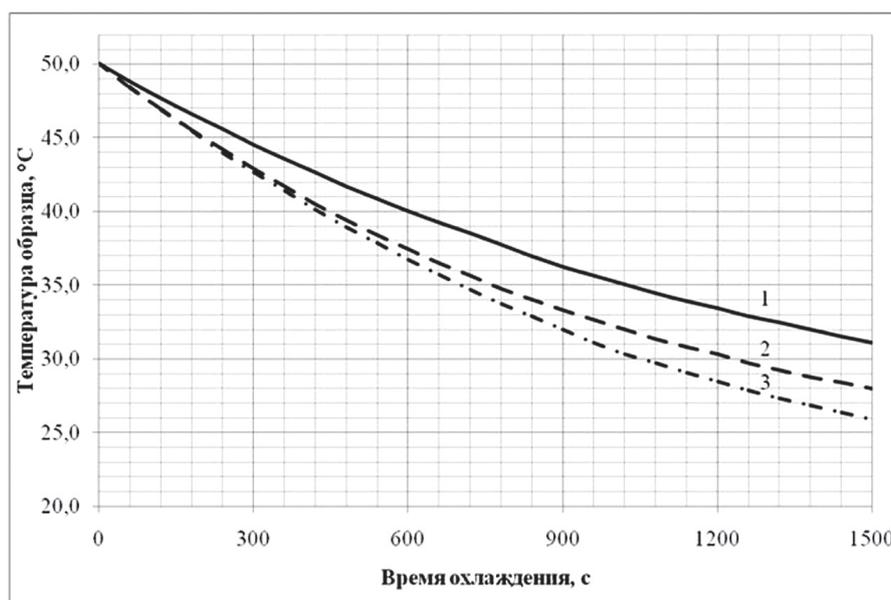


Рис. 1. Зависимость температуры образца пилы размером 150×100×6 мм от времени охлаждения при следующих условиях: 1 – в естественных условиях; 2 – на аэростатической опоре при глубине канавки 0,4 мм; 3 – на аэростатической опоре при глубине канавки 0,8 мм

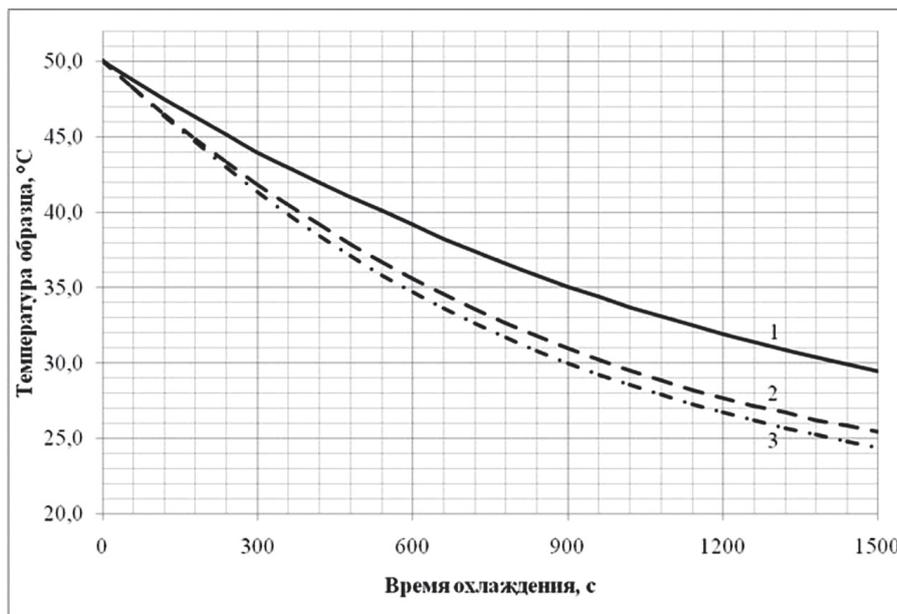


Рис. 2. Зависимость температуры образца пилы размером 130×80×6 мм от времени охлаждения при следующих условиях: 1 – в естественных условиях; 2 – на аэростатической опоре при глубине канавки 0,4 мм; 3 – на аэростатической опоре при глубине канавки 0,8 мм

– Охлаждение периферийной зоны пилы.

Для повышения жесткости круглых пил и снижения температурного перепада в лесопилении широкое применение нашли направляющие, рабочие поверхности которых имеют отверстия, через которые на пилу подается вода или водовоздушная смесь. Наряду с положительными свойствами это техническое решение имеет следующие недостатки – вода или водовоздушная смесь вызывают коррозию деталей станка, затрудняют транспортировку смерзшихся опилок, снижают теплоту сгорания опилок, оказывают негативное влияние на окружающую среду.

Для повышения жесткости дереворежущих пил в работе [3] предлагается использовать направляющие, рабочие поверхности которых выполнены в виде аэростатических опор, у которых в качестве смазочного материала между пилой и направляющей использован сжатый воздух.

Кроме повышения жесткости круглых пил, аэростатические направляющие способствуют уменьшению температурного перепада  $\Delta t$ , что подтверждено экспериментально.

Для проведения эксперимента была использована аэростатическая опора с рас-

пределительной канавкой размером 110 × 60 мм. Глубина канавки в варианте 1 составляла 0,4 мм, а в варианте 2–0,8 мм, диаметр отверстия поддува в аэростатической опоре – 0,6 мм, давление подводимого воздуха – 0,4 МПа. В роли пилы использованы образцы (размерами 150 × 100 × 6 мм и 130 × 80 × 6 мм), которые нагревались до температуры 70 °C. После этого производилось охлаждение образцов пилы в естественных условиях (температура окружающей среды составляла 19 °C). При этом с помощью аналого-цифрового преобразователя ZET 210 и установленных термометров сопротивления измерялась температура образцов пилы каждые 0,12 сек. с последующей записью в файл. Такой же эксперимент охлаждения образцов пилы проводился на аэростатической опоре. Графики, отображающие процессы охлаждения образцов в тех и других условиях, представлены на рис. 1 и 2.

Из графиков (рис. 1, 2) видно, что охлаждение образца пилы, расположенного на аэростатической опоре, происходит значительно интенсивнее, чем в естественных условиях, причем, скорость охлаждения зависит от параметров аэростатической опоры. Особенно заметно это на начальной стадии

процесса охлаждения, когда температура об-  
разца высока.

Полученные результаты показывают, что направляющие, рабочие поверхности которых выполнены в виде аэростатических опор, обладают значительным охлаждающим эффектом. В данный момент проводится работа, направленная на разработку конструкции аэростатической направляющей, способной к более интенсивному охлаждению пил.

### Библиографический список

1. Стахийев, Ю.М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил / Ю.М. Стахийев. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 296 с.
2. Санев, В.И. Обработка древесины круглыми пилами / В.И. Санев. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 232 с.
3. Прокофьев, Г.Ф. Применение опор с газовой смазкой в технике: Учебное пособие / Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин, И.И. Иванкин. – Архангельск: АГТУ, 1999. – 65 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОСВОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ЛОЖЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

С.П. КАРПАЧЕВ, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,*  
Е.Н. ЩЕРБАКОВ, *доц. МГУЛ, канд. техн. наук,*  
Е.В. СОЛДАТОВА, *инженер, магистрант МГУЛ*

*scherbakov@mgul.ac.ru, karpachev@mgul.ac.ru*

Строительство новых гидроэлектростанций (далее – ГЭС) требует подготовки лож водохранилищ для затопления и сопряжено с проблемой очистки данных участков от растущих там деревьев. Сведенная древесина может быть использована для целей биоэнергетики [1–3]. Для этого необходимо создание эффективной технологии для выполнения работ по лесоочистке в зонах затопления водохранилищ ГЭС.

Сжатые сроки проведения лесоочистки требуют создания временных специальных лесозаготовительных предприятий, использующих водный транспорт, как наиболее доступный [4].

В настоящей статье предложена технология производства щепы на месте лесосводки. Схема технологического процесса представлена на рис. 1. Технологический процесс включает работы, связанные с заготовкой деревьев на ложе водохранилища и их трелевкой к берегу реки, транспортировкой и переработкой деревьев на щепу в плавучем цеху. Транспортировка щепы от плавучего цеха осуществляется по воде до берегового склада потребителя.

Предметом исследований, результаты которых приводятся в настоящей статье, являются технологические процессы, связанные с

транспортировкой и переработкой деревьев на щепу в плавучем цеху.

Основными машинами в принятой технологии являются:

– плавучий сборщик деревьев с манипулятором, который собирает деревья по берегам реки и доставляет их к плавучему цеху щепы;

– технологическое оборудование плавучего цеха щепы, которое предназначено для переработки деревьев на щепу и загрузки щепы в контейнеры.

Цех щепы размещается у берега. Контейнеры, после загрузки их щепой, сразу поступают на береговой склад и с него затем доставляются потребителям.

Основной особенностью предлагаемой технологии является использование мягких контейнеров объемом до 5 м<sup>3</sup>. Масса контейнера со щепой составляет 1–2 тонны.

Мягкие контейнеры обладают рядом преимуществ, особенно в смешанных сухопутно-водных перевозках:

– контейнеры снижают затраты на погрузочно-разгрузочных операциях;

– возможность эксплуатации в условиях мелководья и несудоходных рек;

– возможность эксплуатации в условиях необорудованных причалов;

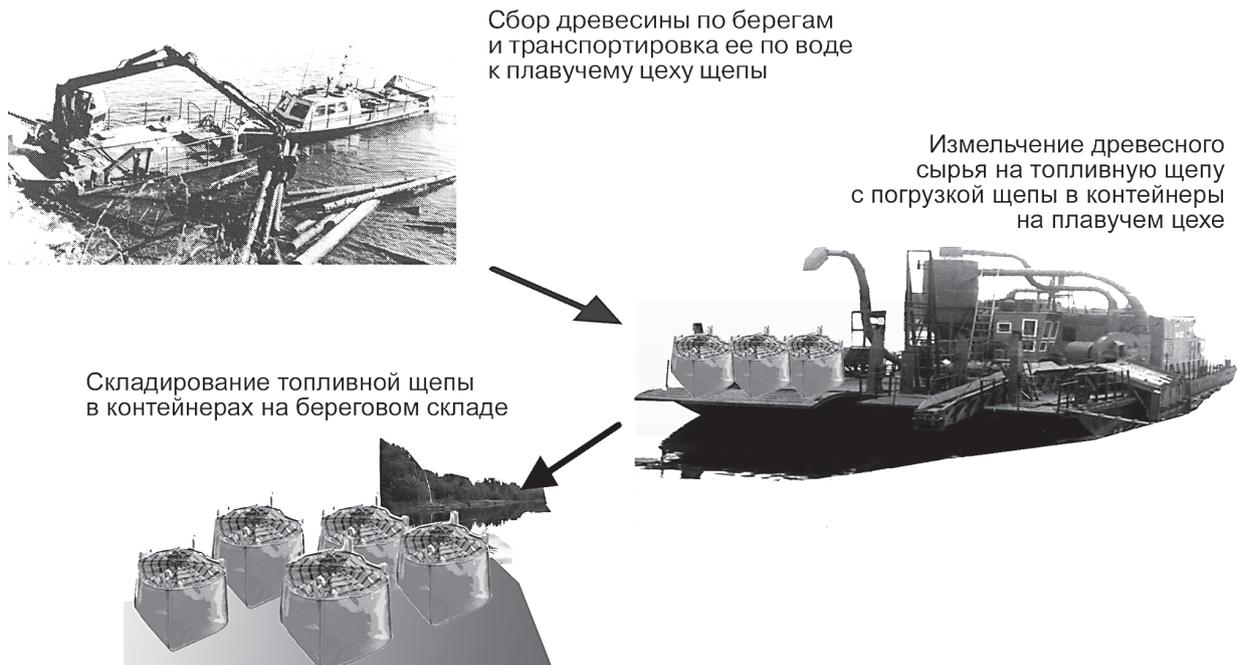


Рис. 1. Принятая схема освоения оставленной на ложе водохранилища древесины

- дешевизна материала оболочки контейнера;
- высокая прочность материала оболочки контейнера и малый вес порожнего контейнера.

В моделируемой технологии (рис. 1) плавучие сборщики деревьев с манипулятором перемещаются по воде и подбирают деревья, предварительно стрелеванные к берегу. После того как объем собранных деревьев достигает объема пачки, сборщик направляется к плавучему цеху щепы, где деревья подаются на рубительную машину. В случае, если плавучий цех занят разгрузкой ранее прибывшего сборщика, вновь прибывший сборщик становится в очередь. Деревья с плавучего сборщика подаются один за другим к рубительной машине. Сборщик остается у плавучего цеха щепы пока все деревья не будут разгружены. После этого сборщик повторяет цикл перемещения по реке и сбору деревьев.

Технологический процесс можно представить в виде математической модели [5].

Математическая модель технологического процесса освоения оставленной на ложе водохранилища древесины можно рассматривать как оптимизационную и представить в виде управляемой системы (рис. 2).

В таких системах параметры управления  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$  можно представить в виде вектора управления  $X$ . Эти параметры отражают изменяемые характеристики технологического процесса, таких как времена циклов работы машин.

Параметры состояния  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  можно представить в виде вектора состояний  $S$ . Эти параметры отражают внутреннее со-

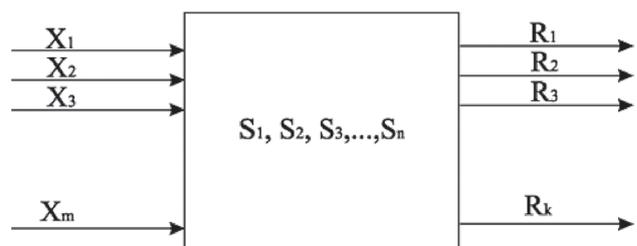


Рис. 2. Математическая модель технологических процессов освоения оставленной на ложе водохранилища древесины:  $X$  – параметры управления: циклы работы машин,  $S$  – параметры состояния: характеристики груза (деревьев),  $R$  – параметры эффективности: производительность машин

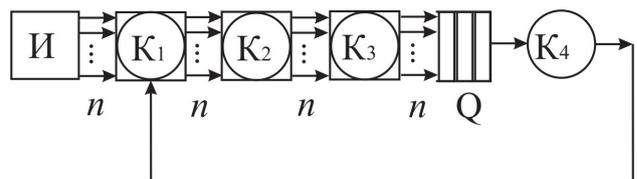


Рис. 3. Технологическая схема работы  $n$  плавучих сборщиков деревьев как СМО

стояние системы и выражаются характеристиками пачек деревьев, таких как объем пачки деревьев и т.д.

Параметры эффективности или выходные параметры  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_k$  есть выходной вектор  $R$ . Значения выходных параметров позволяют судить об эффективности технологических процессов освоения оставленной на ложе водохранилища древесины.

Параметры эффективности определим в виде функции

$$R = f(X, S). \quad (1)$$

Учитывая сложность и неопределенность влияния параметров управления и состояния, получим модели систем (1), в которых отображения  $X$  и  $S$  будем задавать алгоритмически.

Прежде чем строить модель технологического процесса освоения оставленной на ложе водохранилища древесины, необходимо определить параметры (факторы), которые определяют его эффективность.

Все факторы, которые влияют на технологический процесс, разделим на две группы:

- факторы, определяемые характеристиками груза: пачек деревьев;
- факторы, определяемые технологией работы машин.

В качестве параметра эффективности принимаем сменную производительность машин  $\Pi$ , м<sup>3</sup>/смену.

Пусть за смену плавучий сборщик собирает и отвозит к цеху щепы  $n$  пачек деревьев. Тогда сменную производительность работы нескольких сборщиков можно представить, как сумму объемов собранных и доставленных за смену пачек деревьев. Производительность сборщиков за смену в модели определим как объем всех пачек, доставленных за смену к плавучему цеху щепы и переработанных на щепу

$$\forall \sum_{j=1}^n \cdot \sum_{i=1}^N \tau_{ji} = T \cdot \eta \Rightarrow \Pi = \sum_{j=1}^n \cdot \sum_{i=1}^N q_{ji}, \quad (2)$$

где  $\tau_{ji}$  – время  $i$ -ого цикла работы  $j$ -ого сборщика, мин.;

$q_{ji}$  – объем пачки деревьев  $j$ -ого сборщика во время  $i$ -ого цикла работы, м<sup>3</sup>;

$N$  – число полных циклов работы одного сборщика за смену;

$T$  – продолжительность смены, минут;

$\eta$  – коэффициент использования машины;

$n$  – число сборщиков.

Время цикла сборщика можно определить как сумму составляющих

$$\tau_i = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4)_i, \quad (3)$$

где  $\tau_1$  – время порожнего хода сборщика по реке, мин;

$\tau_2$  – время на формирование пачки деревьев, мин;

$\tau_3$  – время грузового хода сборщика по реке, мин;

$\tau_4$  – время на разгрузку деревьев и рубку их в щепу, мин.

Время на порожний ( $\tau_1$ ) и грузовой ( $\tau_3$ ) ход сборщика зависит от технической скорости сборщика по воде с грузом и без груза, а также от расстояния транспортировки:

$$\tau_1 = L/v_1, \quad (4)$$

где  $L$  – расстояние от места формирования пачки деревьев до плавучего цеха щепы, м;

$v_1$  – скорость движения сборщика порожнем, м/мин:

$$v_3 = L/v_3, \quad (5)$$

где  $v_3$  – скорость движения сборщика с грузом пачек бревен, м/мин.

Логике технологического процесса можно представить как систему массового обслуживания (далее – СМО) [5]. В терминах СМО заявки – это плавучие сборщики с пачками деревьев (рис.3). Обслуживающие приборы – это манипуляторы на погрузке деревьев на сборщик ( $K_2$ ) и в плавучий цех щепы, на разгрузке пачек деревьев ( $K_4$ ). Кроме того, в системе есть две задержки, связанные с порожним движением сборщика ( $K_1$ ) и с грузом ( $K_4$ ), которые также являются обслуживающими приборами. Заявки появляются из источника (И) в заданном количестве по числу сборщиков  $n$  и циркулируют в системе. Обслуживающие приборы  $K_1, K_2, K_3$  являются многоканальными устройствами с числом каналов, равным числу сборщиков  $n$ . Обслуживающий прибор  $K_4$  имеет только один канал. Поэтому к этому прибору заявки могут создавать очередь  $Q$ . Покинув прибор  $K_4$ , заявка возвращается в систему.

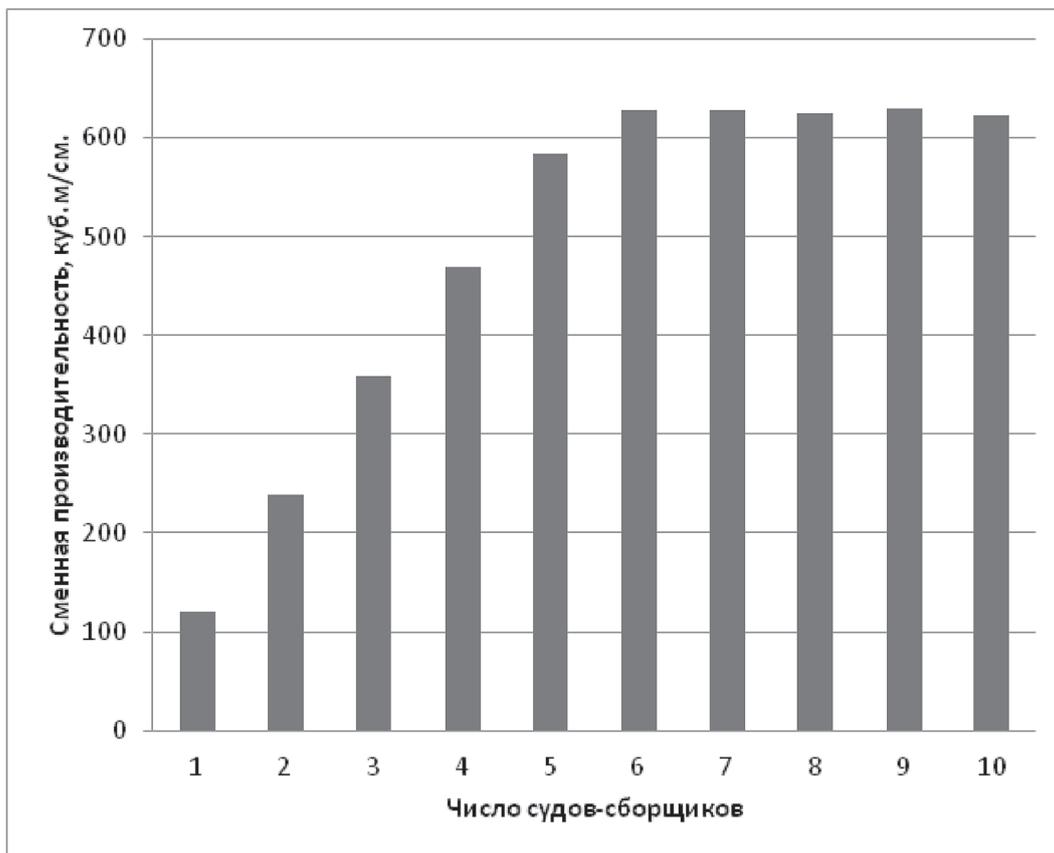


Рис. 4. Зависимость производительности плавучего цеха щепы от числа судов-сборщиков деревьев

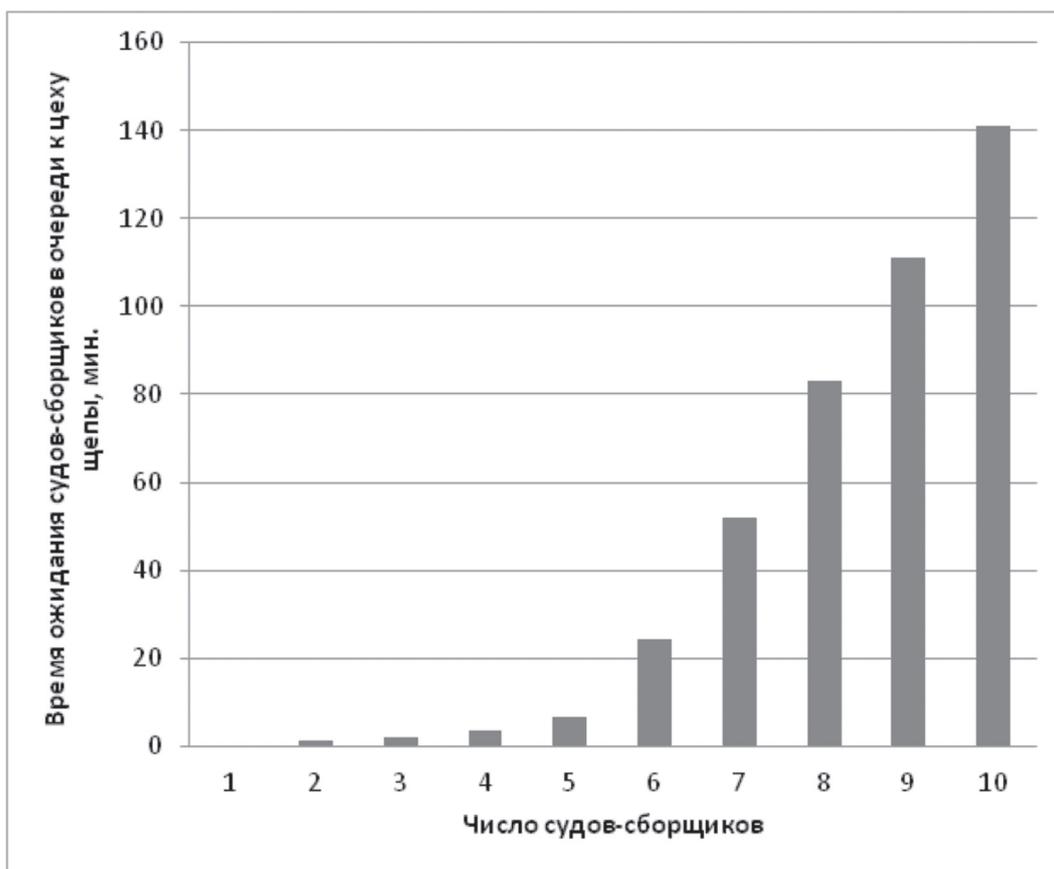


Рис. 5. Время ожидания судов-сборщиков деревьев в очереди к плавучему цеху щепы

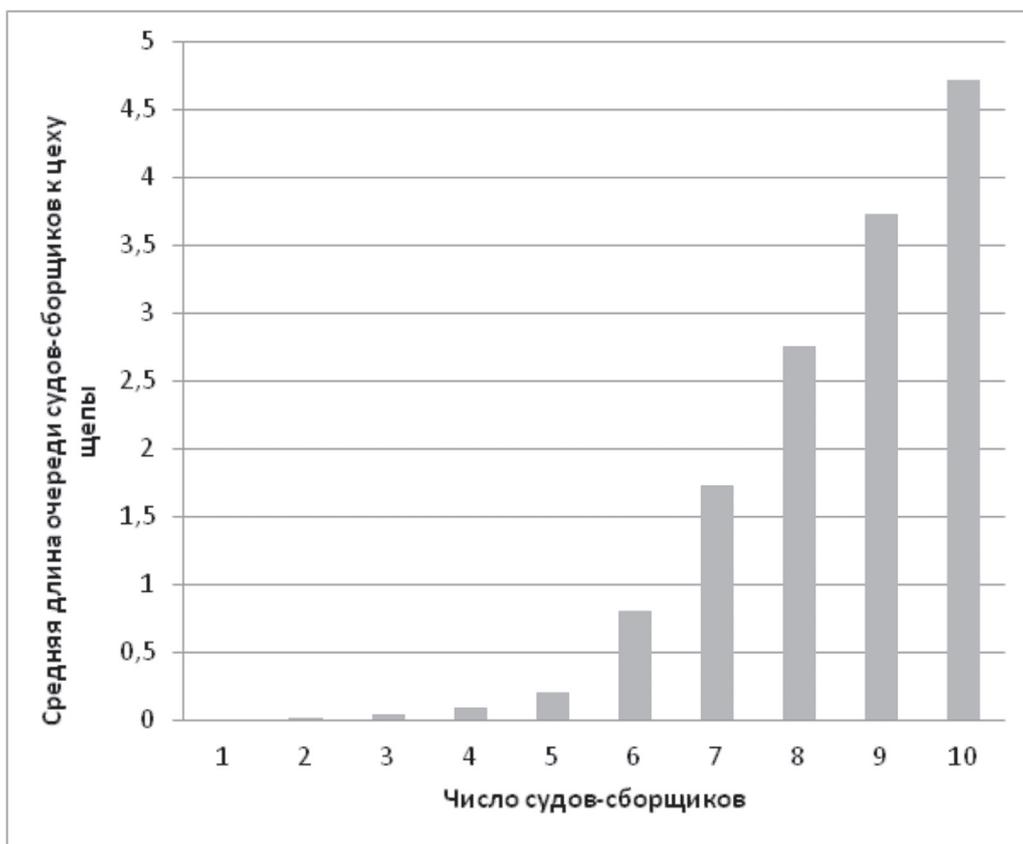


Рис. 6. Средняя длина очереди судов-сборщиков деревьев к плавучему цеху щепы

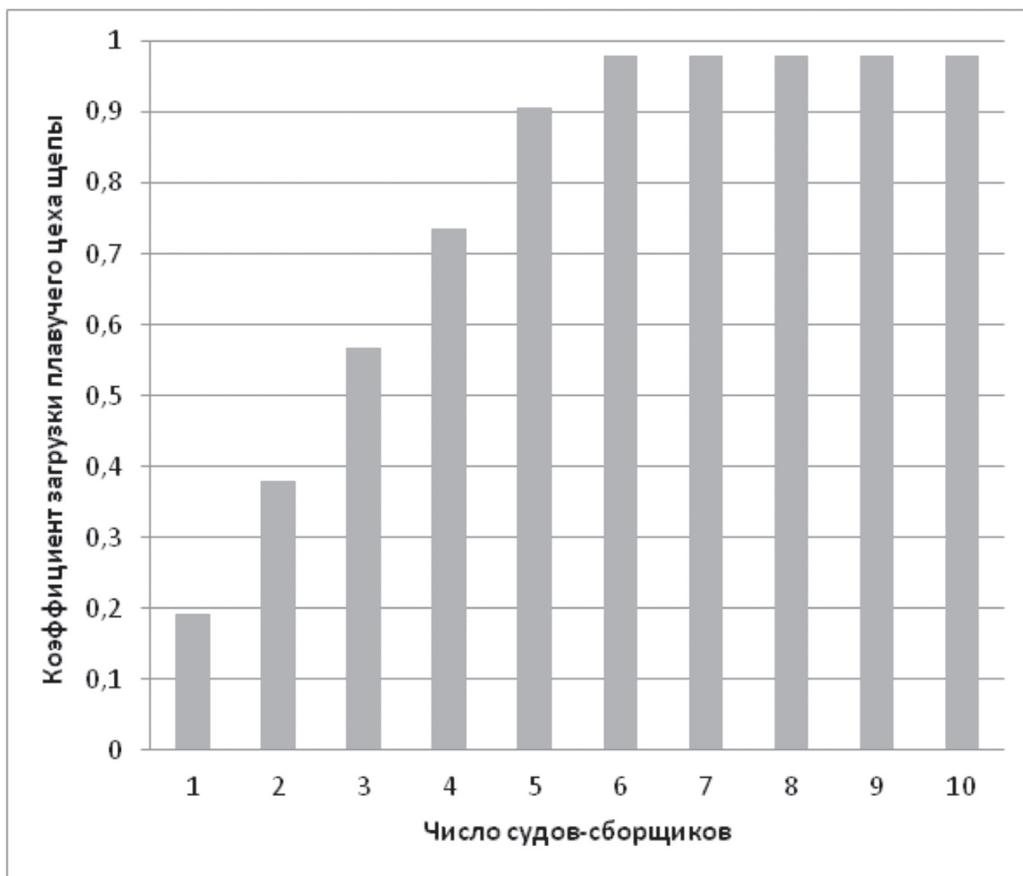


Рис. 7. Коэффициент загрузки плавучего цеха щепы в зависимости от числа судов-сборщиков деревьев

Время циклов работы приборов, занятых обслуживанием заявок, определяется по формулам (1–4).

Математическая модель технологического процесса, сформулированная как СМО, была реализована в программной среде языка GPSS World. Программа представляет собой последовательность блоков. Порядок блоков в модели соответствует порядку ситуаций, в которых оказываются плавучие сборщики при работе в реальном технологическом процессе.

Модель позволяет вводить любые исходные данные. Нами были введены в модель следующие исходные данные (средние значения): объем транспортируемой сборщиком пачки деревьев – 40 м<sup>3</sup>; движение сборщика к плавучему цеху с грузом – 300 мин; движения сборщика порожнем – 200 мин; время загрузки сборщика пачкой деревьев (с учетом перемещений вдоль берега) – 60 мин; время разгрузки сборщика (с учетом подачи деревьев в рубительную машину) – 30 мин. Следует отметить, что в модель вводились не средние значения исходных данных, а случайные, полученные методом Монте-Карло.

Результаты исследований были систематизированы и представлены в виде гистограмм (рис. 4–7).

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что производительность доставки и переработки деревьев на щепу растет с увеличением числа плавучих сборщиков, однако уже при наличии 5–6 сборщиков рост производительности прекращается, и в дальнейшем, с увеличением числа сборщиков, не увеличивается (рис. 5). Рост производитель-

ности тормозится с увеличением очереди сборщиков к плавучему цеху щепы (рис. 5–6). Из полученных гистограмм видно, что уже при наличии 5 сборщиков достигаются близкие к максимальным следующие величины:

- производительность (584 м<sup>3</sup>/смену),
- коэффициент загрузки плавучего цеха (0,9).

#### Библиографический список

1. Карпачев С.П. Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, А.Н. Комяков // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, № 4 (73) – 2010. – С. 107–111.
2. Карпачев С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, Приоров Г.Е. // Лесопромышленник, февраль–март 1 (49) – 2009.
3. Карпачев С.П. Производство дров для жилищно-коммунального хозяйства лесных поселков и городов / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Г.Е. Приоров. // Лесопромышленник, апрель–июнь 2 (54) – 2010.
4. Карпачев С.П. Некоторые вопросы технологии освоения и водного транспорта биоресурсов из леса для биоэнергетики / С.П. Карпачев // Ученые записки РГСУ. Экологическая безопасность и природопользование. – №5 – 2009. – С. 130–138.
5. Карпачев С.П. Моделирование логистических систем лесных материалопотоков / С.П. Карпачев, В.В. Лозовецкий, Е.Н. Щербаков // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. РАН ВИНТИ – 2011. – № 8. – С. 16–20.
6. Карпачев С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, А.Н. Комяков, А.Н. Слинченков // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – № 4 (73) – 2010. – С. 70–74.
7. Комяков А.Н. Применение большегрузных плавучих контейнеров для нужд биоэнергетики / А.Н. Комяков, С.П. Карпачев // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – № 4 (73) – 2010. – С. 104–107.

## К ВОПРОСУ ОБ УЧЕТЕ СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСОВ

Т.В. КОВАЛЕНКО, доц. каф. СТЛ СПб ГЛТУ им. С.М. Кирова, канд. техн. наук

*taras.kovalenko.spb@gmail.com*

Опыт последних лет показывает, что проектирование производственно достаточной транспортной сети остается важнейшей проблемой, стоящей как перед вновь проектируемыми, так и существующими пред-

приятиями лесного комплекса. Последние годы можно охарактеризовать как периоды с аномальными климатическими параметрами. Жаркое лето, поздняя зима с обильным снежным покровом продемонстрировали, что

лесозаготовители могут стать заложниками неразвитой транспортной сети, если они не будут обладать инструментом, позволяющим прогнозировать состояние лесных дорог. Таким инструментом может стать система учета климатических факторов при освоении лесосечного фонда предприятия. В качестве одного из универсальных входных параметров данной системы можно рассмотреть скорость движения лесовозного автопоезда.

Скорость [1, 2] движения лесовоза может выступать как центральный индикатор состояния автодороги и использоваться в качестве критерия в системах оптимизации лесотранспортных процессов при освоении арендных лесных массивов.

Для учета изменений условий движения лесовоза в различные сезоны года можно воспользоваться зависимостью [3]

$$P_{сез} = \frac{(K_{pc}^3 - K_{pc}^{сез}) \cdot D_{сез} \cdot K_u}{365}, \quad (1)$$

где  $K_{pc}^3$  – коэффициент обеспеченности расчетной скорости на эталонном участке дороги в эталонных метеоусловиях;

$K_{pc}^{сез}$  – коэффициент обеспеченности расчетной скорости на эталонном участке дороги, в среднем для сезона;

$D_{сез}$  – продолжительность сезона, сут.;

$K_u$  – коэффициент учета неравномерности вывозки в течение года.

Коэффициент обеспечения расчетной скорости [4], в свою очередь, может быть рассчитан по формуле

$$K_{pc} = V_{ф макс} / V_{расч}^6, \quad (2)$$

где  $V_{ф макс}$  – максимальная фактическая скорость движения автомобиля,

$V_{расч}^6$  – базовая расчетная скорость движения для данной категории дороги.

Таким образом, приняв за базовые расчетные скорости для лесовозных магистралей  $V_{расч}^6 = 40$  км/ч и для веток  $V_{расч}^6 = 30$  км/ч [3], получим

$$K_{pc}^{маг} = V_{ф макс} / 40, \quad (3)$$

$$K_{pc}^6 = V_{ф макс} / 30. \quad (4)$$

В благоприятных условиях (при отсутствии осадков, гололеда, метелей) дорога должна обеспечивать значение  $K_{pc} = 1,00$ . В

малоблагоприятных условиях (осадки) в весенне-осенний период и зимой  $K_{pc} = 0,50-0,75$ ; при неблагоприятных же дорожных условиях –  $K_{pc} < 0,50$ .

Для комплексной оценки влияния различных климатических факторов следует пользоваться среднегодовым коэффициентом обеспеченности расчетной скорости [3]. Для этого, взяв за основу данные климатических справочников, необходимо получить вероятности появления метеорологических явлений. Расчетная зависимость для определения среднегодового коэффициента обеспеченности расчетной скорости в этом случае выглядит следующим образом

$$\bar{K}_{cc} = \int K_{pc}(x) \cdot A_T \cdot P(x) dx, \quad (5)$$

где  $K_{pc}(x)$  – коэффициент обеспеченности расчетной скорости по метеофактору  $x$ ;

$A_T$  – оператор времени действия метеофактора;

$P(x)$  – вероятность действия метеофактора  $x$ .

Наибольшему влиянию климатических факторов подвержены лесные дороги с переходным типом покрытия, а также технологические пути (усы) [5, 6]. В период повышенного увлажнения такие дороги, особенно с грунтовым покрытием, подвержены колееобразованию. Для учета взаимосвязи между глубиной колеи и скоростью движения автомобиля можно воспользоваться зависимостью [7]

$$v = \frac{270}{D} \times \frac{N\sqrt{D}}{\sqrt{h}}, \quad (6)$$

где  $D$  – диаметр колеса автомобиля;

$N$  – мощность двигателя, л.с.;

$h$  – глубина колеи, см.

Следовательно, показатель скорости можно применять для оценки степени проходимости лесных дорог в реальном времени. Установив зависимость между скоростным режимом лесной дороги и климатическими факторами, мы получаем возможность оперативно реагировать на негативное влияние климата, ограничив движение. С другой стороны, появляется возможность предсказывать возможное состояние транспортной сети, имея на руках накопленный массив скоростных данных (как для легких, так и для

тяжелых автопоездов, с учетом дорожных конструкций, по которым производится вывозка) и климатические параметры региона, через установление возможных критических периодов, когда существует опасность разрушения дороги автопоездами.

#### Библиографический список

1. Васильев, А.П. Состояние дорог и безопасность движения в сложных погодных условиях / А.П. Васильев. – М.: Транспорт, 1976.
2. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог: ОДН 218.0.006-2002 // Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор) Минтранса России. – М.: Информавтодор, 2002.
3. Справочная энциклопедия дорожника. Т.2: Ремонт и содержание дорог. / Под ред. А.П. Васильева. – М.: Транспорт, 2004.
4. СНиП 2.05.07-91. Промышленный транспорт.
5. Тюрин, Н.А. Проектирование лесосечно-транспортных процессов с учетом влияния климата. // Сухопутный транспорт леса: сб. науч. тр. / Н.А. Тюрин. – СПб.: ЛТА, 1994. – С. 53–57.
6. Коваленко, Т.В. Учет климатических факторов при организации лесотранспортных процессов в лесозаготовительном предприятии / Т.В. Коваленко // Сухопутный транспорт леса: Матер. научно-технической конференции. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 105–111.
7. Бируля, А.К. Эксплуатация автомобильных дорог / А.К. Бируля. – М.: Автотрансиздат, 1956.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГО- И ТРУДОЗАТРАТ ПРИ РАБОТЕ ХАРВЕСТЕРОВ И ФОРВАРДЕРОВ

М.В. КОЛОМИНОВА, доц. каф. технологии и машин лесозаготовок и прикладной геодезии Ухтинского ГТУ, канд. техн. наук

*mk1108@mail.ru*

При оценке экономической эффективности того или иного технологического процесса лесозаготовок важным показателем является часовая производительность применяемых машин. Но лесосечные работы являются довольно энергоемким и трудоемким процессом. Поэтому помимо расчета часовой производительности используемых машин необходимо выявление технологий заготовки древесины, позволяющих получить продукцию при минимальных затратах энергии и минимальных трудовых затратах, что является важной актуальной задачей.

Удельные энергозатраты (удельная энергоемкость) – это показатель, определяющий количество энергии, отнесенное к единице выполненной технологической работы или продукции (м<sup>3</sup>). Теоретические основы расчета энергозатрат были разработаны проф. В.Г. Кочегаровым [1] и проф. В.Б. Прохоровым [2].

Удельные трудовые затраты (удельная трудоемкость) – это показатель, характеризующий затраты рабочего времени на изготовление единицы продукции или на выполнение определенной работы [3].

Основным способом снижения энергозатрат технологического оборудования

является замена устаревших технологий, машин и механизмов. А для снижения трудовых затрат необходимо по максимуму уменьшить затраты человеческого труда. Поэтому рассмотрим расчет удельных энерго- и трудовых затрат для технологического процесса заготовки сортиментов системой машин: харвестер типа Ponsse Ergo + форвардер типа Ponsse Buffalo + самопогружающийся автопоезд типа Урал-4320+ЛВ-185. Многие лесозаготовительные предприятия Республики Коми перешли полностью или частично именно на эту скандинавскую технологию.

Расчетная часовая производительность в общем виде рассчитывается по формуле

$$P_{расч.} = 3600V_i/t_{ц}, \quad (1)$$

где 3600 – переводной коэффициент;

$V_i$  – объем работы, выполненной за один цикл;

$t_{ц}$  – время цикла, с.

Часовая производительность харвестера (валочно-сучкорезно-раскряжевой машины), м<sup>3</sup>/час, рассчитывается по формуле

$$P_{хар.} = \frac{3600 \cdot V_x}{t_{д.} + t_{np.} + t_{с.} + t_{непex.} \cdot k} =$$

$$= \frac{3600 \cdot V_x}{t_{\text{д.}} + \frac{l_x}{v_{\text{пр.}}} + \frac{\pi \cdot d_{\text{сп.}}^2 \cdot n_{\text{пр.}}}{4 \cdot \Pi_{\text{чист.пил.}} \cdot k_n} + \frac{10^4 \cdot V_x \cdot k}{\Delta \cdot v \cdot q}}, \quad (2)$$

- где  $V_x$  – средний объем дерева (хлыста), м<sup>3</sup>;  
 $t_{\text{д.}}$  – время доставки манипулятором валочно-сучкорезно-раскряжевной головки (ВСРГ) к дереву и подтаскивание его к месту обработки, с;  
 $t_{\text{пр.}}$  – время протаскивания дерева через сучкорезные ножи, с;  
 $t_{\text{с.}}$  – время на спиливание и раскряжевку хлыста на сортименты, с;  
 $t_{\text{перех.}}$  – время перехода между рабочими позициями в расчете на одно дерево, с;  
 $l_x$  – средняя длина дерева (хлыста), м;  
 $v_{\text{пр.}}$  – скорость протаскивания при обрезке сучьев, м/с;  $\pi = 3,14$ ;  
 $d_{\text{с.}}$  – средний диаметр спиливаемого дерева (хлыста), м;  
 $n_{\text{пр.}}$  – число пропилов при раскряжевке, включая спиливание;  
 $\Pi_{\text{чист.пил.}}$  – производительность чистого пиления, м<sup>2</sup>/с;  
 $k_n$  – коэффициент использования производительности чистого пиления, м;  
 $10^4$  – переводной коэффициент;  
 $k$  – коэффициент, учитывающий время на повороты харвестера на границах делянки;  
 $q$  – средний запас леса на 1 га, м<sup>3</sup>/га;  
 $\Delta$  – ширина ленты, разрабатываемой харвестером, м;  
 $v$  – скорость движения харвестера по лесосеке, м/с.

Часовая производительность форвардера (трелевочной машины сортиментов), м<sup>3</sup>/час, определяется по формуле

$$\Pi_{\text{фор.}} = \frac{3600 \cdot V_n}{t_{\text{дв.}} + t_{\text{сб.-ум.}}} = \frac{3600 \cdot V_n}{\frac{l_{\text{сп.}} \cdot k_m}{v_{\text{фор.}}} + \frac{t_{\text{захв.}} \cdot V_n}{V_c}}, \quad (3)$$

- где  $V_n$  – объем трелеваемой пачки сортиментов, м<sup>3</sup>;  
 $t_{\text{дв.}}$  – время на передвижения форвардера за один рейс, с;  
 $t_{\text{сб.-ум.}}$  – время на сбор и штабелевку сортиментов за один рейс форвардера, с;  
 $l_{\text{сп.}}$  – среднее расстояние трелевки, м;

$v_{\text{фор.}}$  – средняя скорость движения форвардера, м/с;

$k_m$  – коэффициент, учитывающий время маневров форвардера на лесосеке и погрузочном пункте, с;

$t_{\text{захв.}}$  – время одного цикла захвата пачки сортиментов, переноса их и укладки в штабель, с;

$V_c$  – объем пачки сортиментов, захватываемых за один прием, м<sup>3</sup>.

Часовая производительность самопогружающегося автопоезда, м<sup>3</sup>/час, рассчитывается по формуле

$$\Pi_{\text{погр.}} = \frac{3600 \cdot V_{\text{погр.}}}{t_{\text{подг.}} + t_{\text{укл.}} \cdot n_1 + t_{\text{креп.}}} = \frac{3600 \cdot V_{\text{погр.}}}{t_{\text{подг.}} + t_{\text{укл.}} \cdot \frac{M_{\text{н.с.}} \cdot \Phi_1}{V_{\text{погр.}} \cdot \Phi_2} + t_{\text{креп.}}}, \quad (4)$$

где  $V_{\text{погр.}}$  – объем погружаемой пачки сортиментов, м<sup>3</sup>;

$t_{\text{подг.}}$  – время подготовки подвижного состава к погрузке, с;

$t_{\text{укл.}}$  – время укладки одной пачки, с;

$n_1$  – число погружаемых пачек;

$t_{\text{креп.}}$  – время крепления и оправки пакета после погрузки, с;

$\Phi_1$  – коэффициент использования рабочего времени;

$\Phi_2$  – коэффициент использования грузоподъемности лесопогрузочного средства.

Удельные энергозатраты, кВт·ч/м<sup>3</sup>, при работе харвестера (валочно-сучкорезно-раскряжевной машины) определяются по формуле

$$g_{\text{хар.}} = \frac{C \cdot \pi \cdot d_{\text{сп.}}^2 \cdot b \cdot K}{4 \cdot V_x} \left( \frac{v}{\eta} + \frac{c_2 \cdot u \cdot v}{v_{\text{п.}} \cdot \eta} \right) + \frac{C \cdot M \cdot \omega \cdot v}{V_x \cdot \eta} + \frac{Cv}{V_x} \left[ K_p \cdot S + \frac{l_x \cdot (Q_x \cdot k' + G_{\text{пр.}}) \mu_n + l_x \cdot (1 - k') Q_x \mu_x}{\eta} \right] + \frac{C \cdot \pi \cdot d_{\text{сп.}}^2 \cdot b \cdot K_{\text{раск.}} \cdot n}{4 \cdot V_x} \left( \frac{v}{\eta} + \frac{c_2 \cdot u \cdot v}{v_{\text{рез.}} \cdot \eta} \right) + \frac{10^4 \cdot C \cdot G_m \cdot \psi_m \cdot v \cdot (1 + m_1)}{q \cdot \Delta \cdot \eta} + \frac{C \cdot A_d \cdot v}{V_x \cdot \eta}, \quad (5)$$

где  $C = 1/3600$  – переводной коэффициент;

- $b$  – ширина пропила, м;  
 $K$  – удельная работа резания при спиливании ствола, кДж/м<sup>3</sup>;  
 $v$  – коэффициент увеличения затрат энергии от непроизводительных движений;  
 $\eta$  – КПД устройств, передающих энергию к рабочим органам машины;  
 $u$  – скорость подачи режущего механизма, м/с;  
 $v_p$  – скорость резания, м/с;  
 $c_2$  – коэффициент пропорциональности между усилиями резания и подачи;  
 $M$  – момент силы сталкивания дерева с пня, кН·м;  
 $\omega$  – угол сопровождения дерева валочным рычагом при сталкивании дерева с пня, рад;  
 $K_p$  – удельная работа резания при срезании сучьев, кДж/м<sup>2</sup>;  
 $S$  – суммарная площадь среза сучьев, м<sup>2</sup>;  
 $Q_x$  – сила тяжести хлыста, кН;  
 $k'$  – коэффициент, показывающий, какая доля силы тяжести хлыста давит на протаскивающий механизм;  
 $G_{пр.}$  – сила тяжести элементов протаскивающего механизма, кН;  
 $\mu_n$  – коэффициент сопротивления движению хлыста от движущихся элементов протаскивающего механизма по направляющим;  
 $\mu_x$  – коэффициент сопротивления движению хлыста по поддерживающей его плоскости и по ножам;  
 $K_{раск.}$  – удельная работа резания при раскряжевке хлыстов, кДж/м<sup>3</sup>;  
 $v_{рез.}$  – скорость резания при раскряжевке хлыста, м/с;  
 $n$  – число пропилов при раскряжевке;  
 $G_m$  – сила тяжести машины, кН;  
 $\psi_m$  – коэффициент сопротивления движению машины;  
 $m_1$  – отношение пути, проходимого машиной на холостом ходу, к таковому при выполнении технологической работы;  
 $A_д.$  – работа по доставке рабочих устройств к дереву и установке в транспортное положение, кДж.

Удельные энергозатраты, кВт·ч/м<sup>3</sup>, при работе форвардера (трелевочной машины сортиментов) определяются как

$$g_{фор.} = \frac{C \cdot \left[ \gamma \cdot (h_1 + r_m \cdot \omega_m) + \frac{A_{с.м.}}{V_c} \right] \cdot v}{\eta} + \frac{C \cdot l_{сп.} \cdot \gamma \cdot k_0 \cdot \psi_m \cdot (1 + 2 \cdot a)}{\eta}, \quad (6)$$

где  $\gamma$  – объемная сила тяжести древесины, кН/м<sup>3</sup>;

$h_1$  – высота подъема при укладке сортиментов на форвардер, м;

$r_m$  – радиус поворота манипулятора, м;

$\omega_m$  – средний угол поворота манипулятора, рад;

$k_0$  – коэффициент, учитывающий увеличение пути, проходимого машиной с пачкой сортиментов, по отношению к расчетному;

$a$  – отношение силы тяжести форвардера к силе тяжести трелеваемой пачки.

Удельные энергозатраты, кВт·ч/м<sup>3</sup>, процесса погрузки сортиментов самопогружающимся автопоездом определяются по формуле

$$g_{погр.} = \frac{C \cdot \gamma \cdot \omega_c \cdot \mu_c \cdot r_n \cdot \frac{M_{н.с.}}{V_{погр.}} \cdot v}{\eta} + \frac{C \cdot G_c \cdot \omega_c \cdot \mu_c \cdot r_n \cdot v}{\eta}, \quad (7)$$

где  $\omega_c$  – средний угол поворота стрелы манипулятора;

$\mu_c$  – коэффициент трения в подшипнике поворота стрелы манипулятора;

$r_n$  – расстояние по горизонтали от оси машины до центра сечения пачки в месте захвата, м;  $M_{н.с.}$  – грузоподъемность подвижного состава, м<sup>3</sup>;

$G_c$  – сила тяжести стрелы манипулятора, кН.

Все расчеты удельных энергозатрат в зависимости от объема хлыста сводятся в табл. 1.

Удельные трудовые затраты, чел.-дн./м<sup>3</sup>, в общем виде определяются по выражению

$$T = \frac{m \cdot t_u}{M_u \cdot (t_{см.} - t_p)}, \quad (8)$$

Т а б л и ц а 1

Удельные энергозатраты технологического процесса, кВт·час/м<sup>3</sup>

Наименование работы	Объем хлыста, м <sup>3</sup>				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Валка, очистка деревьев от сучьев-раскряжевка хлыстов харвестером типа Ponsse Ergo	0,960	0,574	0,434	0,362	0,318
Трелевка сортиментов форвардером типа Ponsse Buffalo при среднем расстоянии трелевки $l_{cp}=200$ м	0,625	0,624	0,623	0,622	0,621
Погрузка сортиментов самопогружающимся автопоездом типа Урал-4320+ЛВ-185	0,554	0,302	0,221	0,180	0,156
Суммарные удельные энергозатраты	2,139	1,500	1,278	1,164	1,095

Т а б л и ц а 2

Удельные трудозатраты технологического процесса, чел.-дн./м<sup>3</sup>

Наименование работы	Объем хлыста, м <sup>3</sup>				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Валка, очистка деревьев от сучьев-раскряжевка хлыстов харвестером типа Ponsse Ergo	0,026	0,015	0,011	0,009	0,008
Трелевка сортиментов форвардером типа Ponsse Buffalo при среднем расстоянии трелевки $l_{cp} = 200$ м	0,015	0,009	0,006	0,005	0,004
Погрузка сортиментов самопогружающимся автопоездом типа Урал-4320+ЛВ-185	0,080	0,046	0,035	0,029	0,026
Суммарные удельные трудозатраты	0,121	0,070	0,052	0,043	0,038

где  $m$  – число рабочих, обслуживающих машину или механизм;

$M_{ц.}$  – объем выполненной работы за один цикл, м<sup>3</sup>;

$t_{см.}$  – продолжительность рабочей смены, с;

$t_{p.}$  – время на регламентированные простои, подготовительные и заключительные работы, время отдыха рабочих, с.

При получении сортиментов с помощью валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (харвестера) удельные трудозатраты, чел.-дн./м<sup>3</sup>, определяются по формуле

$$T_{хар.} = \frac{m \cdot \left( t_{\partial.} + \frac{l_x}{v_{np.}} + \frac{\pi \cdot d_{cp}^2 \cdot n_{np.}}{4 \cdot \Pi_{цисм.мл.} \cdot k_n} + \frac{10^4 \cdot V_x \cdot k}{\Delta \cdot v \cdot q} \right)}{V_x \cdot (t_{см.} - t_{p.})}. \quad (9)$$

Удельные трудозатраты на сбор, трелевку и штабелевку сортиментов форвардером (трелевочной машиной сортиментов), чел.-дн./м<sup>3</sup>, определяются как

$$T_{фор.} = \frac{m \cdot 2 \cdot \left( \frac{l_{cp} \cdot k_m}{v_{фор.}} + \frac{t_{захв.} \cdot M_n}{V_{н.с.}} \right)}{M_n \cdot (t_{см.} - t_{p.})}. \quad (10)$$

Удельные трудозатраты при погрузке сортиментов самопогружающимся автопоездом, чел.-дн./м<sup>3</sup>, рассчитываются по формуле

$$T_{погр.} = \frac{m \cdot \left( t_{подг.} + t_{укл.} \cdot \frac{M_{н.с.} \cdot \Phi_1}{V_{погр.} \cdot \Phi_2} + t_{крен.} \right)}{V_{погр.} \cdot (t_{см.} - t_{p.})}. \quad (11)$$

Все расчеты удельных трудозатрат в зависимости от объема хлыста сводятся в таблицу 2.

Приведенная методика расчетов позволяет вычислять такие важные показатели экономической эффективности, как удельные энерго- и трудозатраты при использовании для заготовки сортиментов харвестеров и форвардеров. Но однозначный переход на технологию с использованием харвестеров и форвардеров является порой дорогостоящим и медленно окупаемым процессом, особенно для предприятий с малыми объемами лесозаготовок. В Республике Коми частных предприятий с малыми объемами лесозаготовок довольно много. Поэтому по аналогии с данной методикой можно рассчитать данные показатели для технологии по заготовке сорти-

ментов при использовании таких вариантов систем машин, как

– бензопила на валке деревьев типа Husqvarna-262XP + трелевочный трактор с канатно-чокерным оборудованием типа ТТ-4 + бензопила на очистке деревьев от сучьев и раскряжевке хлыстов типа Husqvarna-262XP на погрузочном пункте + самопогружающийся автопоезд типа Урал-4320+ЛВ-185;

– бензопила на валке, очистке деревьев от сучьев и раскряжевке хлыстов типа Husqvarna-262XP + форвардер типа Ponsse Buffalo + самопогружающийся автопоезд типа Урал-4320+ЛВ-185;

– бензопила на валке деревьев типа Husqvarna-262XP + трелевочный трактор с канатно-чокерным оборудованием типа ТТ-4+ сучкорезно-раскряжевочная машина типа ЛО-120 + самопогружающийся автопоезд типа Урал-4320+ЛВ-185;

– бензопила на валке деревьев типа Husqvarna-262XP + трелевочный трактор с канатно-чокерным оборудованием типа ТТ-4 + сучкорезная машина на очистке деревьев от сучьев на погрузочном пункте типа ЛП-30Б + бензопила на раскряжевке хлыстов типа Husqvarna-262XP на погрузочном пункте + самопогружающийся автопоезд типа Урал-4320+ЛВ-185;

– валочно-пакетирующая машина типа ЛП-19А+ трактор с пачковым захватом типа ЛТ-154+ сучкорезно-раскряжевочная машина типа ЛО-120 + самопогружающийся автопоезд типа Урал-4320+ЛВ-185;

– валочно-пакетирующая машина типа ЛП-19А + трактор с пачковым захватом типа ЛТ-154 + бензопила на очистке деревьев от сучьев и раскряжевке хлыстов типа Husqvarna-262XP на погрузочном пункте + самопогружающийся автопоезд типа Урал-4320+ЛВ-185;

– валочно-пакетирующая машина типа ЛП-19А + трактор с пачковым захватом типа ЛТ-154 + сучкорезная машина на очистке деревьев от сучьев типа ЛП-30Б на погрузочном пункте + бензопила на раскряжевке хлыстов типа Husqvarna-262XP на погрузочном пун-

кте + самопогружающийся автопоезд типа Урал-4320+ЛВ-185.

Можно рассмотреть также варианты работы форвардера с сортировкой и без сортировки сортиментов:

I вариант – работа с погрузкой на лесосеке всех сортиментов подряд и разгрузкой на погрузочном пункте также всех сортиментов подряд;

II вариант – работа с погрузкой на лесосеке всех сортиментов подряд и созданием на погрузочном пункте отдельно хвойных и лиственных штабелей;

III вариант – работа с погрузкой, трелевкой и выгрузкой на погрузочном пункте сначала хвойных сортиментов, затем возвратом на лесосеку за лиственными сортиментами.

При сравнении удельных энерго- и трудозатрат различных технологических процессов заготовки сортиментов при лесосечных работах получим, что энергозатраты и затраты человеческого труда при работе на той или иной машине и при выполнении той или иной технологической операции значительно отличаются друг от друга. Приведенную методику расчетов трудозатрат можно учитывать при начислении заработной платы рабочим на лесозаготовках.

Сравнение удельных энерго- и трудозатрат для различных технологических процессов лесозаготовок позволит выбрать такую систему машин, при использовании которой удельная энергоемкость и удельная трудоемкость данного технологического процесса будут минимальными. Также по расчетным формулам можно рассмотреть, за счет чего можно будет уменьшить затраты.

#### Библиографический список

1. Кочегаров, В.Г. Технология и машины лесосечных работ / В.Г. Кочегаров, Ю.А. Бит, В.Н. Меньшиков. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 392 с.
2. Прохоров, В.Б. Эксплуатация машин в лесозаготовительной промышленности / В.Б. Прохоров. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 304 с.
3. Большой энциклопедический словарь – М.: АСТ, 2005. – 1248 с.

## О МОДЕЛИРОВАНИИ РАСКРОЯ ДОСОК НА ЗАГОТОВКИ

А.М. КОПЕЙКИН, *проф. каф. лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, д-р техн. наук,*  
 Н.О. ЗАДРАУСКАЙТЕ, *асп. Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова*

*l.talchikova@narfu.ru, natalii7@mail.ru*

Пиленые, калиброванные и строганные заготовки различных размеров и качества являются наряду с товарными пиломатериалами одним из наиболее распространенных видов пилопродукции во всех странах, имеющих развитую деревообработку и собственные ресурсы древесины для промышленного использования. Заготовки широко используются при изготовлении мебели различного вида и назначения, столярно-строительных изделий, обшивок, в судостроении, стандартном домостроении и при выпуске другой потребительской продукции. Соответственно требования к качеству древесины у этой пилопродукции, особенно в части пороков древесины, выходят на первый план по сравнению выпуском товарных пиломатериалов, где ведущими критериями рациональности раскроя служат объемный и спецификационный выход. Именно эта особенность – приоритет качества над геометрическим выходом в сочетании с ограниченной размерной спецификацией сделали практически неразрешимой проблему теоретического раскроя досок на заготовки. Пока никому не удалось построить сколько-нибудь приемлемую модель обрезной и необрезной доски для последующих теоретических исследований.

Изучением встречаемости пороков в пиловочном сырье и пилопродукции занимались многие советские и зарубежные ученые. Группа исследователей ЦНИИМОДа (П.Ф. Куроптев, В.П. Юницын, Г.М. Васькова, А.Л. Колодкина) изучала встречаемость пиломатериалов с различными пороками древесины и дефектами обработки. Проводилась паспортизация пиломатериалов трех сортов – б/с, 4 с и 5 с, а также отпада от экспорта двух размеров по толщине – тонкие (22, 25 мм) и толстые (38, 50 мм) шириной 150 мм. Фиксировались порода, размеры и сорт каждой доски,

разновидность и местонахождение пороков и дефектов обработки, их размеры; при этом отмечалась сторона сортимента (наружная или внутренняя пласти, кромки и торец). Пороки древесины и дефекты обработки измерялись почти всеми способами, предусмотренными в стандартах на пиломатериалы.

В результате при обработке паспортов на пиломатериалы была установлена встречаемость пиломатериалов с различными пороками древесины и дефектами обработки, установлено, что она во многом зависит от породы древесины. Чаще всего встречаются пиломатериалы с сучками, особенно сросшимися (сосновых пиломатериалов до 98,4 %, еловых до 95,4 %), обзолем, проростью, смоляными кармашками, заболонными грибными окрасками и кренью. Прорость и заболонные грибные окраски характерны для сосновых пиломатериалов; крень и червоточина – для еловых пиломатериалов. Смоляные кармашки более характерны для еловых пиломатериалов, чем для сосновых (73,2 % и 12,4 % соответственно).

Также были сделаны следующие выводы:

- характерным размером смоляных кармашков является ширина до 5 мм, длина до 50 мм, для прорости – ширина до 10 мм и длина до 100 мм;

- наиболее часто встречаются пиломатериалы с сучками размером до 20 мм (более 90 %). Пиломатериалов с сучками размером свыше 20–40 мм – 50 %, свыше 40 мм – около 15 %;

- предельным размером для сросшихся круглых и овальных сучков является размер 110 мм.

Подобные исследования проводили Ф.Т. Тюриков и С.П. Юн В статье «Определение встречаемости пороков в пиловочном

сырье и пилопродукции по относительным величинам» они предложили метод для нахождения среднего количества основных сортообразующих пороков, приходящихся на 1 пог.м длины выпиливаемых досок и др. пилопродукции. Всю деловую часть хлыста делят на 10 относительных отрезков, как по длине, так и по радиусу хлыста. Все сортообразующие пороки проектируют на плоскость, рассекающую хлыст по оси и ограниченную осью и образующей ствола. Эта модель была использована для раскроя хлыстов.

Изучением распределения пороков в буковых досках занимался В.С. Тимонен. Его исследования заключались в следующем: среднюю ширину доски по обе стороны от оси разбивали на 10 частей, затем на каждом участке определяли количество пороков по видам и находили среднюю для партии встречаемость, аналогично вычисляли встречаемость пороков. Ход исследования привел к следующим выводам:

- наибольшее количество гнили, проности, сучков и трещин находится в пределах  $\pm (0,1-0,6)$  ширины доски, а наибольший процент механических повреждений расположен в периферийной зоне в пределах  $\pm (0,7-1,0)$  ширины доски;
- количество сучков по длине доски увеличивается от комля к вершине;
- наибольшее количество пороков по ширине доски расположено в центральной зоне в пределах от  $-0,55$  до  $+0,55$ , а по длине доски – в вершинной и комлевой на участках  $0-0,4$  и  $0,95-1,0$ ;
- по длине доски наибольший процент гнили, трещин и механических повреждений находится в вершинной и комлевой частях, прорость и ложное ядро преимущественно находятся в комлевой части;
- по ширине доски наиболее качественная зона – периферийная, а по длине доски – ее средняя часть.

Специалистами технического университета и лесопильно-деревообрабатывающего комбината в Дрездене был разработан опытный образец системы оптимизации процесса раскроя пиломатериалов на заготовке. Основой данной оптимизации являлось

приближенное изображение доски в виде системы прямоугольников (которое получалось автоматически с помощью специальной программы), дающих информацию о зонах дефектов, контурах доски, ее длине и ширине. Была создана специальная программа раскроя, представляющая собой алгоритм для определения оптимальных линий продольного и поперечного резания и предназначенная для составления схем раскроя преимущественно необрезных пиломатериалов на заготовки разных размеров. Это была одна из немногих попыток автоматизировать определение дефектных участков на пиломатериале. Но недостатком данной системы являлась оценка пиломатериала по качеству лишь по одной поверхности доски.

Ранее в практике для определения выхода заготовок использовали разметку досок. Недостаток этой методики известен: если на обеих пластих и кромках пиломатериала одновременно пометить все пороки, то последовательность будущего раскроя определить весьма затруднительно.

Таким образом, все предложенные ранее модели пиломатериала оказываются непродуктивными. Возникла необходимость в создании новой, более информативной модели пиломатериала.

В ходе проведенных исследований выяснилось, что оценивать пиломатериалы по качеству лишь по одной поверхности (пласти), как практиковалось ранее, неэффективно, так как пороки древесины в большинстве случаев не всегда расположены лишь на одной пласти.

В зависимости от сечения, породы и других признаков пиломатериала пороки мо-

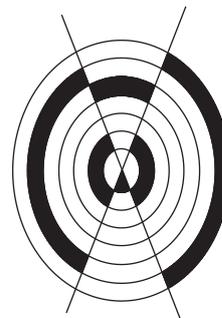


Рисунок. Секторно-круговая модель пиломатериала (зоны, имеющие пороки, заштрихованы)

гут быть расположены либо только на одной пластине или кромке; либо сразу на двух пластинах или кромках; либо сразу на одной пластине и двух кромках или на одной кромке и двух пластинах; либо одновременно на одной пластине и одной кромке или на 2 пластинах и 2 кромках.

Для наглядной оценки качества пиломатериала и предложений по последующему раскрою в ходе обработки экспериментальных данных была разработана секторно-круговая модель пиломатериала (рисунок). Данная модель представляет собой развертку поверхности доски с центром в вершинном торце. Вся поверхность доски разделена окружностями на зоны с градацией 0,3 м. Слева представлена лицевая пластина, вверху – первая кромка, справа – обратная пластина, внизу – вторая кромка.

В зависимости от породы и сечения пиломатериала картинка будет меняться, но в любом случае, глядя на модель, можно сразу определить целесообразность того или иного вида раскроя. Также можно сделать разноцветную заливку фрагментов, для каждого сорта свой цвет – для большей наглядности.

Эта модель дает больше возможностей для перехода к цифровой модели, воспринимаемой средствами вычислительной техники.

#### Библиографический список

1. Куроптев, П.Ф. Производство заготовок из древесины / П.Ф. Куроптев. – М.: Лесн. пром-ть, 1974. – 110 с.
2. Тимонен, В.С. Распределение пороков в буковых досках / В.С. Тимонен // Лесной журнал. – 1973. – № 3. – С. 167.

## ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ В СПЕЦИФИКАЦИЯХ ТОВАРНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОЭКСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.М. КОПЕЙКИН, *проф. каф. лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, д-р техн. наук,*  
М.А. КОРЕЛЬСКАЯ, *асп. каф. лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова*

Первоочередной задачей каждого лесопильного предприятия является выпуск продукции, соответствующей требованиям заказчиков и обеспечивающей удовлетворение нужд потребителей. Основными видами продукции, выпускаемой на архангельских предприятиях, являются пиломатериалы хвойных пород северной сортировки, поставляемые на экспорт, и отпад от экспорта. В связи с этим спецификации пиломатериалов справедливо считать выходной информационной характеристикой в системе планирования раскроя.

Одним из путей повышения спецификационного выхода пилопродукции во второй половине XX в. отечественные ученые называли специализацию предприятий по рынкам сбыта и размерам поперечного сечения пиломатериалов. Так, в 1975–1976 гг. эти вопросы

*l.talchikova@narfu.ru, m.korelskaya@narfu.ru* нашли отражение в работах ученых ЦНИИМОда и АЛТИ (В.Д. Соломонова, В.А. Ключева, В.Я. Васильева, В.П. Покотило и других). В результате исследований [1–4] ученые пришли к выводу, что сокращение общего количества сечений пиломатериалов позволит уменьшить число подступных мест на сортплощадках и создаст условия для поставки обычных пиломатериалов, рассортированных по толщинам в соответствии со спецификацией потребителей. Таким образом, выпуск ограниченного числа сечений пиломатериалов создаст условия для механизации и автоматизации процессов обработки пиломатериалов, повышая производительность труда на различных участках технологического процесса изготовления и обработки пиломатериалов. К тому же качество обработки и браковки пиломатериалов повысится, а расходы на содержа-

ние склада пиломатериалов, пакетирование, сушку и прочее сократятся.

По мнению В.П. Покотило, для сокращения количества сечений и упрощения планирования, производства, подготовки и отгрузки пиломатериалов необходимо за предприятиями, выполняющими спецификацию рынка самостоятельно, когда их кооперация с другими рынками невозможна или нецелесообразна, закреплять один рынок с малоразмерной спецификацией, также и для неспециализированных предприятий, поставляющих на экспорт значительное количество пиломатериалов. В остальных случаях, когда специализированные экспортные предприятия выполняют заявки нескольких рынков, необходимо распределить рынки так, чтобы их число было минимальным, а спецификация пиломатериалов соответствовала условиям работы предприятия.

Из-за разнообразия размерных рыночных спецификаций количество сечений пиломатериалов в спецификациях группировок рынков остается большим. Чтобы их уменьшить, необходимо специализировать предприятия по размерам сечений пиломатериалов в зависимости от конкретных условий. Минимально возможное число сечений будет определяться запросом рынка, сырьем, способом раскроя и рациональными поставками. Если лесозаготовительные предприятия выполняют задание для группы рынков, сводная спецификация разделяется между несколькими предприятиями. Каждое из них вырабатывает пиломатериалы определенных сечений. При этом предприятия специализируются не только по сечениям, но и по рынкам [5].

К 1980–1986 гг. образовалась новая волна исследований, посвященных проработке вопроса специализации лесопильных предприятий, которые были призваны обобщить результаты работы по ранее данным рекомендациям. В числе основных были труды М.Ф. Максакова, В.Ф. Ветшевой, Л.А. Сыпневской, Е.Е. Лугова [6–8].

М.Ф. Максаков, изучая работу предприятий, установил, что большинство из них выпускает экспортные пиломатериалы северной и черноморской сортировки, выра-

батывая экспортные пиломатериалы узкой специализации по ограниченной сетке толщин и сечений. В итоге он пришел к тем же выводам, что и большинство специалистов: специализация по сечениям обеспечила рост производительности труда в лесопильных цехах и эффективное использование установок и линий сушки и обработки пиломатериалов. Вместе с тем он выдвинул предположение, что специализация лесопильных предприятий по выработке специфицированной продукции для внутреннего рынка будет углублена и расширена за счет сокращения выпуска обезличенных пиломатериалов.

В ходе исследования В.Ф. Ветшевой и Л.А. Сыпневской выявлена математическая зависимость объемного выхода экспортных пиломатериалов от основных технологических факторов (количества сечений пиломатериалов в поставках, толщины бруса и диаметра бревна). Результаты показали, что объемный выход пиломатериалов возрастает с увеличением диаметра бревен, толщины брусьев (независимо от их количества в поставке) и числа сечений выпиливаемых досок. Уменьшение числа сечений досок с шести до двух приводит к снижению выхода пиломатериалов, что, в свою очередь, повышает себестоимость 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов. В то же время Е.Е. Лугов предложил решать задачу оптимальной специализации лесопильных предприятий и прикрепления к ним потребителей в два этапа. На первом этапе требуется прикрепить поставщиков к потребителям пиломатериалов на уровне отрасли – прикрепление областей поставщиков к областям потребителей с позиции территориальной близости. По результатам решения этой задачи будет получен оптимальный план объема перевозок пилопродукции для каждой из пар поставщик–потребитель.

На втором этапе поставленная задача должна решаться на уровне объединения. Для ее решения автором была разработана нелинейная математическая модель. Однако на практике применялся подход с первоначальным решением задачи линейного программирования, целевая функция которой реализует минимум отходов пиловочного сырья при ограничениях

по выполнению заданной спецификации и по ограниченности сырьевых ресурсов. Результаты исследования подтвердили эффективность применения оптимальных методов для решения задачи оптимальной специализации лесопильных предприятий и прикрепления к ним потребителей.

С момента распада СССР, начала 90-х гг. прошлого столетия, большинство государственных предприятий перешло в частные руки и проблемы, связанные со специализацией по рынкам сбыта и размерам поперечного сечения пиломатериалов, начали обостряться. В настоящее время каждое крупное лесопильное предприятие г. Архангельска имеет своего владельца и не заинтересовано в производственной кооперации. Так или иначе, но заводы отказались от общего стокнота и теперь действуют самостоятельно, что неизбежно влечет за собой следующее.

1) Предприятия работают на один и тот же сегмент европейского лесного рынка.

2) Предприятия вынуждены конкурировать между собой, а потому имеют схожие спецификации пиломатериалов.

Стоит отметить, что как таковой специализации по рынкам сбыта, позволяющей уменьшить количество вырабатываемых сечений пиломатериалов, не существует, а большинство стран-покупателей – это исторические рынки сбыта, связи с которыми были налажены еще в советское время. Можно предположить, что наши предприятия-экспортеры неактивны, поскольку не стараются найти новых потребителей и не открывают для себя новые рынки сбыта. Поэтому, чтобы улучшить эффективность работы предприятий, необходимо озадачиться проблемой поиска новых покупателей.

К наиболее эффективным мерам сокращения общего количества сечений пиломатериалов относится также специализация лесопильных заводов и цехов по толщинам вырабатываемой пилопродукции, благодаря чему сокращается число подтопных мест на сортплощадках и создаются условия для поставки обычных пиломатериалов, рассортированных по толщинам в соответствии со спецификацией потребителей. Следует сказать,

что сокращение количества сечений пиломатериалов не должно идти за счет ухудшения использования сырья. Минимально возможное число сечений должно определяться запросом рынка, сырьем, способом распиловки и рациональными поставками.

Количество сечений пиломатериалов по годам в среднем на одно предприятие Архангельского порта уменьшилось следующим образом: 1963 г. – 84 сечения пиломатериалов; 1964 – 71; 1966–1968 – 66; 1969 – 53; 1970 – 37; 1971 – 32; 1972 – 29; 1973 – 27 и в 1974 – 24 [9].

С переходом на рыночную экономику предприятия забыли о создании производственных объединений и стали ориентироваться только на запросы, которые диктовал им рынок. Необходимость заключать договора на поставку любых требуемых сечений пиломатериалов со всеми сотрудничающими странами-покупателями лишила предприятия возможности специализироваться на выработке определенных размеров поперечных сечений пиломатериалов.

В ходе исследования был проведен анализ изменений в спецификациях товарных пиломатериалов на шести архангельских предприятиях (ОАО «Соломбальский ЛДК», ОАО «СЛТ-Лесозавод № 3», ОАО «Лесозавод № 2», ОАО «Архангельский ЛДК № 3», Цигломенский участок ЗАО «Лесозавод 25» и ООО «Кардинал») за период с 2001 по 2008 г. Результаты говорят о существенных переменах, произошедших в лесопильной промышленности Архангельской области, и позволяют сделать следующие выводы:

1) Количество сечений пиломатериалов на всех предприятиях существенно возросло по сравнению с аналогичными показателями 70-х гг. прошлого столетия, исключение составляет ООО «Кардинал», работающий в основном на внутризаводскую переработку.

2) Наибольшим спросом у покупателей пользуются толщины 50, 44 и 22 мм, ширины – 100, 125 и 150 мм. При этом наблюдается крайне неравномерное распределение пиломатериалов по толщинам (от сотых долей до 29 %), что позволяет ставить вопрос о переходе на выработку

пиломатериалов, пользующихся наибольшим спросом. Такая тенденция характерна для всех рассматриваемых предприятий.

3) Количество вырабатываемых сечений из года в год колеблется от 10 до 44.

4) Возросло количество тонких досок в общем объеме выработанных пиломатериалов, их процентное соотношение в общем количестве выработанных пиломатериалов варьируется от 30 до 45 %, в связи с чем увеличивается количество опилок и отчасти этим объясняется снижение объемного выхода.

Иными словами, отсутствие четкой специализации предприятий по размерам поперечного сечения пиломатериалов лишает их возможности уменьшить общее число типоразмеров вырабатываемой пилопродукции и затрудняет календарное планирование раскроя сырья.

#### Библиографический список

1. Соломонов, В.Д. Специализация лесопильных предприятий по толщинам вырабатываемых пиломатериалов – важнейший фактор повышения эффективности лесопильного производства/ В.Д. Соломонов //Специализация лесопильных предприятий по толщинам пиломатериалов: материалы конф. ЦНИИМОД. – 1975. – С. 3–13.
2. Соломонов, В.Д. Определение уровня специализации лесопильных предприятий / В.Д. Соломонов, В.А. Ключев // Механическая обработка древесины: реферативная информация 5. – М.: ЦНИИТЭИлеспром, 1976. – С. 7–8.
3. Ключев, В.А. Исследование влияния уменьшения количества размеров ширины пиломатериалов, полученных из необрезных досок, на объемный выход пиломатериалов/ В.А. Ключев //Механизация лесопильного производства и новые технологические процессы: науч. тр. ЦНИИМОД. – 1975. – Вып. 32. – С. 9–11.
4. Васильев, В.Я. Изучение опыта работы предприятий, специализированных по толщинам вырабатываемых пиломатериалов/ В.Я. Васильев, В.А. Ключев /Специализация лесопильных предприятий по толщинам пиломатериалов: материалы конф. ЦНИИМОД. – 1975. – С. 108–125.
5. Покотило, В.П. Специализация лесозэкспортных предприятий по рынкам сбыта и размерам сечений пиломатериалов/ В.П. Покотило // Специализация лесопильных предприятий по толщинам пиломатериалов: материалы конф. ЦНИИМОД. – 1975. – С. 19–32.
6. Максаков, М.Ф. Специализация лесопильных предприятий/ М.Ф. Максаков // Механическая обработка древесины: реферативная информация 8. – М.: ЦНИИТЭИлеспром, 1980. – С. 4–5.
7. Ветшева, В.Ф. Раскрой крупномерных бревен с брусочкой на пиломатериалы ограниченного числа сечений / В.Ф. Ветшева, Л.А. Сыпневская // Механизация и автоматизация подготовки сырья к распиловке: науч. тр. ЦНИИМОД. – 1983. – С. 73–76.
8. Лугов, Е.Е. Оптимальная специализация лесопильных предприятий и прикрепление к ним потребителей/ Е.Е. Лугов // Механическая обработка древесины: научно-технический реферативный сборник ВНИПИЭИлеспром. – 1986. – Вып. 1. – С. 11.
9. Специализация лесопильных предприятий по толщинам пиломатериалов: Материалы конференции работников объединений, комбинатов, лесопильных предприятий / Центральный научно-исследовательский институт механической обработки древесины; под ред. Н.В. Мартюшова. – Архангельск, 1975. – 126 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ ВОЛН НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ ЖЕСТКИМИ ВОЛНОГАСИТЕЛЯМИ

В.П. КОРПАЧЕВ, *проф. каф. использования водных ресурсов СибГТУ, канд. техн. наук,*  
Г.А. ГАЙДУКОВ, *асп. каф. использования водных ресурсов СибГТУ,*  
А.И. ПЕРЕЖИЛИН, *ст. преподаватель каф. использования водных ресурсов СибГТУ,*  
А.А. АНДРИЯС, *доц. каф. использования водных ресурсов СибГТУ, канд. техн. наук*

*ivr@sibstu.kts.ru*

Основную роль в переформировании берегов водохранилища играют гидрологические факторы: волнение, течения, колебания уровня, как режимные, так и сгонно-нагонные, лед, температура и физико-химические свойства

воды. Переформированию берегов способствуют геологические процессы: выветривание, оползневые явления, карст, овражная и склоновая эрозия. Замедляют или ускоряют процесс переформирования берегов состав и прочность

горных пород, направление залегания пластов, рельеф новых берегов водохранилищ, характер и мощность растительности на берегах, размеры водохранилищ и др. Переформирование берегов происходит в два этапа: становление новых берегов и их стабилизация. В первый период наблюдается интенсивное разрушение берегов, формирование аккумулятивных форм и замедление переформирования берегов. Наиболее интенсивно берега водохранилищ разрушаются в первые годы после затопления водохранилищ. Скорость отступления берегов составляет десятки и сотни метров в год: на Братском водохранилище берег с 1962 по 1967 г. отступил на 759 м; на Каховском водохранилище к концу четвертого года наполнения общая ширина зоны переработки берега составила от 90 до 100 м; на водохранилище Днепрогэс за 18 лет ширина зоны переработки составила от 140 до 180 м [1].

Переработка берегов в значительной мере процесс дискретный, наиболее активно

развивающийся во время штормов – это говорит о том, что волнение является основной причиной абразии берегов водохранилищ. Перемещение и переотложение продуктов происходит под воздействием волнения и вдоль береговых, генерируемых волнением течений. В результате этого формируются абразионные и аккумулятивные берега. Первые обычно представляют собой обрывистые образования с узкими пляжами в бухточках между мысами и быстрым нарастанием глубин, вторые – пологие берега с широкими песчаными пляжами и медленно нарастающими глубинами. На водохранилищах эти формы берегов весьма динамичны и изменчивы, так как процесс их формирования происходит при частом изменении уровня, иногда весьма значительном (на некоторых равнинных водохранилищах уровень при сработке меняется более чем на 7–8 м). Такой уровненный режим усиливает абразию берегов и их протяженность, которая на некоторых водохранилищах составляет более

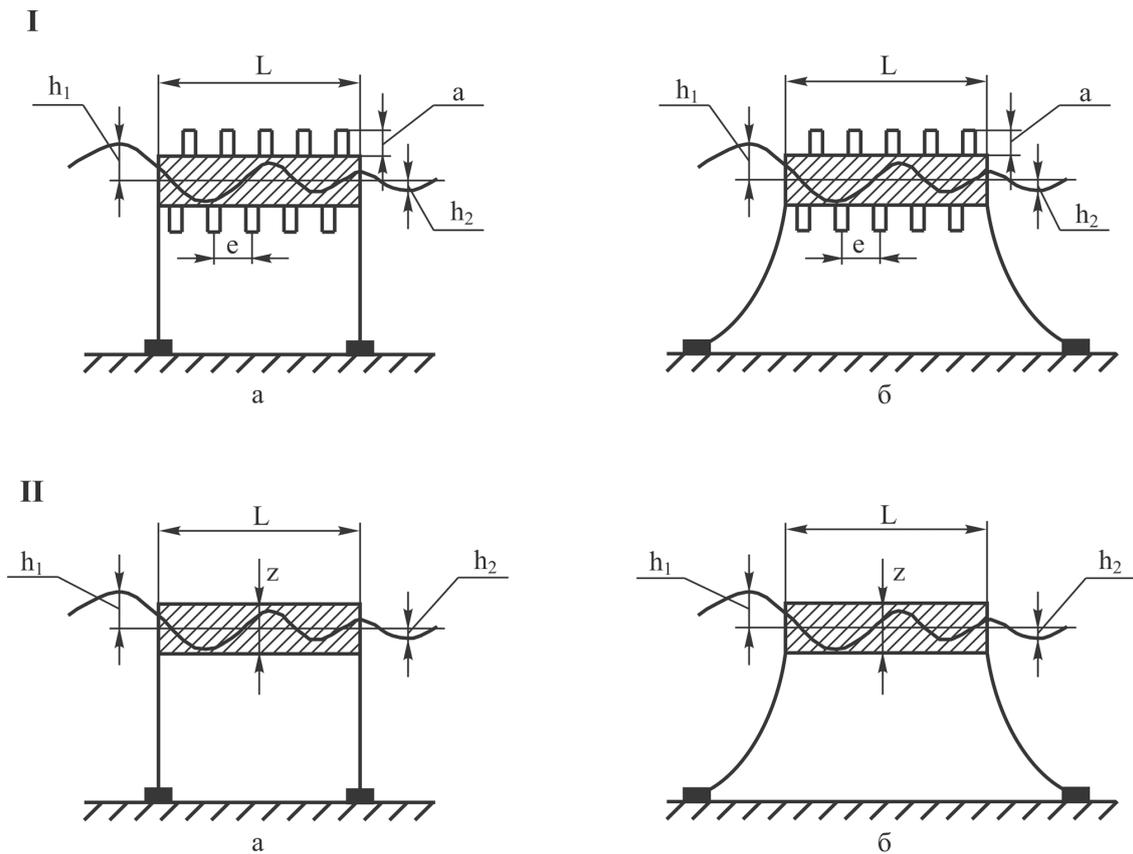


Рис. 1. Жесткие плавучие волногасители: I – с элементами шероховатости в виде водобойной стенки; II – без элементов шероховатости; а – жестко закрепленные в береговой зоне; б – закоренные; L – длина волногасителя;  $h_1$  – высота волны перед волногасителем;  $h_2$  – высота волны за волногасителем; а – высота шероховатостей; e – расстояние между шероховатостями; z – толщина волногасителя

50–70 % от общей длины береговой линии водохранилища. Так, длина абразионных участков на Цимлянском водохранилище составляет 70 %, Каховском – 85 %, Братском – 41 % [2].

Размыв берегов водохранилищ лесопокрываемых регионов служит причиной поступления значительных объемов древесной массы и органических веществ в воды водохранилищ.

В связи с отмеченными особенностями одним из основных факторов, позволяющих снизить величину абразии берегов водохранилищ, является устройство волногасителей, обеспечивающих диссипацию энергии волн и, следовательно, снижение интенсивности размыва берегов.

На кафедре использования водных ресурсов ФГБОУ ВПО «СибГТУ» проведен

ряд экспериментальных лабораторных исследований жестких плавучих волногасителей, обеспечивающих наибольшую величину диссипации энергии волн в отличие от эластичных [3]. Теоретические основы взаимодействия волн с плавающими телами достаточно подробно изложены в работе [4].

В ходе исследований рассматривались жесткие плавучие волногасители (рис. 1):

- имеющие элементы шероховатости в виде водобойной стенки и жесткое крепление в береговой зоне;
- не имеющие элементов шероховатости и жесткого крепления в береговой зоне;
- имеющие элементы шероховатости в виде водобойной стенки, заякоренные;
- не имеющие элементов шероховатости, заякоренные.

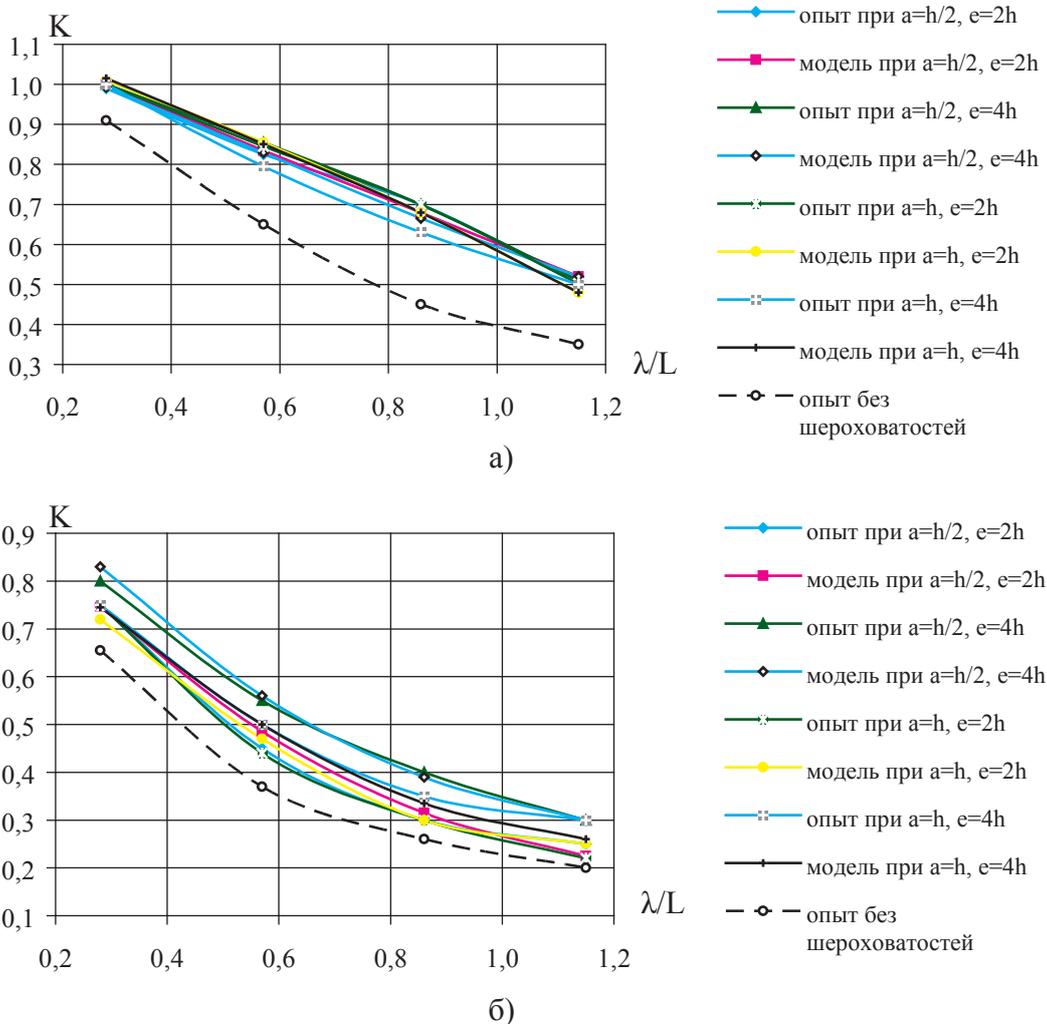


Рис. 2. Зависимость коэффициента гашения волны  $K$  от величины  $\lambda/L$  для волногасителя: а) жестко закрепленного, б) заякоренного;  $L$  – длина волногасителя,  $\lambda$  – длина волны,  $a$  – высота шероховатости,  $h$  – высота волны

В ходе исследований были получены качественный и количественный эффекты взаимодействия волн с плавучими волногасителями:

– определен коэффициент гашения волн в зависимости от их характеристик и геометрических параметров плавающего волногасителя;

– установлены математические модели взаимодействия волн с плавучим волногасителем.

Достоверность экспериментальных исследований обеспечивалась выполнением физического моделирования (закон Фруда) с волногасителями, планированием и реализацией многофакторных исследований по определению коэффициента гашения волны,  $K = h_2/h_1$ , при прохождении через волногаситель [5].

В качестве методологической основы экспериментальных исследований принята реализация построения математической модели изучаемого явления типа В-плана второго порядка [5, 6].

Программа экспериментальных исследований реализована комплексом активных многофакторных опытов. В основе обработки результатов эксперимента лежали корреляционные и регрессионные анализы, включающие методы наименьших квадратов и статистическую обработку данных [6–10].

Основные результаты экспериментальных исследований наглядно представлены на рис. 2.

Имеющиеся экспериментальные данные позволяют сделать ряд выводов.

1. Полученные математические модели достаточно точно описывают изучаемый процесс.

2. Применение волногасителей с шероховатостями более эффективно в сравнении с гладкими, т. к. позволяет повысить коэффициент гашения волны.

3. Для жестко зафиксированного волногасителя с шероховатостями при  $K = 0,5$  значение  $\lambda/L = 1,15$ , т. е. для того, чтобы погасить волну в два раза, нужна меньшая длина волногасителя (по сравнению с длиной волны); при увеличении длины волногасителя значение коэффициента  $K$  возрастает. Аналогичная за-

висимость прослеживается для заякоренного волногасителя с элементами шероховатости, но  $K = 0,5$  достигается при значении  $\lambda/L = 0,51$  при  $a = h$  и  $\lambda/L = 0,67$  при  $a = h/2$ . Таким образом, жестко закрепленные волногасители позволяют увеличить эффективность диссипации энергии волн до 50 % в сравнении с заякоренными, однако их использование в условиях водохранилищ достаточно проблематично в связи с высокой амплитудой колебания уровней воды в водохранилищах.

В заключение необходимо отметить, что рассмотренные в статье материалы могут являться эталонными для анализа эффективности волногашения другими типами волногасителей (эластичные, пористые и т. п.), которые будут исследованы в дальнейших экспериментах.

#### Библиографический список

1. Корпачев, В.П. Проблемы засорения водохранилищ ГЭС Сибири древесной массой: монография / В.П. Корпачев, А.И. Пережилин, А.А. Андрияс. – Красноярск: СибГТУ, 2010. – 114 с.
2. Смирнов, Г.Н. Гидрология и гидротехнические сооружения / Г.Н. Смирнов и др. – М.: Высшая школа, 1988. – 472 с.
3. Корпачев, В.П. Экспериментальные исследования диссипации волновой энергии жесткими и эластичными волногасителями / В.П. Корпачев // Лесоэксплуатация: Межвузовский сб. науч. тр. – Красноярск, 1995. – С. 43–53.
4. Корпачев, В.П. Теоретические основы водного транспорта леса: монография / В.П. Корпачев. – М.: Академия естествознания, 2009. – 237 с.
5. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маринова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 254 с.
6. Пижурин, А.А. Исследование процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.
7. Пен, Р.З. Статистические методы в целлюлозно-бумажном производстве / Р.З. Пен, Э.М. Менчер. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 119 с.
8. Хартман, К. и др. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов / К. Хартман и др. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
9. Налимов, В.В. Логические основания планирования эксперимента / В.В. Налимов, Г.И. Голинова. – М.: Металлургия, 1976. – 128 с.
10. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Статистика, 1974. – 191 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕПРЕГОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПОЛИМЕРА

В.Д. КОТЕНКО, проф. каф. материаловедения и ТКМ, МГУЛ, д-р техн. наук,  
 В.В. АБРАЗУМОВ, проф. каф. материаловедения и ТКМ, МГУЛ, д-р, техн. наук,  
 И.В. САПОЖНИКОВ, доц. каф. процессов и аппаратов д/о производств, МГУЛ, канд. техн. наук,  
 В.А. РОМАНЕНКОВ, зам. главного технолога ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия», канд. техн. наук,  
 Л.Н. КУЗНЕЦОВА, вед. техн. «ЗЭМ» РКК «Энергия», инженер,  
 А.И. ТЕРЕХИН, вед. техн. «ЗЭМ» РКК «Энергия», инженер

kotenko@mgul.ac.ru; vladimir.romanenkov@rsce.ru

Препреги на основе многослойных вязально-прошивных полотен (ПВП) из кремнеземных (КТ) и кремнеземно-капроновых (КТК) тканей, используемые для изготовления теплозащитных покрытий, по содержанию полимера и летучих продуктов должны отвечать требованиям, указанным в табл. 1.

В качестве связующего для пропитки таких полотен используется бакелитовый лак ЛБС-4 [1], представляющий собой раствор фенолоформальдегидной смолы (ФФС) в этиловом спирте. Содержание ФФС (полимера) в лаке составляет 50–60 мас. % ( $g_{\phi} = 0,6-0,6$  масс. ч.), воды не более 9 мас. % ( $g_{\text{в}} = 0,09$  масс. ч.), свободного фенола не более 8,5 мас. %, остальное – этиловый спирт (растворитель). Пропитка полотен в открытых ваннах связующим с высоким содержанием растворителя до достижения требуемого содержания полимера является длительным технологическим процессом.

С целью сокращения длительности процессов пропитки и сушки с обеспечением требуемого содержания полимера и летучих продуктов в препрегах были проведены теоретические и экспериментальные исследования.

Многослойные вязально-прошивные полотна представляют собой пористые тела, поры которых в процессе пропитки заполняются связующим. По характеристикам компонентов препрега можно рассчитать не только пористость полотен, но и содержание полимера в полотне при разовой вакуумной пропитке, а также его предельное содержание, когда все поры в полотне будут заполнены полимером. Характеристики компонентов препрегов приведены в табл. 2.

Пористость  $P$  полотна и другие характеристики препрегов могут быть рассчитаны по формулам (расчет производится на единицу объема полотна –  $1 \text{ м}^3$ )

– пористость полотна из кремнеземной ткани

$$P_{KT} = 1 - \rho_{KT} / \rho_c; \quad (1)$$

– пористость полотна из кремнеземно-капроновой ткани

$$P_{КТК} = 1 - \frac{\rho_{КТК} \cdot (1 - g_K)}{\rho_c} - \frac{\rho_{КТК} \cdot g_K}{\rho_K}; \quad (2)$$

– масса лака в полотне после вакуумного вливания  $m_L = \rho_L P_{KT}$  (или  $P_{КТК}$ ); (3)

– массовая доля лака в полотне

$$c_L = \frac{m_L}{m_L + \rho_{KT} \text{ (или } + \rho_{КТК})} \cdot 100\%; \quad (4)$$

– масса полимера в лаке

$$m_{\phi} = g_{\phi} \cdot m_L; \quad (5)$$

– массовая доля полимера в полотне (без учета растворителя и воды, которые могут быть удалены в процессе сушки)

$$c_{\phi} = \frac{m_{\phi}}{m_{\phi} + \rho_{KT} \text{ (или } + \rho_{КТК})} \cdot 100\%; \quad (6)$$

– предельное содержание полимера в полотне ПВП-КТ (ПВП-КТК)

$$c_{\phi n} = \frac{P_{KT} \text{ (или } P_{КТК}) \cdot \rho_{\phi}}{P_{KT} \text{ (или } P_{КТК}) \cdot \rho_{\phi} + \rho_{KT} \text{ (или } \rho_{КТК})} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Рассчитанные по уравнениям (1–7) характеристики приведены в табл. 3, где при-

Т а б л и ц а 1

### Требования к содержанию полимера и летучих продуктов в препрегах

Вид заготовок	Содержание летучих продуктов, мас. %	Содержание полимера, мас. %
ПВП-КТ	3–6	от 35 до 50
ПВП-КТК	7–13	не менее 40

**Характеристики компонентов препрегов**

стеклянной нити, $\rho_c$	Плотность, г/см <sup>3</sup> :						Содержание капроновых нитей в ткани КТК $g_k$ , масс. ч.
	ткани КТ, $\rho_{КТ}$	ткани КТК, $\rho_{КТК}$	капроновой нити, $\rho_k$	лака ЛБС-4, $\rho_l$	ФФС, $\rho_\phi$	этилового спирта, $\rho_s$	
2,2	0,9	0,7	1,13	1,041	1,3	0,8	0,45

**Расчетное содержание лака и смолы в полотнах при разовой вакуумной пропитке**

Полотно	Пористость	Содержание в полотне лака, масс. %	Расчетное содержание полимера в полотне при содержании ФФС в лаке при разовой пропитке, масс. %		Содержание смолы по результатам опытной вакуумной пропитки, масс. %	Предельное содержание смолы в полотне, масс. %
			50	60		
ПВП-КТ	0,591	40,6	25,5	29,1	–	46
ПВП-КТК	0,546	44,8	28,9	32,8	27,2; 30,8; 30,1	50

водятся также результаты опытной разовой вакуумной пропитки трех образцов полотен из ткани КТК.

Результаты расчетов показали, что содержание смолы в полотнах, полученное при опытной пропитке, достаточно хорошо согласуется с расчетными значениями. Это указывает на то, что при разовой пропитке можно обеспечить только то количество смолы в полотне (~ 30 %), которое содержится в лаке, замещающем воздух в порах полотна. Эти выводы подтверждаются и другими исследователями [2]. Таким образом, разовая вакуумная пропитка не обеспечивает требуемого содержания смолы в препреге.

Расчеты также показали, что при замещении воздуха в порах чистым полимером можно получить препреги с требуемым содержанием. В этом случае необходимо производить многократную пропитку, сочетая ее с вакуумной сушкой.

Процесс вакуумной пропитки осуществляется в закрытой герметичной форме, что позволяет количественно контролировать при пропитке объем (массу) закаченного в полотно лака, а при вакуумной сушке объем (массу) удаленного из полотна спирта (при этом пары спирта необходимо сконденсировать). Контролируя эти параметры – массу закаченного в полотно лака и массу удаленного из полотна спирта в процессе вакуумной сушки – можно не только управлять техно-

логическим процессом, но и количественно рассчитать содержание в полотне смолы, спирта, воды. Если, например, по характеристикам пропитываемого полотна рассчитать объем пор в полотне и сравнить его с объемом закаченного в полотно лака, то можно судить о степени заполнения пор лаком. После вакуумной сушки можно рассчитать содержание смолы в полотне и т.д.

Удобнее всего сделать расчет универсальным, а не производить его каждый раз для конкретных размеров пропитываемого полотна. Поэтому расчет целесообразно производить на единицу объема полотна. Если нужно произвести расчет для полотна конкретных размеров, то достаточно будет рассчитать его объем, на который следует умножить характеристики единичного объема. За единицу объема принимаем 1 см<sup>3</sup> (как в уравнениях 1–7).

Требуемое содержание смолы в ткани может быть обеспечено по следующей технологической цепочке: первичная вакуумная пропитка – удаление из лака, содержащегося в полотне, спирта (частично или полностью) вакуумной сушкой – замещение удаленного объема спирта из лака соответствующим объемом лака вакуумной пропиткой – удаление из лака спирта (частично или полностью) вакуумной сушкой – замещение удаленного объема спирта из лака объемом лака вакуумной пропиткой и т.д. до обеспечения содержа-

**Параметры технологического процесса, соответствующие номерам кривых**

Номер кривой на рис. 1	Исходное содержание ФФС в ЛБС-4, масс. %	Исходное содержание спирта в ЛБС-4, масс. %	Количество удаляемого спирта при вакуумной сушке, масс. %
1	50	41	25
2	60	31	25
3	50	41	50
4	60	31	50
5	50	41	100
6	60	31	100

ния в полотне требуемого количества смолы. По достижении в полотне требуемого содержания смолы может быть осуществлена вакуумная сушка или кондиционирование под вытяжным зонтом до достижения в полотне допустимого количества летучих продуктов.

Содержание смолы, спирта и летучих продуктов определяются расчетом на каждом этапе процесса пропитки и сушки, а такие параметры, как количество лака для пропитки и количество удаленного при вакуумной сушке спирта, могут количественно контролироваться приборами установки.

По изложенному алгоритму разработана математическая модель, которая реализована в среде Mathcad 14. В начале программы имеется блок ввода исходных данных. По ходу выполнения программы выводятся результаты промежуточных расчетов. По окончании расчета можно построить графические зависимости изменения в процессах пропитки – вакуумная сушка всех рассчитываемых параметров – содержание в полотне смолы, смолы + вода, спирта, воды. Эти зависимости могут быть построены как на одном графике, так и каждая зависимость на отдельном графике.

Если в программу ввести габаритные размеры пропитываемого полотна и требуемое содержание смолы в пропитанной ткани, то можно рассчитать потребное для этого количество лака.

На рисунке, в качестве примера, приведены графические зависимости изменения смолы, смолы + вода, воды и спирта в зависимости от количества вакуумных пропиток и сушек на каждом этапе процессов пропитки – вакуумная сушка для кремнеземно-капро-

новой ткани, полученные расчетом по изложенному алгоритму.

Расчеты производились при разном содержании смолы в лаке и при разном количестве удаляемого вакуумной сушкой спирта из полотна (табл. 4).

Аналогичные расчеты были проведены для полотна из кремнеземной ткани. Сравнение полученных в результате расчетов данных для кремнеземной и кремнеземно-капроновой ткани показало, что для последней рост содержания смолы в ткани имеет более крутую зависимость. Обусловлено это тем, что полотно из кремнеземно-капроновой ткани имеет меньшую плотность и при том же объеме закаченной смолы отношение массы смолы к массе полотна будет больше.

Анализ зависимостей содержания компонентов от числа вакуумных пропиток и сушек показывает, что при исходном содержании смолы в лаке 50 % после второй вакуумной сушки и последующей пропитки удастся обеспечить в полотне более высокое содержание смолы, чем при исходном содержании смолы в лаке 60 %.

Содержание воды в полотне увеличивается с понижением содержания смолы в лаке.

Содержание спирта в полотне после второй вакуумной сушки и последующей пропитки менее 5 %.

Численные расчеты по математическим моделям показали принципиальную возможность получения препрегов с высоким содержанием полимера. Процесс ступенчатой вакуумной пропитки и сушки является информативным и управляемым. Заранее можно рассчитать не только количество ваку-

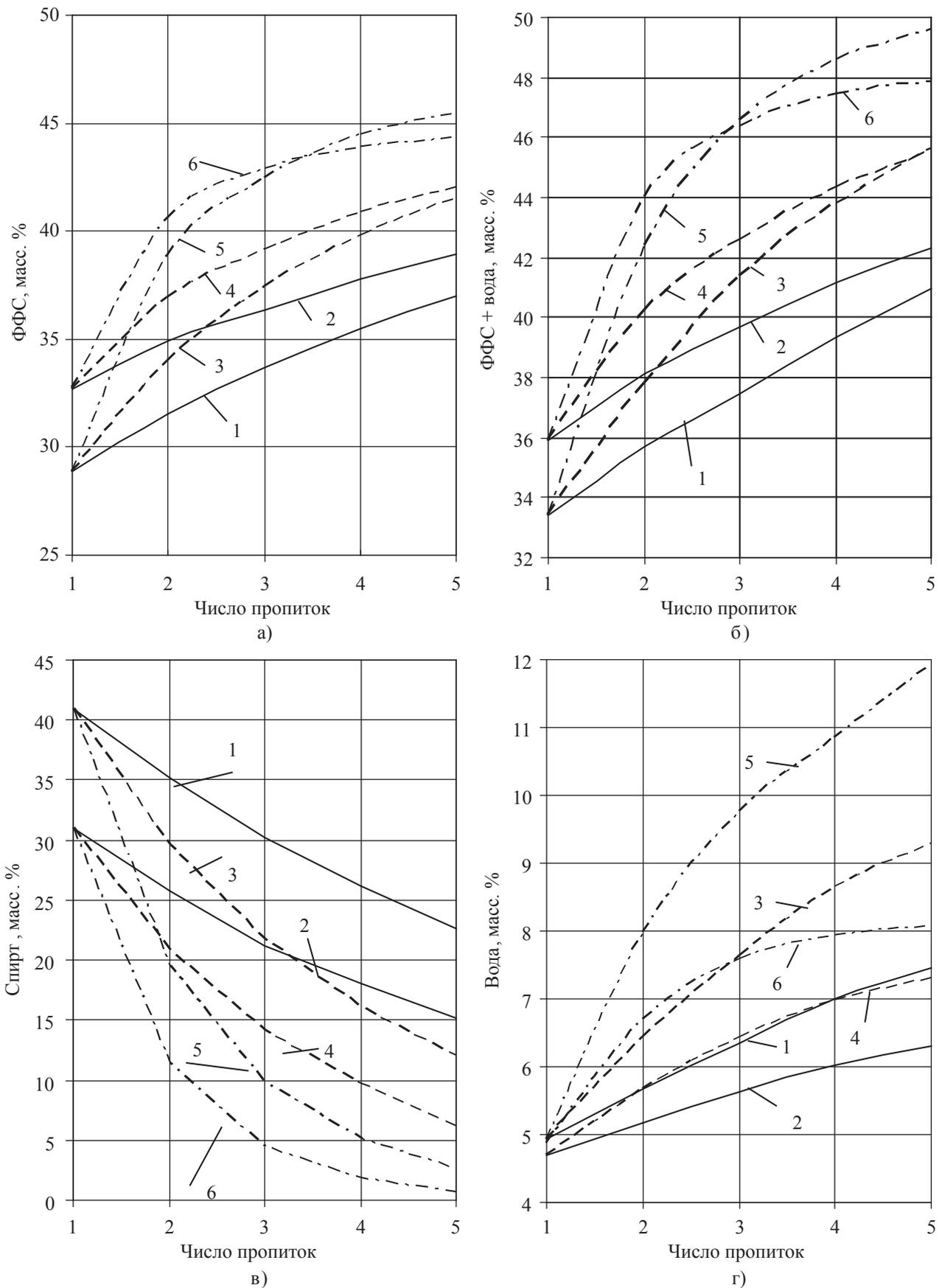


Рис. 1. Содержание компонентов в полотне в зависимости от числа пропиток и исходного содержания ФФС в ЛБС-4: а – ФФС; б – ФФС + вода; в – спирт; г – вода

умных сушек с последующей пропиткой для достижения требуемого или заданного содержания полимера в полотне, но и определить массу лака как для каждой пропитки, так и для всего процесса пропитки.

Масса лака, которая потребуется для пропитки полотна, определяется расчетом в следующей последовательности.

1. Определяют взвешиванием массу полотна  $M_n$  (КТ или КТК), которое подвергается пропитке.

2. Задают содержание полимера (смолы) в препреге  $g_{\phi}$ .

3. По заданной величине  $g_{\phi}$  определяют содержание смолы в полотне из уравнения  $g_{\phi} = M_{\phi} / (M_{\phi} + M_n)$ . (8)

4. Проводят лабораторные исследования лака, предназначенного для пропитки полотна, на содержание смолы  $g_{\phi}$  масс. ч и воды  $g_w$  масс. ч.

5. Рассчитывают массу лака  $M_l$ , которая потребуется для пропитки полотна, по уравнению

$$M_l = M_{\phi} / g_{\phi}, \text{ кг.} \quad (9)$$

6. Можно также определить массу удаляемого спирта  $M_s$  при вакуумной сушке

$$M_s = M_l (1 - g_{\phi} - g_w), \text{ кг.} \quad (10)$$

Ступенчатая вакуумная пропитка и сушка образцов полотен, осуществленная в экспериментальной установке, показала следующее. Требуемое содержание полимера

в препреге может быть достигнуто при частичном 3-х кратном вакуумном вливании лака (каждый раз  $\sim 1/3$  от рассчитанного по ур. 9) с последующим удалением вакуумной сушкой спирта из лака в количестве  $\sim 50\%$ , содержащегося в каждой вливаемой порции лака. Затем для достижения равномерного распределения полимера по толщине полотна в течение некоторого времени необходима выдержка под избыточным давлением. Окончательную сушку до достижения допустимого содержания летучих продуктов следует производить кондиционированием полотна под вытяжным зонтом.

Первичная пропитка при 100% заполнении пор лаком и полном удалении из него спирта, а затем последующее частичное вливание лака и его сушка до заданного содержания полимера приводят к контракции полотна (следствием контракции является уменьшение пористости полотна), и образованию на поверхности твердой корки полимера. Содержание полимера в полотне из-за уменьшения пористости полотна и наличия корки на поверхности уменьшается.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 901-71. Лаки бакелитовые. Технические условия.
2. Справочник по композиционным материалам. Под ред. Дж. Любина. Книга 1-я. – М.: Машиностроение. – 1988. – 448 с.

## СКВОЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ХОЛДИНГОВ, ВКЛЮЧАЮЩИХ МАЧТОПРОПИТОЧНЫЕ ЗАВОДЫ

О.А. КУНИЦКАЯ, доц. каф. технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, канд. техн. наук

*tlzp@inbox.ru*

**В** настоящее время на территории России успешно работает целый ряд мачтопропиточных заводов и география их распространения довольно широка, например, Лодейнопольский мачтопропиточный завод (Ленинградская обл.), Сеесьярвский мачтопропиточный завод (Республика Карелия), Ленинградский мачтопропиточный завод

(г. Санкт-Петербург), Серовский мачтопропиточный завод (г. Екатеринбург), Белоярский мачтопропиточный завод (Алтайский край). В их продукцию входят шпалы деревянные пропитанные, деревянные опоры линий электропередач, столбы телеграфные и т.д. Для изготовления продукции используются сосна, ель, кедр, пихта, береза и другие породы.

Часть таких предприятий входит в крупные интегрированные структуры – промышленные холдинги, например Котельничский мацтопропиточный завод (Кировская обл.), входящий в производственно-коммерческий холдинг «Проминдустрия». Ряд таких холдингов ведет широкомасштабный бизнес по комплексному оснащению предприятий различных отраслей народного хозяйства, например, занимается комплексными поставками промышленного оборудования, техники, сырья, материалов и сервисных услуг для предприятий нефтегазодобывающей, химической промышленности, электроэнергетики и металлургии, в области строительства. Другие специализируются только на лесопромышленном комплексе, имея в своей структуре несколько деревообрабатывающих (лесопильных, пропиточных и др.) и деревоперерабатывающих предприятий (целлюлозно-бумажных, гидролизных и др.).

К числу специфических отраслевых факторов работы таких холдингов можно отнести [1]:

- многообразии возможных вариантов формирования баланса производства и потребления древесного сырья;

- многообразии природно-производственных условий лесозаготовительного производства;

- возможность различных направлений использования древесного сырья и транспортной логистики, увязывающей подразделения заготовки, обработки и переработки древесины;

- значительное количество вариантов технологий и соответствующих им комплектов систем машин для заготовки древесины, технико-экономические показатели работы которых зависят от большого количества факторов, включая таксационные характеристики древостоя и удаленность от потребителей древесины;

- транспортная сеть для перемещения древесины разветвлена, а узловые точки сети, в которых находятся перерабатывающие предприятия, территориально разобщены.

Проф. И.Р. Шегельманом были сформулированы и исследованы сквозные техно-

логические процессы подготовки древесной биомассы для производства щепы целлюлозно-бумажного назначения и др. [2]. Под сквозными технологическими процессами в лесопромышленном комплексе понимают совокупность технологических процессов заготовки, транспортировки и переработки ресурсов биомассы деревьев, увязанных между собой посредством предметов труда на входе и выходе процессов, определяемых используемыми технологиями и оборудованием, а также местами выполнения операций. Под технологическими процессами понимаются процессы обработки или переработки по превращению предмета труда в готовую продукцию [3].

В настоящее время сквозные технологические процессы лесозаготовительного производства и формирование рациональных потоков древесного сырья нельзя рассматривать без учета специфики рыночных отношений и интеграционных процессов в лесопромышленном комплексе [4].

Наиболее важными причинами интеграционных процессов в лесопромышленном комплексе являются: возобновляемость лесных ресурсов и, как следствие, перспективность источника доходов, стабилизация и гибкость сквозных технологических цепочек, включающих заготовку, транспортировку и переработку лесных ресурсов в условиях конкурентной среды, гибкость в управлении финансовыми ресурсами [4].

Особенность интеграции предприятий лесопромышленного комплекса состоит в том, что она охватывает целые технологические комплексы от заготовки лесоматериалов до переработки и реализации продукции из древесины [4]. Интеграция предприятий по технологическому принципу, на основе комплексного использования древесного сырья, с ориентацией на конечный выход конкурентоспособной по цене и качеству продукции высокой степени обработки дает значительный экономический эффект [4].

С учетом специфики работы, в том числе и исходя из вышеуказанных факторов, все большее количество таких лесопромышленных компаний при формировании сквоз-

Размеры деталей опор

Номинальная длина, ( $l_{ном}$ ), м	Тип деталей опор, мм					
	легкие ( $L$ )		средние ( $M$ )		прочные ( $S$ )	
	$D min$	$D min$	$d min$	$D min$	$d min$	$D min$
3,5	140	–	–	–	210	–
4,5	140	–	–	–	210	–
6,5	140	160	160	180	195	210
7,5	140	170	160	190	195	220
8,5	140	180	160	195	195	230
9,5	140	190	160	210	195	240
10,0	140	200	160	215	195	245
11,0	140	210	160	225	195	250
13,0	140	220	160	235	195	260

ных технологических цепочек на этапе лесозаготовок отдают предпочтение комплектам систем машин для сортиментной заготовки древесины [5], которые включают валочно-сучкорезно-раскряжевные машины (харвестеры) или сучкорезно-раскряжевные машины (процессоры), а в перспективе можно ожидать появления валочно-трелевочно-процессорных машин, для заготовки древесины на небольших по площади и запасу древесины лесосеках [6]. В свою очередь, в зависимости от выбранного технологического процесса процессоры могут работать как на лесосеке, так и на верхнем складе, после бензиномоторной пилы или лесозаготовительной машины [7].

Споры о преимуществах и недостатках хлыстовой и сортиментной технологий заготовки древесины ведутся достаточно давно. К преимуществам сортиментной технологии, в частности получения сортиментов у пня, ряд авторов относят в том числе следующие [8]:

– Сортименты, стрелованные в полностью погруженном положении, не загрязняются и не портятся почвой или камнями.

– Возможность доставлять сортименты различных назначений прямо на перерабатывающие их предприятия.

– Малые размеры лесосек, требующие частого перемещения техники с места на место.

Сортиментная технология для лесных холдингов может иметь преимущество перед хлыстовой при следующих условиях [13]:

– ограниченном количестве заготовки сортиментов (не более 3–4);

– поставке рассортированной продукции непосредственно с лесосеки 3–4 потребителям разного профиля.

Традиционная классификация древесного сырья, согласно ГОСТам, применяемым в РФ, разделяет древесные ресурсы на сортименты, основными из которых являются пиловочное сырье, балансы, фанерный кряж, пропс и т.д. В современных условиях многообразии технологий переработки обуславливает возможность использования широкого спектра видов древесного сырья для производства конечного продукта. Например, в Карелии около 20 % пиловочного сырья перерабатывается на предприятиях ЦБК. В свою очередь, лесопильные предприятия устанавливают оборудование для переработки тонкомерной древесины, которая согласно ГОСТам относится к балансам [1]. Такая ситуация оправдывается прежде всего экономической эффективностью, которая во многом определяется расстоянием транспортировки сырья до перерабатывающего предприятия.

Вместе с тем, требования к сырью для мачтопропиточных заводов не дают возможности столь широкого маневра. Например, детали опор изготавливают из сосны 1 и 2 сорта по ГОСТ 9463-88, из комлевой части ствола деревьев. Для деталей опор установлены два требования к диаметру: диаметр в верхнем торце ( $d min$ ) и диаметр на расстоянии 1,5 м от нижнего торца ( $D min$ ) должны быть не меньше указанных в таблице.

Можно утверждать, что в вышеописанных условиях для повышения эффектив-

ности заготовки сырья для мачтопропиточных заводов требуется оптимизация раскроя древесных стволов, выполняемая при помощи харвестера или процессора. Причем, с учетом инвариантности природно-производственных условий, предлагаемый ниже способ оптимизации должен распространяться, прежде всего, на лесосеки, осваиваемые вблизи данного типа предприятий.

Суть предлагаемой оперативной последовательной оптимизации раскроя древесных стволов для деталей опор заключается в следующем [9]: после срезания дерева харвестером или начала обработки процессором производится продольное перемещение ствола. При величине продольного перемещения на расстояние 1,5 м от комлевого среза автоматически включается датчик измерения диаметра ствола  $D_c$  и проверяется выполнение условия

$$D_c - 2\Delta_k \geq D_{\min}, \quad (1)$$

где  $\Delta_k$  – толщина коры, мм.

Если условие (1) выполняется, то производится расчет прогнозируемой длины зоны прочных опорных деталей  $l_{\text{зоны}} + 1,5$  м. В случае, если  $l_{\text{зоны}} + 1,5 \geq l_{\text{ном max}}$ , производится продольное перемещение ствола на величину  $l_{\text{ном max}}$  (максимальная величина номинальной длины опоры, табл. 1) и отпиливание отрезка. После этого остаток ствола снова перемещается на расстояние 1,5 м и процедура оптимизации раскроя-раскряжевки повторяется – выпиливание прочных деталей или деталей опор среднего, а затем легкого типа, с различными значениями  $l_{\text{ном}}$ . Это позволит получать из каждого ствола максимально возможное количество деталей опор.

Толщина коры  $\Delta_{ki}$ , мм, рассчитывается по эмпирической зависимости

$$\Delta_{ki} = a + \epsilon_0(D_i - 100), \quad (2)$$

где  $D_i$  – диаметр ствола на расстоянии 1,5 м от нижнего торца, мм;

$a, \epsilon_0$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от породы дерева: для сосны  $a = 2,8$  мм,  $\epsilon_0 = 0,018$ ; для ели  $a = 3$  мм,  $\epsilon_0 = 0,024$ ; для березы  $a = 2,8$  мм,  $\epsilon_0 = 0,018$ ; для осины  $a = 11,2$  мм,  $\epsilon_0 = 0,072$ .

Величина сбега стволов  $S_i$  в общем виде рассчитывается по формуле

$$S_i = ([D_{(1+i)} - 2\Delta_{k(1+i)}] - [d_{(1+i)} - 2\Delta_{k(1+i)}]) / l_{\text{баз}}, \quad (3)$$

где  $D_{(1+i)}$  – диаметр ствола на расстоянии 1,5 м от плоскости среза, см;

$d_{(1+i)}$  – диаметры отрезков ствола на расстоянии  $l_{\text{баз}}$  от плоскости отрезка, где замерялся  $D_{(1+i)}$ . Здесь  $\Delta_k$  в сантиметрах.

Применительно к производству деталей опор, минимальное значение  $l_{\text{баз min}}$  может равняться 3,5 м, т.е. равняться  $l_{\text{ном min}}$  (табл. 1).

Прогнозируемая расчетная длина зоны деталей опор  $l_{\text{зоны}}$  в метрах рассчитывается по зависимости

$$l_{\text{зоны}} = (D_{(1+i)} - d_{\text{min}(1+i)} - 2\Delta_{k(1+i)}) / S_i, \quad (4)$$

где  $d_{\text{min}(1+i)}$  – минимальные планируемые диаметры верхнего торца деталей опор, см.

Оптимальная схема раскроя ствола зон деталей опор рассчитывается из следующего условия

$$l_{\text{зоны}} - (l_1 + l_2 + \dots + l_i) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $l_1 - l_i$  – номинальные длины отрезков, которые можно выпилить из расчетной зоны ствола.

В случае, если две или более схем раскроя дают одинаковую разницу между длиной зоны и суммой длин деталей, предпочтительнее следует отдавать схеме, в которой длина первой опоры наибольшая.

Объем опор и сумма товарной продукции из каждого ствола могут быть определены по выражению

$$\sum_1^i \text{ТП} = \frac{\pi \left( \frac{D_{k1} + d_{e1}}{2} \right)^2}{4} l_1 \Pi_1 + \frac{\pi \left( \frac{D_{k2} + d_{e2}}{2} \right)^2}{4} l_2 \Pi_2 + \dots + \frac{\pi \left( \frac{D_{ki} + d_{ei}}{2} \right)^2}{4} l_i \Pi_i, \quad (6)$$

где  $D_{k1} - D_{ki}$  – диаметры опор в нижнем отрезе, м,

$d_{e1} - d_{ei}$  – диаметры опор в верхнем отрезе, м,

$l_1 - l_i$  – длины опор, м,

$\Pi_1 - \Pi_i$  – цена за реализацию одного кубометра опор, руб./м<sup>3</sup>.

Оператор харвестера или процессора, выполняющий раскрой-раскряжевку, должен задавать в систему управления параметры деталей опор, учитывать породу, а также пе-

реходить на ручное управление при наличии дефектов или пороков на участках ствола.

В дальнейшем, перед погрузкой заготовок опор на лесовозный транспорт, в теплый период года возможна их подсушка в штабеле на верхнем складе до оптимальной предпропиточной влажности.

Предложенная модернизация технологического процесса лесозаготовительных работ позволит существенно повысить эффективность заготовки сырья для мачтопропиточных заводов, входящих в интегрированные лесопромышленные холдинги.

### Библиографический список

1. Шегельман, И.Р. Лесной бизнес: бизнес-планирование / И.Р. Шегельман, М.Н. Рудаков, П.Е. Мошевикин – Петрозаводск: ПетрГУ, 2006. – 95 с.
2. Шегельман, И.Р. Классификация технологических процессов и систем машин для лесозаготовок / И.Р. Шегельман // Актуальные проблемы лесного комплекса Республики Карелия: науч. труды КРИА № 1. – Петрозаводск, 1988. – С. 46-53.
3. Шегельман, И.Р. Лесная промышленность и лесное хозяйство. Словарь / И.Р. Шегельман – Петрозаводск: ПетрГУ, 2008. – 278 с.
4. Щеголева, Л.В. Модели и методы оптимизации систем машин для сквозных технологических процессов заготовки круглых лесоматериалов: дисс. .... д-ра техн. наук / Щеголева Л.В. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2011. – 284 с.
5. Макаренко, А.В. Многооперационные машины для лесозаготовок и лесохозяйственного производства. Учебник. / А.В. Макаренко, М.А. Быковский – М.: Вектор ТиС, 2009. – 400 с.
6. Будник, П.В. Обоснование технологических решений, повышающих эффективность заготовки сортиментов и лесосечных отходов, на основе функционально-технологического анализа: дисс. ... канд. техн. наук / П.В. Будник – Петрозаводск: ПетрГУ, 2011. – 22 с.
7. Григорьев, И.В. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Технология и машины лесосечных работ. Учебное пособие / И.В. Григорьев, А.К. Редькин, В.Д. Валяжонков, А.В. Матросов – СПб.: ЛТА, 2010. – 330 с.
8. Григорьев, И.В. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. Учебное пособие / И.В. Григорьев, В.Д. Валяжонков. – СПб.: ЛТА, 2009. – 288 с.
9. Куницкая, О.А. Повышение эффективности заготовки сырья для мачтопропиточных заводов при проведении лесосечных работ / О.А. Куницкая, И.И. Тихонов, С.С. Бурмистрова, И.В. Григорьев // Научное обозрение, 2011. – № 4. – С. 78–85.

## ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ПОЗИЦИИ МНОГООПЕРАЦИОННОЙ МАШИНЫ МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА

А.В. ЛАПТЕВ, *асп. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ*

*laptev@mgul.ac.ru*

Основными требованиями процесса валки и обработки деревьев технологическим оборудованием современных многооперационных машин являются направленность валки, валка без повреждения ствола и высокая производительность работ по обрезке сучьев и раскряжевке. Эффективность использования лесозаготовительных машин манипуляторного типа зависит от многих факторов, в том числе от рабочей зоны манипулятора, которая может быть реализована в валочном, валочно-пакетирующем, валочно-сучкорезно-раскряжевочном и других технологических режимах. Геометрические параметры реализуемой рабочей зоны определяются рабочей позицией машины в соответствующем техно-

логическом режиме, то есть местом установки машины относительно дерева или группы деревьев, подлежащих заготовке [1].

На геометрические параметры рабочей зоны существенное влияние оказывают целый ряд факторов, которые можно, с некоторыми допущениями, разделить на три группы.

В первую группу можно объединить факторы, относящиеся к предмету труда – дереву. С одной стороны, необходимо рассматривать предмет труда с точки зрения совокупности деревьев. Это такие факторы, как таксационные показатели древостоя в целом, геометрическое расположение деревьев относительно самой лесозаготовительной ма-

шины и относительно друг друга. С другой стороны, необходимо учитывать факторы, относящиеся к индивидуальным особенностям отдельно взятого дерева, которыми являются форма, размеры, вес дерева, физико-механические свойства прикорневой части ствола, расположение отдельных частей дерева в пространстве.

Во вторую группу следует объединить факторы окружающей среды: температуру воздуха; атмосферные осадки; ветровую нагрузку; сопротивление воздушной среды падению дерева; рельеф местности; почвенно-грунтовые условия. При технологических расчетах одни из этих факторов имеют вполне четкую определенность (например рельеф), другие – такие как атмосферные явления, могут учитываться с той или иной степенью вероятности.

К третьей группе относятся факторы, определяемые техническими параметрами лесозаготовительной машины и выполнением данной машиной комплекса технологических операций. К таким факторам относятся тип базовой машины, ее геометрические и весовые характеристики, компоновка технологического оборудования и его технические характеристики, выбранная технология работы в лесонасаждениях, порядок выполнения операций технологии заготовки и обработки единичного дерева.

Именно факторы третьей группы оказывают наиболее существенное влияние на эффективность работы основного технологического оборудования, а именно манипулятора и рабочего механизма (захватно-срезающего устройства, харвестерной головки и др.) и соответственно многооперационной машины в целом. Оптимизация рабочей зоны манипулятора, образуемой при работе многооперационной машины, является одним из путей повышения ее производительности. С одной стороны, увеличение вылета манипулятора приводит к возрастанию числа деревьев, достигаемых с одной рабочей позиции, повышая тем самым производительность за счет снижения затрат времени на переезд и другие внецикловые затраты времени. С другой стороны, увеличение вылета манипулятора ог-

раничено устойчивостью самой машины [3]. Ограничения, накладываемые поперечной устойчивостью, приводят к снижению значения коэффициента использования манипулятора в поперечном положении и, как следствие, уменьшение ширины разрабатываемой пазеки. Продольная устойчивость выше поперечной, и величина вылета манипулятора в продольном направлении ограничивается его грузовым моментом, который определяет значения коэффициента использования манипулятора в продольном направлении.

Таким образом, размерные нагрузочные характеристики рабочей зоны многооперационной машины находятся в зависимости от сочетания устойчивости машины и грузового момента используемого манипулятора.

Устойчивость машины является изменяемым параметром, находящимся в зависимости от угла поворота манипулятора, его вылета. Способность машины противостоять опрокидыванию зависит от конструктивных параметров машины, а также от действия оператора, управляющего машиной. Условно можно различать собственную и управляемую устойчивость машины: первая зависит от конструктивных параметров машины; вторая – от действий оператора в критических ситуациях (наезд или съезд с препятствия, движения на повороте по склону и т.п.) путем соответствующего изменения скорости движения или положения машины и ее рабочего оборудования. Элементы машины, посредством которых оператор управляет устойчивостью, характеризуют “активную” безопасность машины, так как она реализуется через активные действия оператора. Различают статическую и динамическую устойчивость против опрокидывания. Первая характеризуется равновесным состоянием машины под действием внешних нагрузок, постоянных по значению и направлению [2].

Способность машины сохранять заданное состояние после того, как на нее воздействовали возмущающие силы и моменты, характеризуется динамической устойчивостью. В зависимости от направления опрокидывания различают оси бокового и продольного опрокидывания, которые совместно

образуют опорный контур машины. Опорный контур лесозаготовительной машины имеет форму четырехугольника постоянных или переменных размеров. Последний относится к колесным машинам с шарнирно-сочлененной рамой.

При выполнении технологических операций передняя и задняя полурамы блокируются относительно друг друга и получается опорный контур четырехугольной формы. В случае расположения полурам в одну линию опорный контур принимает вид прямоугольника, стороны которого проходят через центры площадок контакта колес с основанием. Силы, нагружающие машину, образуют относительно осей опрокидывания стабилизирующий момент  $M_{ст}$  и опрокидывающий момент  $M_{опр}$ . Стабилизирующий момент создается вертикальными силами, действующими внутри опорного контура, а опрокидывающий момент – силами, действующими вне опорного контура [4].

Определение значений грузовых моментов в различных положениях манипулятора и для различных значений длин выдвижения манипулятора позволяет определить значение максимального груза, который может поднять манипулятор, и на основании этого строится диаграмма грузоподъемности, основанная на устойчивости машины.

Оценка устойчивости машины характеризуется показателем коэффициента устойчивости,  $\kappa_{уст}$ .

$$\kappa_{уст} = M_{стаб} / M_{опр} = M_{стаб} / (M_{опр} + M_{зп}), \quad (1)$$

где  $M_{стаб}$  – стабилизирующий момент, кН·м;

$M_{опр}$  – опрокидывающий момент, кН·м;

$M_{ман}$  – опрокидывающий момент, создаваемый манипулятором и харвестерной головкой, кН·м;

$M_{зп}$  – грузовой момент, создаваемый обрабатываемым деревом, кН·м;

Если в расчетах опрокидывающего и стабилизирующего момента учитываются все статические и динамические нагрузки, что на практике осуществить сложно, коэффициент устойчивости принимают  $\kappa_{уст} \geq 1,15$ .

Для случая, когда расчеты основываются только на значениях сил тяжести, коэффициент устойчивости должен быть  $\kappa_{уст} \geq 1,4$ .

Из формулы (1) определяем  $M_{зп}$

$$M_{зп} = M_{стаб} / \kappa_{уст} - M_{ман} = M_{стаб} / 1,4 - M_{ман}. \quad (2)$$

Определив грузовой момент  $M_{зп}$ , можно определить максимальный груз  $m_{зп}$ , который может поднять харвестер на разных вылетах и углах поворота манипулятора, приняв во внимание устойчивость машины и конструкцию манипулятора по следующей формуле

$$m_{зп} = M_{зп} / L_{ман} g, \text{ кг} \quad (3)$$

где  $L_{ман}$  – вылет манипулятора, м,

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Для определения удерживающего и опрокидывающего моментов необходимо определить расстояния между приложением нагрузок и осями опрокидывания. Для этого необходимо найти центры тяжести машины и манипулятора с харвестерной головкой.

Имея в виду, что для данного типа машин продольная ось симметрии является продольной осью машины, поперечная координата ее центра масс  $y_x$  должна лежать в этой плоскости. Расчет проводится только для продольной координаты  $x_x$  (ось абсцисс) и вертикальной координаты  $z_x$  (ось аппликата). Отсчет системы координат принимаем от точки соприкосновения передних колес с поверхностью.

Определяем положение центра тяжести харвестера с учетом веса опорной секции манипулятора по формуле

$$x_x = \frac{\sum m_i \times x_i}{m}, \quad (4)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го элемента машины, кг;

$x_i$  – расстояние от начала координат до  $i$ -го элемента машины, м;

$m$  – суммарная масса всех элементов машины, кг.

Определение массы и координат центров тяжести составных частей харвестера при отсутствии подробной конструкторской документации представляет определенные трудности. Поэтому можно воспользоваться данными о весе, приходящемся на заднюю и переднюю полурамы, с учетом веса самой полурамы. Такие данные приводятся изготовителями харвестерной техники в руководствах по эксплуатации харвестером в разделе,

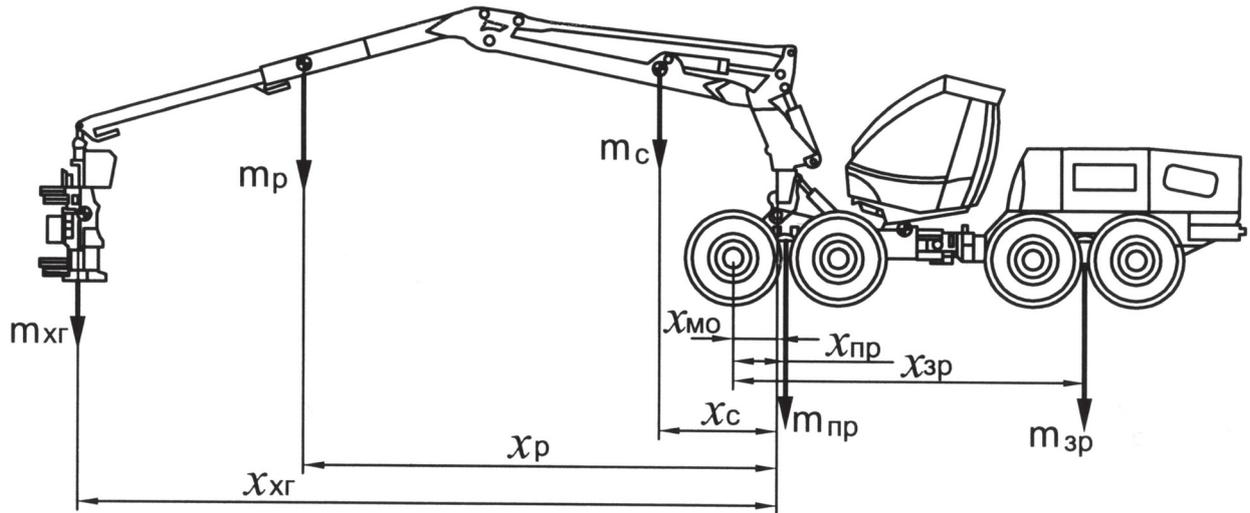


Рис. 1. Расчетная схема сил, действующих на многооперационную машину

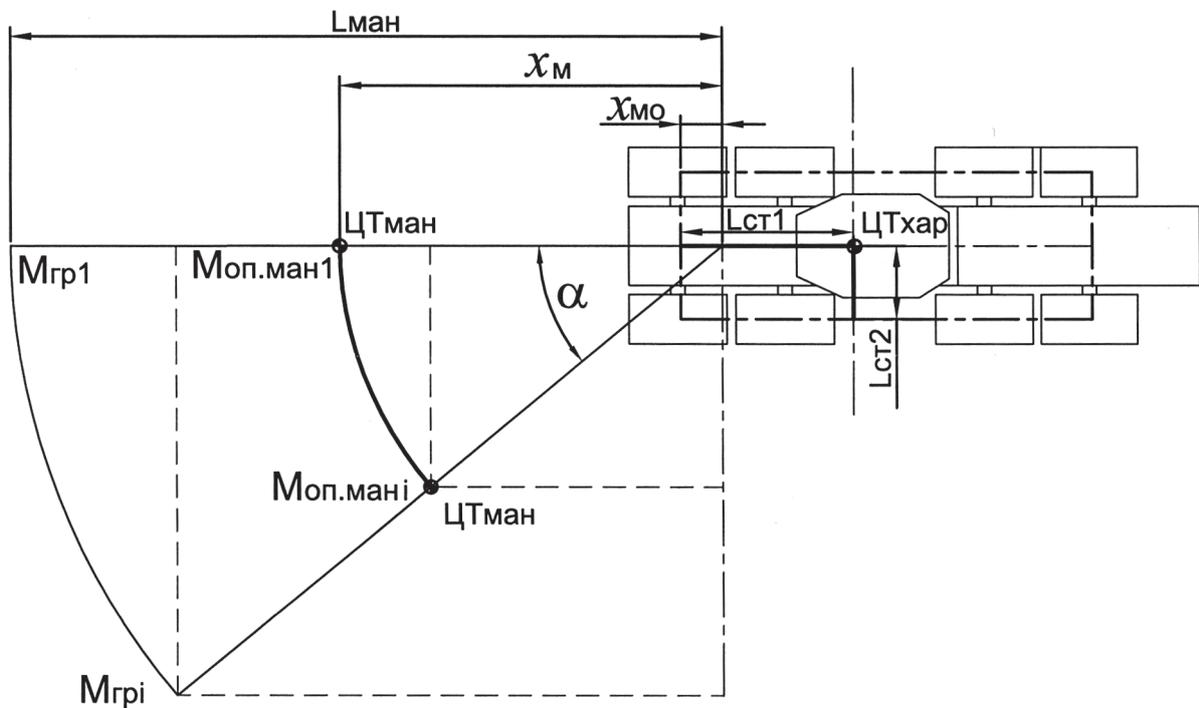


Рис. 2. Схема определения длин плечей для определения опрокидывающих и стабилизирующих моментов

посвященном транспортировке машины и правилам ее фиксации при перевозке согласно распределению весов.

Тогда формулу (4) можно представить в виде

$$x_x = (m_{пр} x_{пр} + m_{зр} x_{зр}) / (m_{пр} + m_{зр}), \quad (5)$$

где  $m_{пр}$  – масса передней полурамы с расположенными элементами и опорной секцией манипулятора, кг;

$m_{зр}$  – масса задней полурамы с расположенными элементами, кг;

$x_{пр}$  – расстояние от начала координат до центра тяжести передней полурамы (рис. 1), м;

$x_{зр}$  – расстояние от начала координат до центра тяжести задней полурамы (рис. 1), м.

Для определения центра тяжести манипулятора относительно точки крепления манипулятора воспользуемся формулой (4)

$$x_m = \frac{m_c x_c + m_p x_p + m_{x2} x_{x2}}{m_c + m_p + m_{x2}}, \quad (7)$$

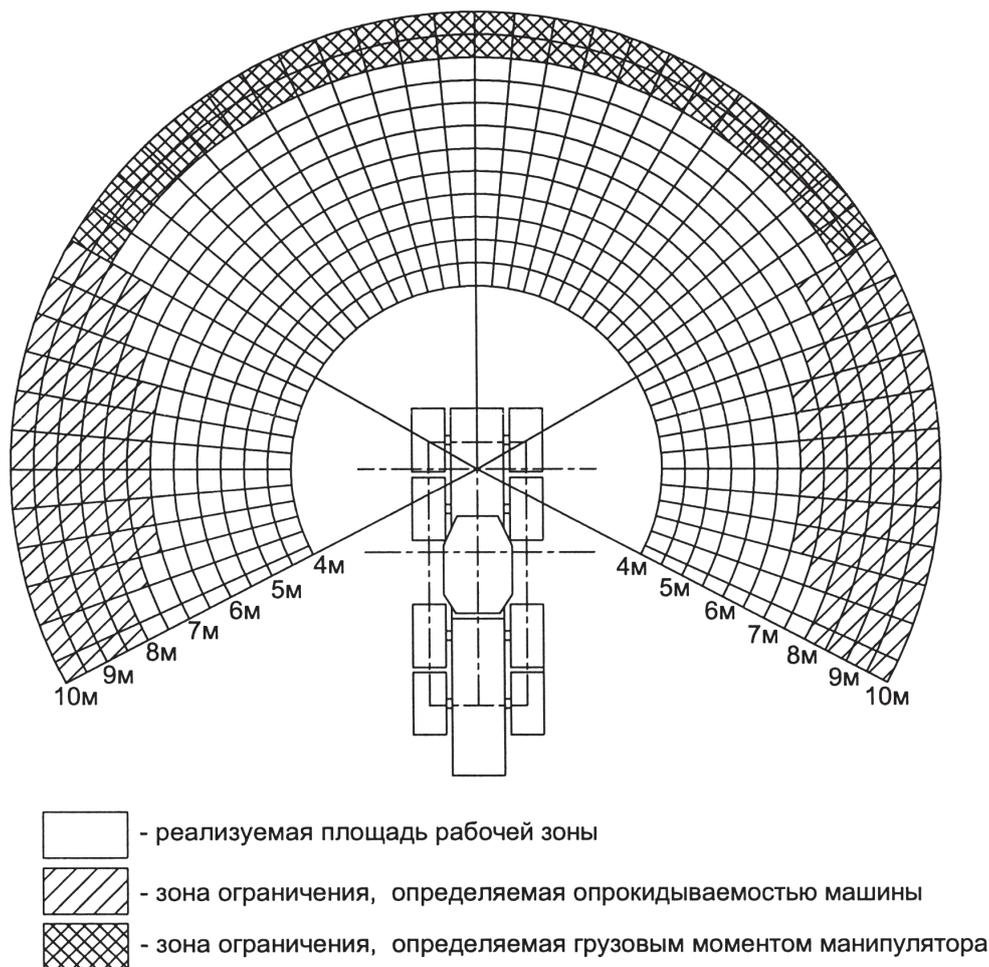


Рис. 3. Общий вид рабочей зоны многооперационной машины с учетом ее устойчивости и грузоподъемности манипуляторного оборудования

где  $m_c$  – масса стрелы манипулятора, кг;  
 $m_p$  – масса рукоятки манипулятора, кг;  
 $m_{xz}$  – масса харвестерной головки, кг;  
 $x_c$  – проекция расстояния от точки крепления манипулятора до центра тяжести стрелы (рис. 1), м;  
 $x_p$  – проекция расстояния от точки крепления манипулятора до центра тяжести рукоятки (рис. 1), м;  
 $x_{xz}$  – проекция расстояния от точки крепления манипулятора до центра тяжести харвестерной головки (рис. 1), м;

Для определения стабилизирующих моментов представим харвестер в виде опорного контура (рис. 2) с размещением на нем центра тяжести и плеч стабилизирующих и опрокидывающих моментов. На рис. 2 изображена половина максимального угла поворота манипулятора. Расстояния  $L_{cr1}$  и  $L_{cr2}$  являются расстояниями от центра тяжести

машины до поперечной и продольной осей опрокидывания (плечами удерживающих моментов относительно этих осей).

Стабилизирующий момент относительно передней поперечной оси опорного контура (момент, удерживающий от продольного опрокидывания) рассчитывается по формуле

$$M_{стаб1} = gm_{хар} L_{cm1} = g(m_{np} + m_{зр})L_{cm1},$$

где  $m_{хар}$  – масса харвестера, кг;

$L_{cm1}$  – расстояние от центра тяжести машины до поперечной оси опрокидывания, м.

Стабилизирующий момент относительно боковой продольной оси опорного контура (момент, удерживающий от поперечного опрокидывания) определяется по формуле

$$M_{стаб2} = gm_{хар} L_{cm2} = g(m_{np} + m_{зр})L_{cm2},$$

где  $m_{хар}$  – масса харвестера, кг;

$L_{cm2}$  – расстояние от центра тяжести машины до продольной оси опрокидывания, м.

Расчет опрокидывающего момента, образуемого манипулятором и харвестерной головкой относительно поперечной оси опрокидывания при различных углах (продольный опрокидывающий момент) поворота, рассчитывается по формуле

$$M_{ман1} = g(m_c + m_p + m_{xz})(x_{ман} - x_{мо}) \cos\alpha$$

где  $m_c$  – масса стрелы манипулятора, кг;  
 $m_p$  – масса рукояти манипулятора, кг;  
 $m_{xz}$  – масса харвестерной головки, кг;  
 $x_m$  – расстояние от оси крепления манипулятора до центра тяжести манипулятора с харвестерной головкой, м;  
 $x_{мо}$  – расстояние от оси крепления манипулятора до поперечной оси опрокидывания машины, м;  
 $\alpha$  – угол поворота манипулятора относительно продольной оси, град.

Опрокидывающий момент манипулятора и харвестерной головки относительно боковой продольной оси опорного контура (поперечный опрокидывающий момент) определяется по формуле

$$M_{ман2} = g(m_c + m_p + m_{xz})(x_{ман} - x_{cm2}) \sin\alpha,$$

где  $L_{cm2}$  – расстояние от центра тяжести машины до продольной оси опрокидывания (рис. 2), м.

Формула (2) определения грузового момента для поперечной оси опрокидывания принимает вид

$$M_{зп1} = \frac{g(m_{np} + m_{зп})L_{cm1}}{1,4} - g(m_c + m_p + m_{xz}) \times \left( \frac{m_c x_c + m_p x_p + m_{xz} x_{xz}}{m_c + m_p + m_{xz}} - x_{мо} \right) \cos\alpha$$

Для продольной оси

$$M_{зп2} = \frac{g(m_{np} + m_{зп})L_{cm2}}{1,4} - g(m_c + m_p + m_{xz}) \times \left( \frac{m_c x_c + m_p x_p + m_{xz} x_{xz}}{m_c + m_p + m_{xz}} - L_{cm2} \right) \sin\alpha$$

По формуле (3) определяем максимальную грузоподъемность при поворотах манипулятора  $\alpha$  и разных длин стрелы  $L_{ман}$  при учете продольной устойчивости

харвестера  $m_{зп1}$  и поперечной устойчивости  $m_{зп2}$ .

$$m_{зп1} = \frac{\frac{(m_{np} + m_{зп}) \times L_{cm1}}{1,4} - (m_c + m_p + m_{xz}) \times \left( \frac{m_c \times x_c + m_p \times x_p + m_{xz} \times x_{xz}}{m_c + m_p + m_{xz}} - x_{мо} \right) \cos\alpha}{L_{ман} \cos\alpha}$$

$$m_{зп2} = \frac{\frac{(m_{np} + m_{зп}) \times L_{cm2}}{1,4} - (m_c + m_p + m_{xz}) \times \left( \frac{m_c \times x_c + m_p \times x_p + m_{xz} \times x_{xz}}{m_c + m_p + m_{xz}} - L_{cm2} \right) \sin\alpha}{L_{ман} \times \sin\alpha}$$

Рассчитав устойчивость харвестера и зная заводские технические характеристики грузового момента манипулятора, можно построить общую диаграмму устойчивости с использованием полученных данных. Диаграмма строится на основе углов поворота манипулятора, длин вылета манипулятора и значений грузоподъемности. Значение грузоподъемности берется наименьшим из полученных расчетов опрокидываемости или номинальных данных, установленных производителем для грузоподъемности манипулятора. Для расчетов был принят харвестер массой 15 т и оснащенный манипулятором с максимальным вылетом 10м и грузовым моментом 188 кНм. Общий вид диаграммы приводится на рис. 3.

Как показывает анализ построенной диаграммы, подняв груз на определенном угле поворота и вылете стрелы, харвестер может не опрокинуться, но грузовой момент может вывести манипулятор из строя. Исходя из этого, в рабочей зоне манипулятора многооперационной машины можно выделить две зоны, в которых существуют ограничения по возможности заготовки деревьев по весовым характеристикам. Первая зона располагается с левой и с правой стороны машины и образуется за счет ограничений, накладываемых поперечной опрокидываемостью относительно боковой продольной оси опорного контура.

Вторая зона занимает часть сектора, образуемого линией максимального вылета манипулятора, на котором манипулятор с харвестерной головкой может обрабатывать

деревья данного древостоя, и линиями, исходящими из точки крепления манипулятора и проходящими через точки пересечения передней поперечной и продольных осей опорного контура. На размеры и конфигурацию обеих зон оказывают влияние параметры древостоя, определяемые его таксационными характеристиками. Таким образом, можно сделать вывод, что коэффициент использования вылета манипулятора в области центрального угла рабочей зоны  $k_{цв}$  определяется весовыми характеристиками деревьев и значением грузового момента манипулятора. Данный коэффициент определяет расстояния переездов машины между рабочими позициями при разработке лесосеки. Коэффициент использования манипулятора в области боковых углов  $k_{об}$  определяется с учетом весовых и геометрических характеристик манипулятора, харвестерной головки, базовой машины, древостоя разрабатываемой лесосеки и устойчивостью

машины. Коэффициент  $k_{об}$  необходимо учитывать при определении ширины пасеки, разрабатываемой многооперационной машиной.

### Библиографический список

1. Аболь, П.И. Машины ЛП-17 и ЛП-19 на лесосечных работах / П.И. Аболь, Г.К. Виногоров. – М.: Лесная пром-сть, 1981. – 64 с.
2. Баринов, К.Н. Проектирование лесопромышленного оборудования / К.Н. Баринов, В.А. Александров. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1988. – 240 с.
3. Герц, Э.Ф. Теоретическое обоснование технологического рубок с сохранением лесной среды (на примере Уральского региона): дисс. ... д-ра техн. наук / Э.Ф. Герц. – Екатеринбург: УГЛТА. – 2004. – 38 с.
4. Ксенович, И.П. Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия / И.П. Ксенович, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. – М.: Машиностроение. 2003. – 743с.
5. Жуков, А.В. Заготовка сортиментов на лесосеке / А.В. Жуков, И.К. Иевень, А.С. Федоренчик, Ю.И. Проворотов и др. – М.: Экология, 1993. – 312 с.

## ИСПЫТАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Д.М. ЛЕВУШКИН, *ст. преп. каф. транспорта леса МГУЛ*

*caf-transport@mgul.ac.ru*

**Ф**изико-механические свойства песчаных асфальтобетонных смесей (АБС) определялись на бетонах, приготовленных на асфальтобетонных заводах Автодора.

Песчаная АБС является наиболее однородным материалом, в котором более отчетливо проявляются особенности взаимодействия битума с минеральным порошком.

Для приготовления АБС был использован песок с модулем крупности 1,76, битум марки БНД 60/90, который характеризовался следующими свойствами: глубина проникновения иглы при 25 °С – 88, глубина проникновения иглы при 0 °С – 24, температура размягчения + 46 °С, растяжимость при 25 °С – 90 см. АБС готовились с неактивированным и активированным фусами известняковым минеральным порошком. Активированный минеральный порошок применялся выдержанный на складе 3 месяца.

Из отобранной асфальтобетонной смеси формовались образцы, по которым были определены физико-механические свойства. В табл. 1 приводятся физико-механические свойства АБС.

Из приведенных данных видно, что применение активированного фусами порошка обеспечивает существенное повышение прочности асфальтового бетона и уменьшение расхода битума.

Образцы из асфальтобетонной смеси с применением активированного минерального порошка подверглись 25 циклам замораживание–оттаивание. Результаты испытаний свидетельствуют о том, что образцы после указанных циклов замораживаний–оттаиваний имеют достаточно высокие прочностные показатели.

Изменяя процессы, происходящие на поверхности битум – минеральный матери-

**Физико-механические свойства песчаных асфальтовых бетонов**

Состав смеси	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Предел прочности при сжатии, МПа при <i>t</i> °С				
				20	20 <sup>вод</sup>	50	0	После 15 сут. водонасыщения
Песок, – 86 %; минеральный порошок известняковый, –14 %; битум марки БНД 60/90, –7 %	2,23	5,14	0,14	1,70	1,50	0,80	7,10	1,10
Песок, – 86 %, минеральный порошок известняковый, активированный (2,5 %) фусов, – 14 %; битум марки БНД 60/90 – 6 %	2,36	3,83	0,00	3,00	2,80	1,20	5,10	2,00
Состав по п.2	После 25 циклов замораживаний–оттаиваний							
	2,30	3,80	0,20	2,10	1,90	0,90	4,10	1,70

**Составы асфальтобетонных смесей**

№ смеси	Состав асфальтобетонных смесей	Содержание, % по массе
1	Щебень из доменного шлака фр. 10–20 мм,	35
	песок из карьера,	53
	минеральный порошок из доменного шлама,	12
	битум марки БНД-90/130	7
2	Щебень из доменного шлака фр. 10–20 мм,	35
	песок из карьера,	53
	минеральный порошок из доменного шлама,	12
	битум марки БНД-90/130, активированный 1 % фусов	6
3	Состав тот же, битум марки БНД-90/130, активированный 2 % фусов	6
4	Состав тот же, битум марки БНД-90/130, активированный 3 % фусов	6
5	Песок из карьера,	82
	минеральный порошок из доменного шлама,	18
	битум марки БНД-90/130	8
6	Песок из карьера,	82
	минеральный порошок из доменного шлама,	18
	битум марки БНД-90/130, активированный 3 % фусов	7

ал, добавки фусов способствуют повышению строительных свойств асфальтобетонных смесей и прежде всего их водостойчивости.

Проведенные исследования показали, что добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ) изменяют структурно-реологические и адгезионные свойства битума в широком интервале температур. При этом изменение механических свойств битумов под влиянием ПАВ основывается на адсорбционном воздействии этих веществ на имеющуюся в битуме структуру. Введение в битум фусов изменяет его структуру. Адсорбируясь на поверхности структурообразующих ком-

понентов битума – асфальтенах, активные фусы могут деструктурировать имеющуюся структурную сетку битума. Фусы, как поверхностно-активные вещества, растворяясь в углеводородах битума, понижают вязкость дисперсной среды и уменьшают количество структурообразующих элементов битума – асфальтенов в единице объема, тем самым оказывая на битум пластифицирующее воздействие.

Для изучения физико-механических свойств асфальтобетонных смесей с разной композицией минеральных материалов с применением битума, активированного фусами,

**Физико-механические свойства АБС, приготовленных в производственных условиях**

№ смеси	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Предел прочности при сжатии, МПа, при t, °С				
				20	20 <sup>год</sup>	50	0	20 <sup>год</sup> <sub>15см</sub>
1	2,28	3,51	0,17	2,70	2,80	0,60	6,00	1,90
2	2,30	3,25	0,10	3,20	3,00	1,20	5,70	2,20
3	2,30	3,87	0,29	2,40	2,20	0,90	4,70	2,20
4	2,17	5,83	0,10	1,50	1,60	0,60	4,40	1,10
5	2,17	7,30	0,58	2,20	2,20	0,60	5,10	1,70
6	2,27	4,49	0,10	2,70	3,00	1,00	4,70	2,10

были изготовлены смеси в производственных условиях.

Производственные исследования были выполнены на шести составах АБС (табл. 2).

На выходе из смесителя отбирались от каждого состава по 10 кг асфальтобетонных смесей и доставлялись в лабораторию для исследования физико-механических свойств.

Фусы, разогретые до температуры 80–100 °С, вводились в состав битума при температуре последнего 140–150 °С. Минеральный материал для мелкозернистой смеси к моменту объединения с битумом нагревался до 110–120 °С, а для песчаного асфальтобетона – до 140 °С. Мелкозернистая асфальтобетонная смесь на выходе из смесителя имела температуру 120–130 °С, а песчаная асфальтобетонная смесь – 130–140 °С.

Физико-механические свойства мелкозернистой и песчаной асфальтобетонных смесей, приготовленных на битуме, активированном 1, 2 и 3 % фусов, и не активированном фусами, приготовленных в заводских условиях, приводятся в табл. 2.

Анализ результатов физико-механических свойств, приведенных в табл. 3, показывает, что асфальтовый бетон, приготовленный на активированном фусами битуме имеет лучшие показатели прочности, кроме образца 4, при всех температурах испытания. При этом лабораторные и производственные исследования показывают, что в случае приготовления асфальтового бетона на шлаковом щебне следует применять битум, активированный одним процентом фусов, а при изготовлении асфальтового бетона на основе природного песка следует битум активировать фусами до 3 % от массы последнего.

Для наиболее полной оценки прочностных свойств асфальтобетона необходимо знать его реологические свойства. Основные реологические свойства для асфальтобетонов 5 и 6 составов определялись по коэффициенту упрочнения – одному из параметров нелинейной реологической модели.

Действующие напряжения выбирались равными 0,1–0,2 от предельной величины (предела прочности). Перед испытанием образцы выдерживались 2 часа под нагрузкой 0,035 МПа для выравнивания геометрических параметров образцов, возникших при формовке. Эта же нагрузка в определенной степени имитирует эксплуатационное состояние материала.

Испытания на ползучесть проводились в течение 40 мин на приборе для уплотнения грунтов перед сдвигом. Было зафиксировано, что мгновенная деформация образцов весьма мала. Поэтому при расчетах упругой составляющей деформации пренебрегали и считали, что  $\varepsilon = \varepsilon_p$ , где  $\varepsilon$  – общая деформация,  $\varepsilon_p$  – пластическая или вязкая составляющая.

В качестве модели исследуемой среды принята упрочняющая модель, которая при постоянном напряжении (что соответствует опыту) имеет решение

$$\varepsilon = (K/m)^m \exp(\sigma_m/A)t^m, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – скорость деформации;

$K, A$  – величины, характеризующие свойства материалов в зависимости от действующего напряжения;

$\sigma_m$  – напряжение, МПа;

$t$  – время, мин.

Начальные условия нулевые, т.е. при  $t = 0$  деформация равна нулю и

$$m = 1/(1 + \alpha), \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент упрочнения.

Показатели коэффициента упрочнения

Время, мин	Абсолютная деформация, мм 10 <sup>-3</sup>			
	Нагрузка, МПа			
	0,1	0,2	0,1	0,2
	Асфальтобетон с добавкой 3 % фусов		Асфальтобетон без добавок фусов (эталонный)	
3	323	564	311	430
6	395	658	379	520
9	439	712	426	578
30	582	869	580	797
40	613	934	623	867
Коэффициент упрочнения	3,07	4,32	2,75	2,71

При  $\alpha = 0$  материал не упрочняется с течением времени при действии нагрузки и при  $\sigma = \text{const}$  зависимость деформации от времени имеет линейный характер. Очевидно, материал с такими свойствами не обладает удовлетворительными эксплуатационными характеристиками, так как за сравнительно небольшое время накопленная деформация в них будет весьма велика, что приведет к разрушению.

Для материалов с большим  $\alpha$ , как видно из уравнения (1), зависимость  $\varepsilon \sim t$  будет иметь все более уменьшающуюся со временем скорость деформации.

Определим параметр  $m$  для каждого уровня напряжений. Прологарифмируем уравнение (1)

$$\ln \varepsilon = m \ln K/m + \sigma_m/A + m \ln t. \quad (3)$$

Введем новые переменные

$$\gamma = \ln \varepsilon; \quad x = \ln t,$$

тогда уравнение (3) представляет собой прямую

$$\gamma = m \ln K/m + \sigma_m/A + mx. \quad (4)$$

Методом наименьших квадратов, приближая теоретическую прямую к экспери-

ментальной, получаем значения  $m$ . Расчет произведен на ЭВМ. Коэффициент упрочнения находим из формулы (2)

$$\alpha = 1/m - 1. \quad (5)$$

Результаты исследования представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что коэффициент упрочнения у асфальтового бетона с добавкой фусов выше, чем у эталонного. Наблюдается также, что с ростом напряжения коэффициент упрочнения у асфальтобетонного материала с фусами растет быстрее, чем без фусов.

На основании изложенного можно сделать вывод об определенном прочностном преимуществе асфальтового бетона с добавкой фусов.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – М.: Стандартинформ. – 2010.
2. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 35 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ

А.В. ЛЕДНИЦКИЙ, зав. каф. экономики и управления на предприятиях Белорусского ГТУ,  
канд. экон. наук

ledniz@inbox.ru

В настоящее время в Республике Беларусь создана новая система снабжения энергетических объектов древесным топливом, требующая ресурсного и финансового обеспечения. Разработаны отечественные маши-

ны и оборудование, технологии, выбраны наиболее целесообразные формы организации производства. Сегодня все усилия направлены на снижение себестоимости производства древесного топлива и повышение его конку-

рентоспособности по отношению к ископаемым видам топлива путем формирования наиболее эффективных систем машин, оптимизации расположения складов и решения задач логистики доставки топлива. Решение данной задачи требует хорошего информационного обеспечения, выполнения многовариантных технико-экономических расчетов, поиска принципиально новых технических, технологических и организационно-управленческих методов.

### Сырьевой потенциал производства щепы

Основными разновидностями древесного сырья, вовлекаемыми в процесс производства топливной щепы, в Республике Беларусь являются: отходы лесозаготовок по рубкам главного и промежуточного пользования; отходы цехов лесопиления и цехов деревообработки; низкокачественная неделовая (дровяная) древесина. При этом основной удельный вес потребляемого сырья приходится на низкокачественную дровяную древесину. Отходы лесопиления и деревообработки в основном используются для производства пеллет. Отходы лесозаготовок по ряду причин не находят должного применения.

### Технологические процессы производства топливной щепы

Сформированный парк машин и оборудования предприятий лесного комплекса Республики Беларусь позволяет реализовать ряд технологических процессов лесозаготовок с производством топливной щепы в условиях лесосеки, промежуточных и межсезонных складов. Однако, как показывает накопленный отечественный опыт, наибольшее распространение в природно-производственных условиях страны получил технологический процесс производства и поставки топливной щепы потребителю с использованием промежуточного склада (рис. 1).

### Формирование систем машин для производства топливной щепы

Для бесперебойного снабжения энергетических объектов топливной щепой из низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок были сформированы системы машин (СМ) трех уровней мощности:

- с годовым объемом производства топливной щепы 5–10 тыс. пл. м<sup>3</sup> для обеспечения энергетических объектов с установлен-

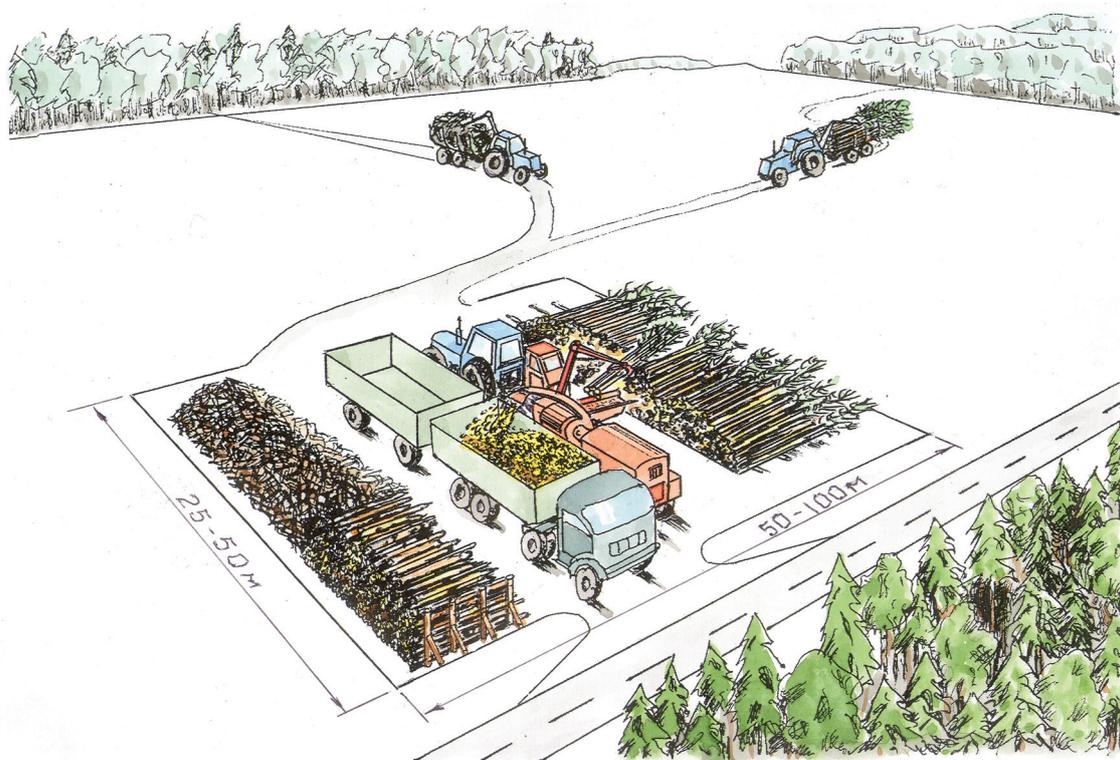


Рис. 1. Технологическая схема работы промежуточного склада для производства топливной щепы

**Капитальные вложения на формирование систем машин для производства топливной щепы из низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок**

№ системы машин	Состав системы машин	Суммарные капиталовложения, евро
объем производства топливной щепы 5–10 тыс. пл. м <sup>3</sup> /год		
1.1	МТЗ-1221 + МР-25 (от ВОМ) + 2 МАЗ-5433 + 2 САТ-105	221 252
1.2	2 МПТ-461.1 + МТЗ-1221 + «Farmi» СН 260 CF (от ВОМ) + 2 МАЗ-5433 + 2 САТ-105	200 699
1.3	2 МПТ-461.1 + МТЗ-82.1 + Biber 5 (с авт. двиг.) + 2 МАЗ-5433 + 2 САТ-105	198 403
объем производства топливной щепы 11–30 тыс. пл. м <sup>3</sup> /год		
2.1	3 МПТ-461.1 + МТЗ-1221 + МР 40 (с авт. двиг.) + 3 МАЗ-5433 + 3 САТ-105	386 929
2.2	3 МПТ-461.1 + МТЗ-1221 + Jenz 420D (с авт. двиг.) + 3 МАЗ-5433 + 3 САТ-105	481 227
2.3	Амкодор 2902 (от двиг. форвар.) + 2 Мультилифт МАЗ-6501А3	312 846
2.4	3 МПТ-461.1 + 3 МАЗ-6303 (с манип.) + 3 МАЗ-83781 + МРН-40-1 (стац.) + Амкодор-342 С + МТЗ-82.1 + ПС-30	525 080
2.5	3 МПТ-461.1 + 3 МАЗ-6303 (с манип.) + 3 МАЗ-83781 + «Foresteri» С4560LF (стац.) + Амкодор-342 С + МТЗ-82.1 + ПС-30	559 916
объем производства топливной щепы 31 и более тыс. пл. м <sup>3</sup> /год		
3.1	2 пакетировщика Timberjack 1490D + 4 МЛ-131 + МТЗ-1221 + Bruks 1512 СТ + 3 МАЗ-5433 + 3 САТ-105 + 2 МАЗ-6501А5 + 2 МАЗ-857102	1 748 722
3.2	4 МПТ-461.1 + МЛ-131 + Jenz 561R (от двиг. автомоб.) + 3 МАЗ-5433 + 3 САТ-105 + 2 МАЗ-6501А5 + 2 МАЗ-857102	826 325

ной тепловой мощностью 0,2–4 МВт Министерства жилищно-коммунального хозяйства, Министерства образования, Министерства здравоохранения и других ведомств и организаций (СМ № 1.1–1.3);

– с годовым объемом производства топливной щепы 11–30 тыс. пл. м<sup>3</sup> для обеспечения энергетических объектов с установленной тепловой мощностью 4–10 МВт Министерства жилищно-коммунального хозяйства и других ведомств и организаций (СМ № 2.1–2.5);

– с годовым объемом производства топливной щепы 31 и более тыс. пл. м<sup>3</sup> для обеспечения энергетических объектов с установленной тепловой мощностью свыше 10 МВт и электрической 1 МВт и более Министерства жилищно-коммунального хозяйства, Министерства энергетики (СМ № 3.1–3.2).

Капитальные затраты на приобретение систем машин, обеспечивающих сбор, заготовку, транспортировку, измельчение древесного сырья в топливную щепу и поставку ее

потребителю из низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок представлены в табл. 1.

**Оценка экономической эффективности производства топливной щепы**

Эффективность производства топливной щепы определена с использованием разработанных методических подходов, изложенных в [1]. Результаты выполненной оценки эффективности производства топливной щепы из низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок на 01.02.2011 представлены в табл. 2.

Анализ табл. 2 позволяет сделать вывод о том, что производство топливной щепы из дровяной древесины и отходов лесозаготовок в условиях лесосеки и промежуточного склада с использованием мобильных систем машин № 1.1–1.3 выгодно. При этом более эффективной оказалась система машин № 1.1, сформированная на базе прицепной барабанной рубильной машины отечественного про-

**Показатели экономической оценки эффективности производства топливной щепы из дровяной древесины и отходов лесозаготовок**

Наименование показателей	Система машин									
	№ 1.1	№ 1.2	№ 1.3	№ 2.1	№ 2.2	№ 2.3	№ 2.4	№ 2.5	№ 3.1	№ 3.2
Рентабельность производства щепы, %	12,6	9,5	10,5	20,1	19,4	9,8	0,0	0,0	10,3	33,9
Производство щепы из отходов лесозаготовок										
Полная себестоимость 1 м <sup>3</sup> щепы, евро/пл. м <sup>3</sup>	13,6	18,3	17,9	15,3	15,2	13,2	15,6	15,8	13,9	16,5
Отпускная цена 1 м <sup>3</sup> щепы без НДС, евро/пл. м <sup>3</sup>	15,4	20,3	20,0	18,6	18,4	14,6	15,7	16,0	15,5	22,4
Производство щепы из дровяной древесины										
Полная себестоимость 1 м <sup>3</sup> щепы, евро/пл. м <sup>3</sup>	13,6	13,5	13,4	12,5	12,6	14,1	15,6	15,8	13,9	10,9
Отпускная цена 1 м <sup>3</sup> щепы без НДС, евро/пл. м <sup>3</sup>	15,5	15,0	15,0	15,2	15,2	15,6	15,7	16,0	15,5	14,7
Смешанное производство щепы из дровяной древесины и отходов лесозаготовок										
Полная себестоимость 1 м <sup>3</sup> щепы, евро/пл. м <sup>3</sup>	13,6	14,0	13,9	12,8	12,9	14,0	15,6	15,8	13,9	11,5
Отпускная цена 1 м <sup>3</sup> щепы без НДС, евро/пл. м <sup>3</sup>	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,7	16,0	15,5	15,5
Чистая прибыль, тыс. евро/год	11,5	8,7	9,6	53,7	51,9	28,3	-2,2	-2,3	40,8	122,2
Амортизация, тыс. евро/год	28,1	22,8	22,4	47,1	60,5	42,8	78,3	84,8	252,6	102,3
Период возврата по среднему значению дохода, лет	5,7	6,5	6,3	3,9	4,3	4,5	7,1	7,0	6,1	3,7
Удельный дисконтированный доход, евро/пл. м <sup>3</sup>	-0,2	-0,5	-0,4	0,7	0,5	0,3	-0,6	-0,6	-0,7	1,0

изводства типа «Беларус МР-25» с приводом от вала отбора мощности трактора МТЗ-1221, производства РУП «МТЗ». В данной системе машин уровень рентабельности производства щепы по сравнению с системами машин № 1.2 и 1.3 выше примерно на 26,6 %, чистая прибыль – на 25,7 %, а период возврата капитала меньше на 11 %. Высокая эффективность объясняется использованием рубильной машины с барабанным механизмом резания, что обеспечивает более высокую производительность. Среди систем машин, сформированных на базе дисковых рубильных машин, более эффективной оказалась система машин № 1.3, использующая рубильную машину с автономным двигателем. Так, себестоимость топливной щепы для системы машин № 1.3 ниже на 1% и период возврата капитала на 2,8 % меньше по сравнению с системой машин № 1.2.

Использование мобильных систем машин № 2.1–2.3 выгодно. При этом наиболее эффективными оказались системы машин

№ 2.1 и 2.2 (рис. 2), сформированные на базе мобильных прицепных рубильных машин барабанного типа с приводом от автономного двигателя «Беларус МР-40», производства РУП «МТЗ» и НЕМ 420 D производства немецкой фирмы «Jenz». Система машин № 2.3, сформированная на базе самоходной рубильной машины «Амкодор 2902», изготовленной на базе форвардера, и автощеповоза МАЗ-6501А3 с системой мультилифт, оказалась недостаточно эффективной. Так, значение себестоимости производства топливной щепы для нее по сравнению с системами машин № 2.1 и 2.2 выше на 9 %, а период возврата капитала – на 8,5 %. Применение системы машин № 2.3 наиболее эффективно при расстояниях вывозки до 30 км и преобладании в течение смены времени на погрузку-разгрузку. Системы машин № 2.4 и 2.5, сформированные на базе стационарных рубильных машин дискового и барабанного типов, в заданных условиях эксплуатации оказались экономически



а

б

в

Рис. 2. Система машин №2.2: а – погрузочно-транспортная машина МПТ-461.1; б – барабанная передвижная рубильная машина МТЗ-1221 + НЕМ 420 D; в – автощеповоз МА3-543302-222 + CAT-105



а

б

в

Рис. 3. Система машин №3.1: а – прессователь-пакетировщик Timberjack 1490 D; б – форвардер МЛ-131; в – барабанная рубильная машина Bruks 1512 СТ; автощеповоз МА3-543302+CAT-105



а

б

в

Рис. 4. Система машин № 3.2: а – форвардер МЛ-131; б – самоходная передвижная барабанная рубильная машина НЕМ 561 R; в – автощеповоз МА3-543302-222 + CAT-105

неэффективными. Об этом свидетельствуют: рентабельность – 0%, отпускная цена 23–24 евро/пл. м<sup>3</sup> – выше предельных цен в расчетах по республике, период возврата капитала – превышающий нормативный срок службы ведущего оборудования.

Анализ использования систем машин № 3.1–3.2 свидетельствует о высокой экономической эффективности. Так, система машин № 3.1 (рис. 3), сформированная на базе прессователя-пакетировщика рыхлого сырья (лесосечных отходов) Timberjack 1490D и мобильной рубильной машины барабанного типа Bruks 1512 СТ, обеспечивает весьма

эффективное производство топливной щепы из отходов лесозаготовок. Об этом свидетельствуют: рентабельность 10,34 %, отпускная цена в диапазоне предельных цен в республике и период возврата капитала (6,09 года) в пределах нормативного срока службы ведущего оборудования. Вместе с тем система машин № 3.1 отличается высокой капиталоемкостью (1,75 млн евро) и ее применение будет эффективно только в случае переработки значительных объемов отходов лесозаготовок (от 30 и более тыс. пл. м<sup>3</sup>/год).

Система машин № 3.2 (рис. 4), сформированная на базе мобильной рубильной

машины барабанного типа на автомобильном шасси НЕМ 561R фирмы «Jenz», отличается высокой экономической эффективностью. Ее использование обеспечивает производство топливной щепы с рентабельностью в среднем 33,85 %, получение чистой прибыли в размере 122,2 млн евро в год и период возврата капитала в течение 4 лет. Себестоимость производства щепы для системы машин № 3.2 по сравнению с лучшими аналогами, системами машин № 2.1 и 2.2, ниже на 10,6 %, а период возврата капитала – на 8,9 %. Система машин № 3.2 рекомендуется к использованию при значительных объемах производства (более 30 тыс. пл. м<sup>3</sup>/год) и большой децентрации измельчаемого сырья.

Рост объемов производства топливной щепы позволяет снизить удельные затраты на содержание и эксплуатацию оборудования и заработную плату с начислениями. Поэтому организовывать производство топливной щепы выгодно при годовом объеме производства не менее 7 тыс. пл. м<sup>3</sup>.

Для измельчения низкокачественной древесины, отходов лесозаготовок на топливную щепу могут эффективно применяться как мобильные, так и стационарные рубильные машины, с дисковым и барабанным механизмом резания. В этой связи окончательное решение о формировании и приобретении той или иной системы машин должно приниматься с учетом конкретных природно-производственных ус-

ловий исходя из разработки соответствующего технико-экономического обоснования.

### Заключение

1. В Беларуси, где непрерывно возрастает лесосырьевой потенциал страны, где начат массовый перевод котлов с российского газа и мазута на местное древесное топливо, где формируется школа собственного лесного машиностроения, оценка экономической эффективности использования древесного биосырья для энергетических целей представляется весьма актуальной.

2. Накопленный отечественный опыт свидетельствует: проекты по использованию древесного топлива требуют скрупулезной экономической проработки. Ибо они могут оказаться как высокорентабельными, так и глубоко убыточными. Причем приобрести готовые технологии производства древесного топлива не удастся. Слишком много факторов влияет на эффективность его производства.

### Библиографический список

1. Ледницкий, А.В. Методические подходы к оценке экономической эффективности производства древесного топлива / А.В. Ледницкий // Тр. БГТУ. Сер. VII. Экономика и управление. – Минск, 2010. – Вып. XVIII. – С. 122–126.
2. Федоренчик, А.С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / Монография / А.С. Федоренчик, А.В. Ледницкий. – Минск: БГТУ, 2010. – 446 с.

## ПРОГРАММНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ

А.В. МАКАРЕНКО, доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук

*makarenko@mgul.ac.ru*

Расположение магистральных и пасечных трелевочных волоков на территории лесосеки или делянки во многом определяет режим работы лесозаготовительных машин, последовательность и маршрут их передвижения, взаимосвязь и взаимовлияние машин в системе друг на друга, а также характер воздействия технологического процесса ле-

созаготовок на лесорастительные условия. Воздействие на лесорастительные условия принято разделять на [3]: воздействие на почво-грунты, на оставляемые деревья (повреждения корневой системы, ствола и кроны) и повреждения подроста (при предварительном лесовозобновлении). Дополнительно к этим факторам можно отнести также количество,

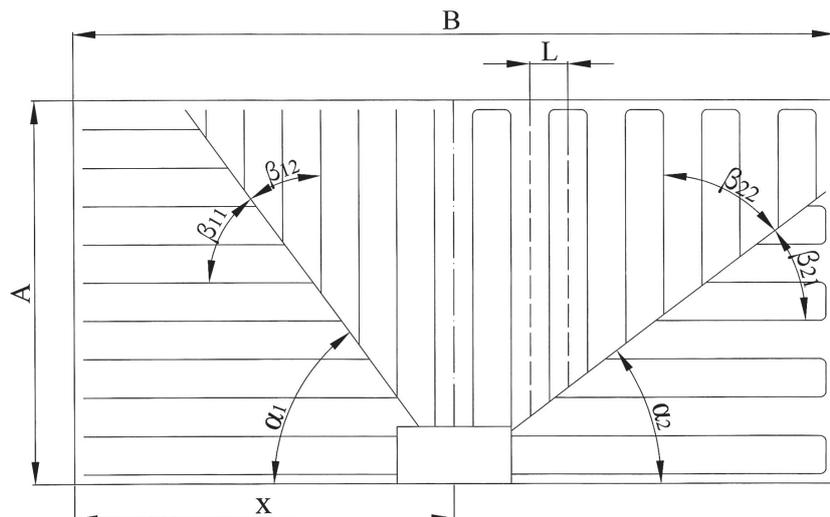


Рис. 1. Система основных параметров сети волокон, определяющих ее структуру

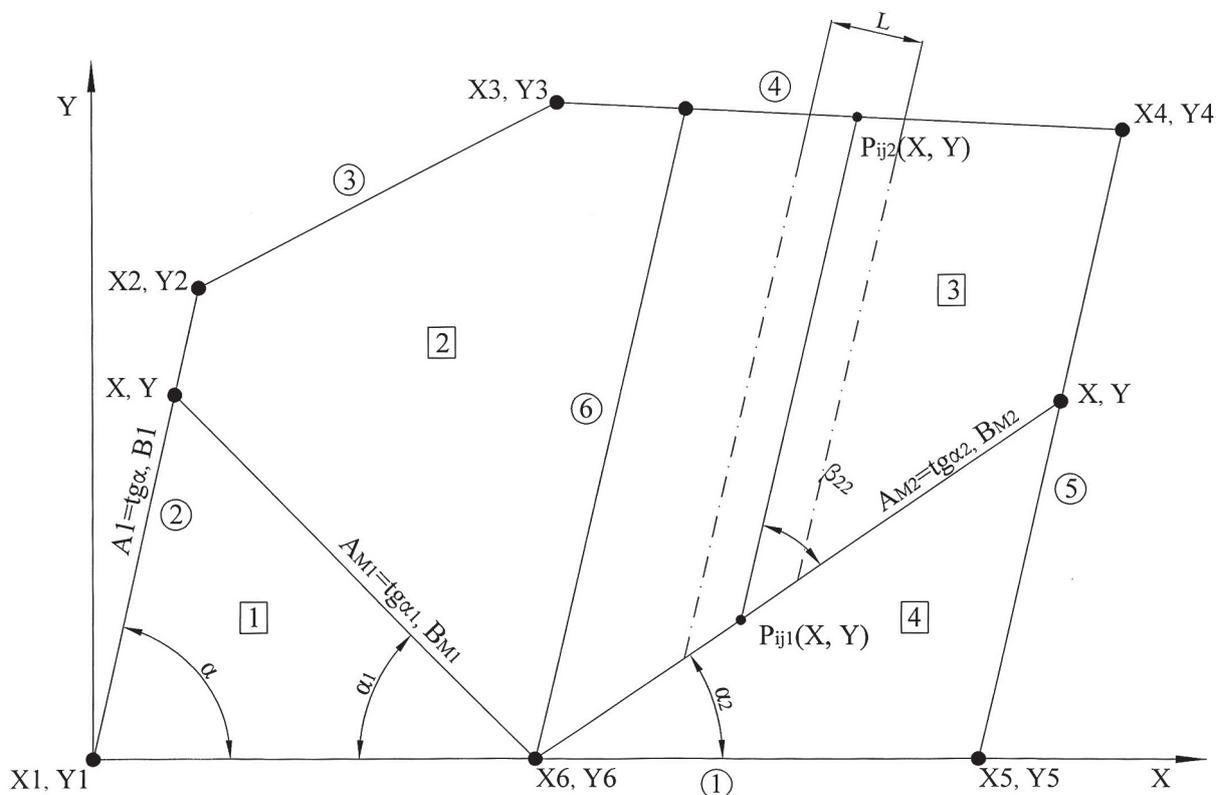


Рис. 2. Координатная разметка границ лесосеки, магистральных и пасечных волокон:  $A_1, A_{M1}, A_{M2}$  – коэффициенты (тангенсы углов наклона) и  $B_1, B_{M2}, B_{M2}$  – свободные члены линейных уравнений границ лесосек и магистральных волокон; цифры в кружках – номера границ лесосеки и центральной линии

состояние и места скопления порубочных остатков.

Перед проектированием схемы трелевочных волокон на лесосеке вначале определяются исходные данные или ограничения, которыми являются: конфигурация лесосеки и находящихся на ней неразрабатываемых участков, ширина пасеки (расстояние между

пасечными волоками), место примыкания к лесосеке (делянке) лесовозного уса, а также особенности эксплуатации предполагаемой к применению системы машин. Для последнего определяется набор жестких и желательных ограничений, характеризующих передвижение машин по территории лесосеки, способа валки деревьев, места складирования древе-

сины и др. Так, машины фронтального действия (манипуляторные ВПМ и харвестеры) передвигаются во время работы челночным способом, образуя сеть замкнутых волоков. При этом тупиковые волока не рекомендуются для избежания холостых возвратных ходов и передвижения машины по одному месту несколько раз. Тупиковые волока, при необходимости, рекомендуется делать не более 50 м. Использование на валке деревьев других машин и механизмов (например бензиномоторных пил) может выставлять и другие требования. Критериями эффективности проектной схемы прокладки волоков являются: среднее расстояние трелевки, суммарная грузовая работа трелевочных тракторов, интенсивность эксплуатации волоков в целом и проложенных на грунтах с низкой несущей способностью в частности, степень извилистости волоков и др.

Для проектирования сети трелевочных волоков и ее оценки по заданным критериям необходимо выделить набор непрерывно изменяемых параметров, с помощью которых можно было бы однозначно описать всю сеть волоков на данной лесосеке или делянке. На рис. 1 представлена лесосека (делянка) с указанием основных параметров, определяющих структуру сети волоков: место расположения погрузочного пункта  $X$  как центра схождения магистральных волоков, углы наклона магистральных волоков  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , которые в общем виде могут быть не равны, углы наклона пасечных волоков к магистральным  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{21}$ ,  $\beta_{22}$ . Расстояние между волоками (ширина пасеки)  $L$  и габариты лесосеки  $A$  и  $B$  являются исходными данными или ограничениями, которые в процессе проектирования изменяются.

Перед программным проектированием сети трелевочных волоков существует необходимость в приведении исходных данных по конфигурации лесосеки в удобную для расчетов форму. Для этого определяются координаты углов сторон лесосеки в какой-либо системе отсчета и параметры линейных уравнений, математически описывающих стороны лесосеки. На рис. 2 представлена схема лесосеки произвольной выпуклой (без углов

обращенных внутрь) формы, у которой ось  $X$  проведена вдоль нижней (базовой) стороны лесосеки, ось  $Y$  направлена вертикально вверх. Каждая сторона  $i$  лесосеки описывается набором значений, который включает: координаты начала и конца стороны ( $X_i$ ,  $Y_i$ ;  $X_{i+1}$ ,  $Y_{i+1}$ ), ее длину, угол и тангенс угла наклона ( $A_i$ ) стороны к оси  $X$ , свободный член линейного уравнения стороны лесосеки  $B_i$ .

Математическое описание магистральных волоков соответствует описанию сторон лесосеки с той лишь разницей, что их угол и, соответственно, тангенс угла наклона будут меняться в определенном пределе и с определенным шагом. Начальная точка каждого магистрального волока берется в центре погрузочного пункта от базовой стороны лесосеки, а конечная рассчитывается для каждого положения магистрального волока как его пересечение с одной из сторон лесосеки. В связи с тем, что заранее неизвестно, с какой из сторон лесосеки пересечется рассматриваемый магистральный волок, расчет ведется для каждой из сторон, пока не будет найдено нужное значение. При использовании условного цикла, работающего до условия, когда одна из координат точки пересечения окажется между значениями координат начала и конца проверяемой стороны лесосеки, работу процедуры поиска нужного значения можно представить в виде

$$\begin{aligned} A_M &= \operatorname{tg} \alpha_M \\ B_M &= Y_6 - A_M X_6 \\ \text{Do} \\ i &= i + 1 \\ X_{Mi} &= (B_M - B_i) / (A_i - A_M) \\ Y_{Mi} &= A_M X_{Mi} + B_M \quad (1) \\ \text{Loop Until } Y_i &\leq Y_{Mi} \text{ and } Y_{Mi} \leq Y_{i+1} \\ L_M &= \sqrt{(X_{Mi} - X_6)^2 + (Y_{Mi} - Y_6)^2}, \end{aligned}$$

где  $X_{Mi}$  и  $Y_{Mi}$  – координаты точки пересечения магистрального волока с одной из сторон лесосеки;

$L_M$  – длина магистрального волока;

$i$  – номер стороны лесосеки.

Если на лесосеке предполагается расположить два магистральных волока, как на рис. 2, то указанная процедура повторяется дважды.

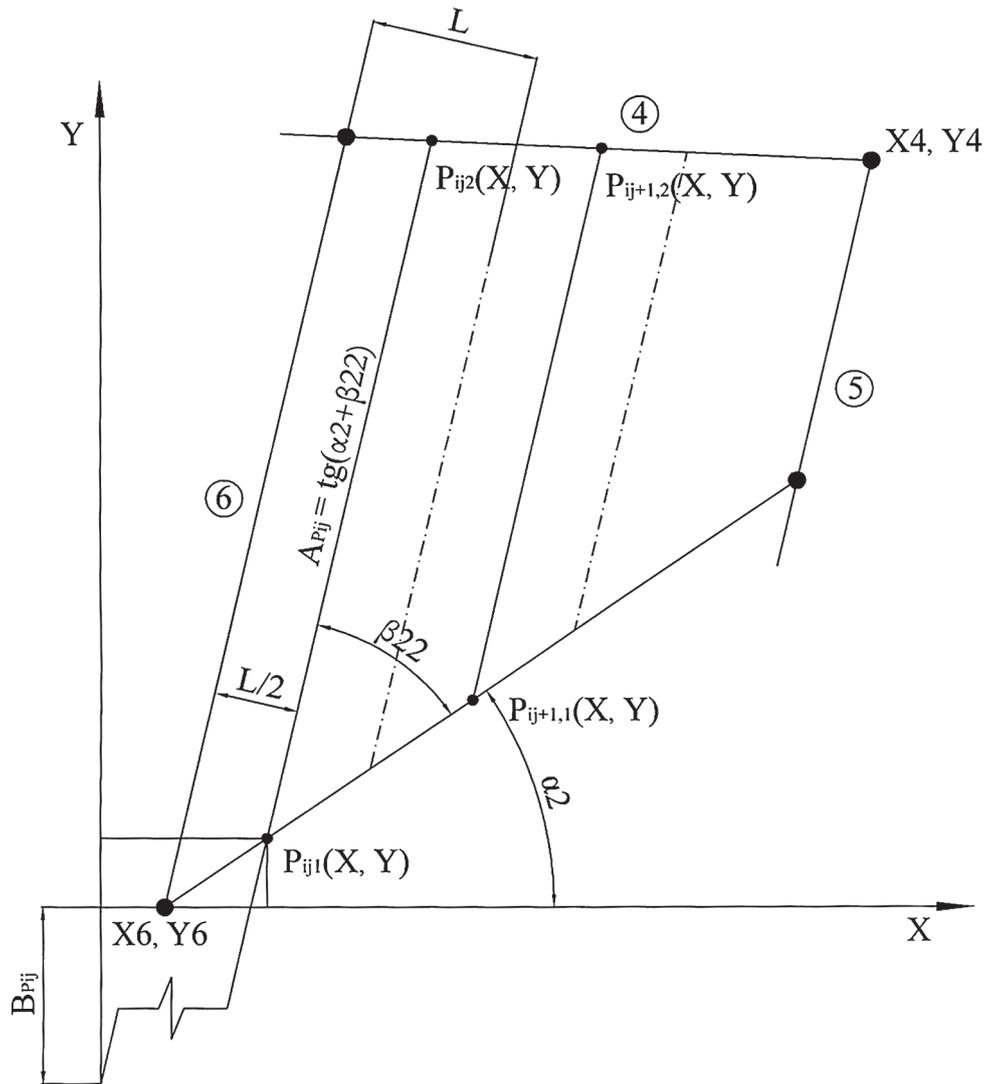


Рис. 3. Координатная разбивка однородного участка на пасечные волока

Следующий шаг заключается в выборе расположения и расчете набора пасечных волоков. При выборе расположения необходимо учитывать следующее: вся доступная территория лесосеки должна быть охвачена сетью волоков, пасечные волока, расположенные по одну сторону магистрального, должны быть параллельны друг другу, габариты лесосеки могут быть не кратны ширине пасек. Для удобства проектирования волоков лесосека (делянка) разбивается на отдельные однородные участки, которые можно определить как территорию лесосеки, тяготеющую к одному магистральному волоку и расположенную с одной его стороны.

Проектирование пасечных волоков начинается от одной из сторон однородного участка, к которой примыкает пасечный во-

лок, и с отступлением от этой стороны на половину ширины пасеки. На рис. 3 представлен один из однородных участков лесосеки, приведенной на рис. 2, для примера рассмотрения методики проектирования и расчета пасечных волоков. Координаты первой точки первого пасечного волока, расположенной на магистральном волоке, определяются из выражений

$$P1(X) = X_6 + \frac{L \cos \alpha_2}{2 \sin \beta_{22}}$$

$$P1(Y) = Y_6 + \frac{L \sin \alpha_2}{2 \sin \beta_{22}}. \quad (2)$$

Для нахождения второй точки пасечного волока необходимо определить коэффициенты его линейного уравнения. Исходя из чертежа и координат первой точки волока, коэффициенты уравнения имеют вид

$$\begin{aligned} A_{P1} &= \operatorname{tg}(\alpha_2 + \beta_{22}) \\ B_{P1} &= P1(Y) - A_{P1} P1(X). \end{aligned} \quad (3)$$

Как и при проектировании магистральных волоков, для пасечных волоков также заранее неизвестно, на какой именно границе однородного участка окажется его окончание (вторая точка). В связи с этим расчет точки  $P2(X, Y)$  проводится с применением процедуры (1).

Построение и расчет последующих волоков производится на основании параметров первого волока, параллельно ему и с отступом по магистральному волоку на заданную ширину пасеки. Расчет пасечных волоков организуется последовательно с использованием условного цикла, ограничением в работе которого является условие, чтобы координата  $X1$  первой точки волока не превосходила значения координаты  $X_M$  последней точки магистрального волока. Процедура расчета выглядит следующим образом

$$\begin{aligned} &j = 1 \\ \text{Do While } &P_{ij1}(X) + L \frac{\cos \alpha 2}{\sin \beta 22} \leq X_{M2} \\ &j = j + 1 \\ P_{ij1}(X) &= P_{j-1,1}(X) + L \frac{\cos \alpha 2}{\sin \beta 22} \\ P_{ij1}(Y) &= P_{j-1,1}(Y) + L \frac{\sin \alpha 2}{\sin \beta 22} \\ A_{Pij} &= A_{P1} \\ B_{Pij} &= B_{P1} - \frac{L}{\cos(\alpha 2 + \beta 22)} \\ &\text{процедура (1), } P_{ij2}(X, Y) \\ &\text{Loop} \end{aligned} \quad (4)$$

После проектирования пасечных волоков для каждого однородного участка лесосеки и определения числа пасек рассчитывается суммарная длина всех волоков

$$L_B = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sqrt{\left( (P_{ij1}(X) - P_{ij2}(X))^2 + (P_{ij1}(Y) - P_{ij2}(Y))^2 \right)} + \sum_M^{Mm} L_M,$$

где  $k$  – число однородных участков при разделении лесосеки;

$n$  – число пасек по каждому участку;

$Mm$  – число магистральных волоков;

$P_{ij1}(X), P_{ij1}(Y)$  – координаты точек начала и конца пасечных волоков  $i$ -го однородного участка  $j$ -ой пасеки.

При установлении ширины волоков для конкретной системы лесозаготовительных машин можно определить общую площадь, занимаемую волоками

$$S_B = L_B h_B,$$

где  $h_B$  – установленная ширина волока.

На основании изложенной методики были произведены расчеты для лесосеки, представленной на рис. 2, при следующих общих условиях. Лесосека была разделена на две части центральной линией, проходящей через середину базовой стороны лесосеки (стороне, к которой примыкает лесовозной ус) и центром тяжести фигуры лесосеки. Смежные углы, образуемые центральной линией с базовой стороной лесосеки, были разделены на 13 частей, которые последовательно, для каждого варианта расчета, занимали магистральные волоки. Таким образом, для первого варианта магистральные волоки занимали положение параллельное базовой стороне лесосеки, для последующих вариантов – промежуточное положение с определенным углом наклона, соответствующим номеру варианта, в последнем варианте магистральные волоки сходились на центральной линии. При таком расположении магистральных волоков для первого и последнего вариантов лесосека разделялась на два однородных участка, а при промежуточных вариантах на четыре. Пасечные волока для однородных участков, расположенных выше магистральных волоков, располагались параллельно центральной линии, а для расположенных ниже – параллельно базовой стороне лесосеки. Углы наклона магистральных волоков по вариантам представлены в таблице.

В результате расчетов, для которых использовалась компьютерная программа модели лесосеки, были определены значения средней длины пасечных волоков, магистральных и всех волоков в целом (рис. 4).

Из графиков на рис. 4 видно, что минимальная средняя длина пасечных волоков соответствует диагональному расположению магистральных волоков, причем, последние располагаются под таким углом, что их общая длина максимальна. При минимальной средней длине пасечных волоков значение транс-

Расчетные углы наклона магистральных волоков к базовой стороне лесосеки

Углы магистр. волоков	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 магистр. волок, $\alpha 1^0$	0	6,42	12,84	19,26	25,68	32,1	38,52	44,94	51,36	57,78	64,2	70,62	77,04
2 магистр. волок, $\alpha 2^0$	0	8,58	17,16	25,74	34,32	42,9	51,48	60,06	68,64	77,22	85,8	94,38	102,96

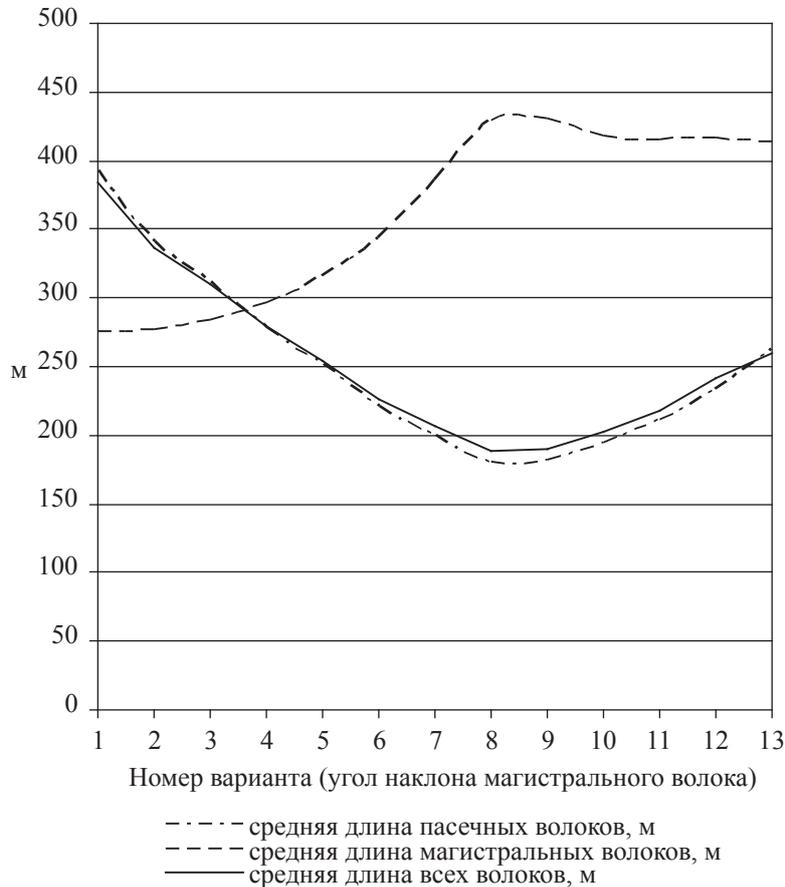


Рис. 4. Изменение средней длины волоков в зависимости от углов наклона магистральных волоков

портной нагрузки на них (количество проходов трактора) также будет достигать минимума. При этом нагрузка на магистральные волока достигнет максимального значения. Диагональные схемы расположения волоков обычно рекомендуются [1] для лесосек с грунтами удовлетворительной несущей способности второй и третьей категорий. Данная рекомендация основана на предположении, что магистральные волоки укрепляются лучше пасечных, и поэтому для них допускается большая нагрузка. Пасечные волоки, напротив, будут работать в более щадящем режиме.

Среднее расстояние трелевки  $l_{CP}$  при программном проектировании волоков на лесосеке можно рассчитывать непосредственно из составленной схемы по формуле

$$l_{CP} = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \left[ \left( \frac{1}{2} l_{ij} + \bar{P}_{ij1}(X, Y) \right) \cdot l_{ij} b_n q_{ij} \right],$$

где  $n$  — число однородных участков разбиения лесосеки или делянки;

$k$  — число пасек на  $j$ -ом участке;

$l_{ij}$  — длина  $i$ -ой пасеки на  $j$ -ом однородном участке, м;

$\bar{P}_{ij1}(X, Y)$  — вектор-расстояние между точкой пересечения пасечного и магистрального волока и началом координат, м;

$b_n$  — ширина пасеки, м;

$q_{ij}$  — плотность запаса древесины на выбранной пасеке,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ ;

$Q$  — запас древесины на лесосеке (делянке),  $\text{м}^3$ .

Важной особенностью программного проектирования сети трелевочных волоков на лесосеке является возможность рассмотрения большого количества вариантов, имеющих определенную последовательность, прокладки волоков с учетом лесорастительных условий и наличия природных объектов на лесосеке. Выбор оптимального варианта сети трелевочных волоков должен отвечать условию наилучшего согласования разнообразных лесохозяйственных требований и критериев производственной эффективности.

### Библиографический список

1. Кочегаров, В.Г. Технология и машины лесосечных работ: учебник для вузов / В.Г. Кочегаров, Ю.А. Бит, В.Н. Меньшиков. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 392 с.
2. Щеголева, Л.В. К вопросу размещения трелевочных волоков на лесосеке / Л.В. Щеголева, М.А. Пискунов, А.Н. Воропаев // Вестник МГУЛ–Лесной Вестник. – 2008. – № 6. – С. 121–124.
3. Герц, Э.Ф. Теоретическое обоснование технологич рубок с сохранением лесной среды (на примере Уральского региона): дисс.... д-ра техн. наук / Э.Ф. Герц. – Екатеринбург, 2004. – 270 с.

## ГЕОМЕТРИЯ УСТАНОВКИ АГРЕГАТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КРОНЫ ДЕРЕВЬЕВ

В.А. МАКУЕВ, *проф. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, д-р техн. наук,*  
 Н.А. КОМАРОВ, *проф. каф. архитектурной и компьютерной графики МГУЛ, канд. техн. наук,*  
 Е.А. ХВАТОВ, *асп. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ*

*caf-kgm@mgul.ac.ru, nkomarov@mgul.ac.ru, ehvatov@mail.ru*

Агрегат для формирования кроны деревьев [1] базируется на тракторе (рис. 1).

В этой статье рассматриваются два варианта установки опорно-поворотного блока [3,4] (ОПБ). В первом варианте выносная штанга ОПБ присоединена к трактору одним шарниром (рис. 2а). Во втором варианте выносная штанга состоит из установочного и базирующего колен и имеет дополнительный сопрягающий их шарнир  $O_1$  (рис. 2 б). Базирующее колено должно повышать точность и удобство базирования ОПБ относительно ствола дерева.

В обоих случаях нет возможности без дополнительных специальных приспособлений и приборов произвести точную установку кольца ОПБ (рис. 3) по отношению к стволу дерева.

Работа производится механически, т.е. оператор машины может оценивать перемещение манипулятора только визуально и только на основе сопоставления шкалы (интенсивности включения) рычага гидрораспределителя соответствующих гидроцилиндров привода перемещения колен в горизонтальной плоскости.

Для технического решения этой задачи необходимо провести оценку  $\Delta$  – суммарного перемещения ОПБ для совмещения центров

$O_2'$  и  $O_2$  [2]. Перемещения вдоль осей  $X$  и  $Y$  на величины  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  осуществляется малой подачей рычага гидрораспределителя.

Рассмотрим схему, приведенную на рис. 2а. Принимая малое угловое перемещение манипулятора  $\Delta\alpha$  (рис. 4) за счет (измерение) кратковременного включения гидропривода при начальном угле поворота  $\alpha$  рычага  $O - O_2$ , можно определить полное перемещение  $\Delta(1)$ .

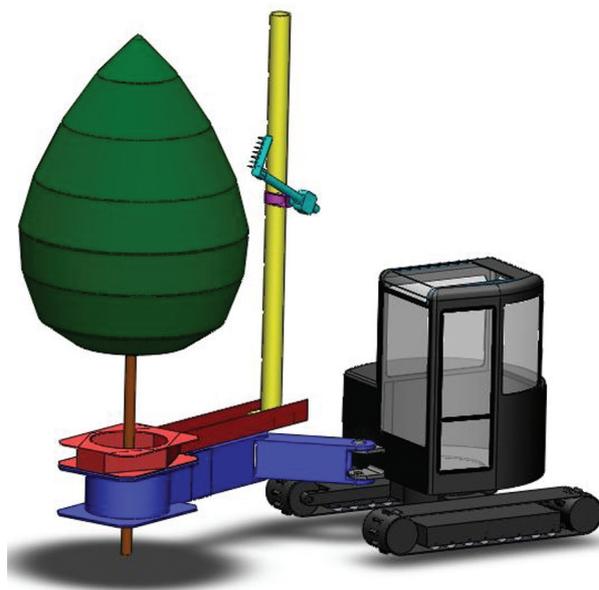


Рис. 1. Модель агрегата

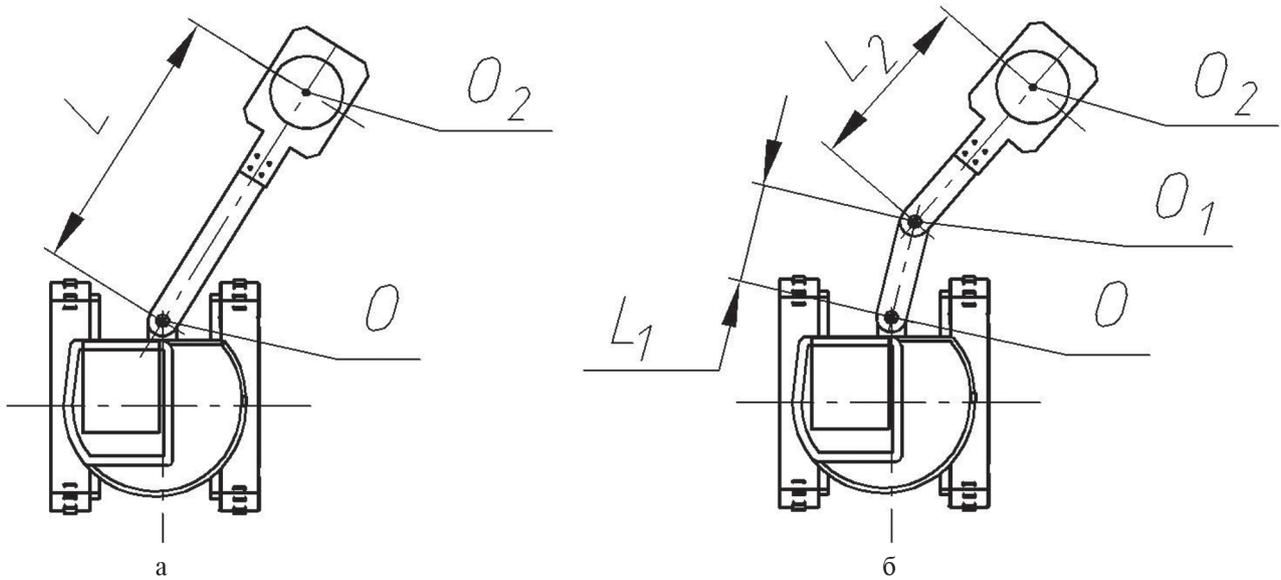


Рис. 2. Варианты исполнения манипулятора ОПБ. а – с одним шарниром и одной установочной штангой, б – с двумя шарнирами и двумя установочным и базирующим коленами

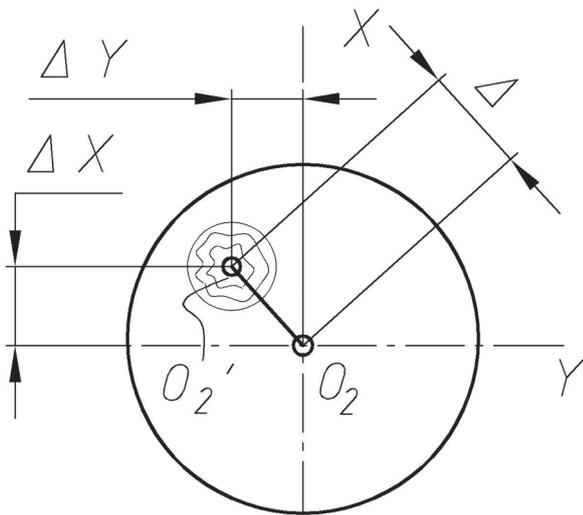


Рис. 3. Базирование ОПБ

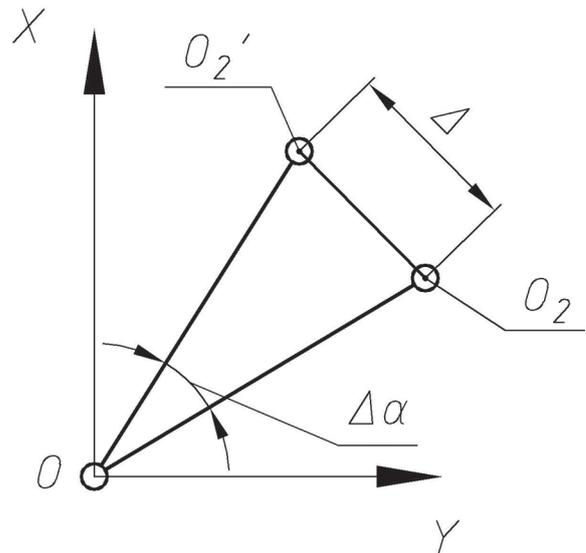


Рис. 4. Угловое перемещение штанги

Учитывая, что  $\sin \Delta \alpha$  при малом значении  $\Delta \alpha$  равен  $\Delta \alpha$ , получаем первое уравнение

$$\Delta = L \Delta \alpha \quad (1)$$

Рассмотрим схему, приведенную на рис. 2б, для случая с двумя шарнирами и двумя коленами. Необходимо определить смещение точки  $O_2'$  в горизонтальной плоскости при повороте прямых  $O-O_1'$  на угол  $\alpha_1$  с ошибкой  $\Delta \alpha_1$  и  $O-O_2'$  на угол  $\alpha_2$  с ошибкой  $\Delta \alpha_2$  (рис. 5).

Координаты точки  $O_2'$  в осях  $X$  и  $Y$  определяют составляющие точек  $O_1'$  и  $O_2'$ , описанные в уравнениях два

$$\begin{aligned} Y_1 + Y_2 &= Y, \\ X_1 + X_2 &= X, \end{aligned} \quad (2)$$

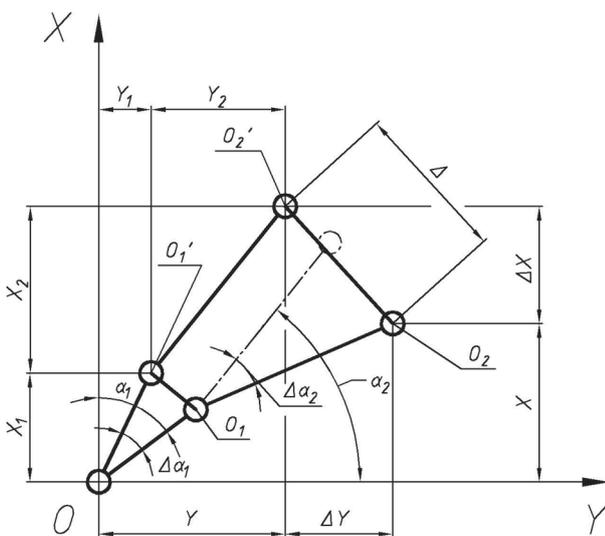


Рис. 5. Перемещение при базировании

Каждую из них определяют длиной рычагов

$$\begin{aligned} (O-O_1') &= L_1 \text{ и } (O-O_2') = L_2. \\ X_1 &= L_1 \cdot \cos \alpha_1; X_2 = L_1 \cdot \cos \alpha_2; Y_1 = L_1 \cdot \sin \alpha_1; \\ Y_2 &= L_2 \cdot \sin \alpha_2, \text{ получая в сумме:} \\ X &= L_1 \cdot \cos \alpha_1 + L_2 \cdot \cos \alpha_2; \\ Y &= L_1 \cdot \sin \alpha_1 + L_2 \cdot \sin \alpha_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Рассмотрим изменение параметров  $X$  и  $Y$  при изменении углов поворота  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  на  $\Delta\alpha_1$  и  $\Delta\alpha_2$ .

$$\begin{aligned} X &= L_1 \cdot \cos(\alpha_1 + \Delta\alpha_1) + L_2 \cdot \cos(\alpha_2 + \Delta\alpha_2) = \\ &= L_1 \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \cos \Delta\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cdot \sin \Delta\alpha_1) + \\ &+ L_2 \cdot (\cos \alpha_2 \cdot \cos \Delta\alpha_2 - \sin \alpha_2 \cdot \sin \Delta\alpha_2). \end{aligned} \quad (4)$$

Учитывая свойства функции и малое значение приращения углов  $\Delta\alpha$ , принимаем

$$\cos \Delta\alpha \approx 1, \text{ а } \sin \Delta\alpha \approx \Delta\alpha.$$

В результате чего получаем

$$\begin{aligned} X + \Delta X &= L_1 \cdot (\cos \alpha_1 - \sin \alpha_1 \cdot \Delta\alpha_1) + \\ &+ L_2 \cdot (\cos \alpha_2 - \sin \alpha_2 \cdot \Delta\alpha_2), \end{aligned}$$

что с учетом выражения (3) имеет вид

$$\Delta X = -L_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \Delta\alpha_1 - L_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \Delta\alpha_2. \quad (5)$$

По аналогии получаем изменение параметра

$$\Delta Y = L_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \Delta\alpha_1 + L_2 \cdot \cos \alpha_2 \cdot \Delta\alpha_2. \quad (6)$$

Полное перемещение  $\Delta$  точки  $O_2$  предлагают рассматривать в виде

$$\begin{aligned} \Delta &= \sqrt{\Delta Y^2 + \Delta X^2} = \\ &= \sqrt{L_1^2 \cdot \cos^2 \alpha_1 \cdot \Delta\alpha_1^2 + 2L_1 \cdot L_2 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 \cdot \Delta\alpha_1 \times \\ &\times \Delta\alpha_2 + L_2^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 \cdot \Delta\alpha_2^2 + L_1^2 \cdot \sin^2 \alpha_1 \cdot \Delta\alpha_1^2 + 2L_1 \times \\ &\times L_2 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \Delta\alpha_1 \cdot \Delta\alpha_2 + L_2^2 \cdot \sin^2 \alpha_2 \cdot \Delta\alpha_2^2} = \\ &= \sqrt{L_1^2 \cdot \Delta\alpha_1^2 + L_2^2 \cdot \Delta\alpha_2^2 + 2L_1 \times \\ &\times L_2 \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \Delta\alpha_1 \cdot \Delta\alpha_2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Если предполагать ошибки равными  $\Delta\alpha_1 = \Delta\alpha_2 = \Delta\alpha$ , то максимальное смещение точки  $O_2$  будет определено как

$$\Delta_{\max} = \Delta\alpha \times \sqrt{L_1^2 + L_2^2 + 2L_1 \times L_2},$$

тогда

$$\Delta_{\max} = (L_1 + L_2) \cdot \Delta\alpha. \quad (8)$$

В результате проведенных вычислений можно провести оценку погрешности, а также ликвидировать погрешность при центровке ОПБ. Выведенные уравнения могут быть применены при составлении алгоритма программы для системы автоматизированного управления и контроля агрегата.

### Библиографический список

1. Гоберман, В.А. Прикладные расчеты по теории и проектированию тягово-транспортных систем и процессов: учеб. пособие в 2 т. / В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. – М.: МГУЛ, 2006. – Т. 1. – 312 с.
2. Варламов, Г.П. Машины для формирования кроны и уборки урожая плодовых культур / Г.П. Варламов, А.И. Душкин, В.В. Князьков, В.К. Кутейников и др. – М.: Машиностроение, 1975.
3. Комаров, Н.А. Механизация труда при выполнении фигурной стрижки крон деревьев и упаковки крон для транспортировки крупномерного посадочного материала / Н.А. Комаров, В.А. Макуев, Е.Е. Клубничкин, Е.А. Хватов // Науч. тр. – Вып. 344. – М.: МГУЛ, 2009. – 128 с.
4. Комаров, Н.А. Многофункциональная система оператор-машина для формирования крон деревьев в лесопарковых хозяйствах. Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Матер. международной научно-технической конференции / Н.А. Комаров, В.А. Макуев, Е.Е. Клубничкин, Е.А. Хватов. – Вологда: ВГТУ, 2010. – 253 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН

А.В. МАТРОСОВ, доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук,

М.А. БЫКОВСКИЙ, доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук

Модель функционирования технологического процесса лесосечных работ является моделью сложной системы с большим числом взаимосвязанных и взаимодействующих

элементов. На основании теории сложных систем [1] технологический процесс лесосечных работ можно разделить на уровни иерархии. Каждый уровень явля-

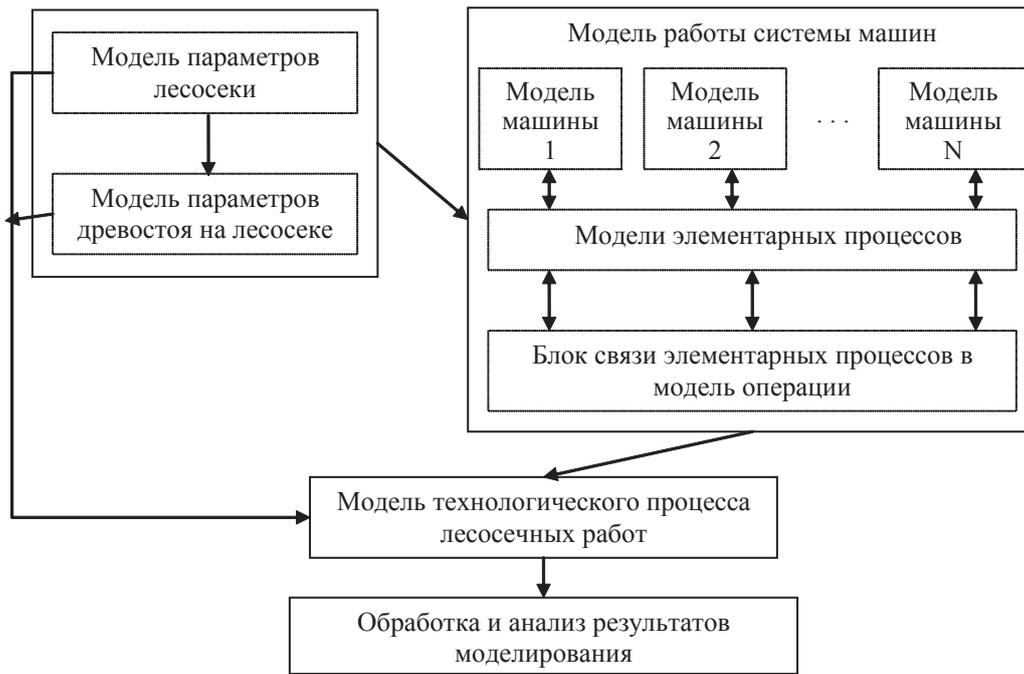


Рис. 1. Блочная структура модели технологического процесса лесосечных работ

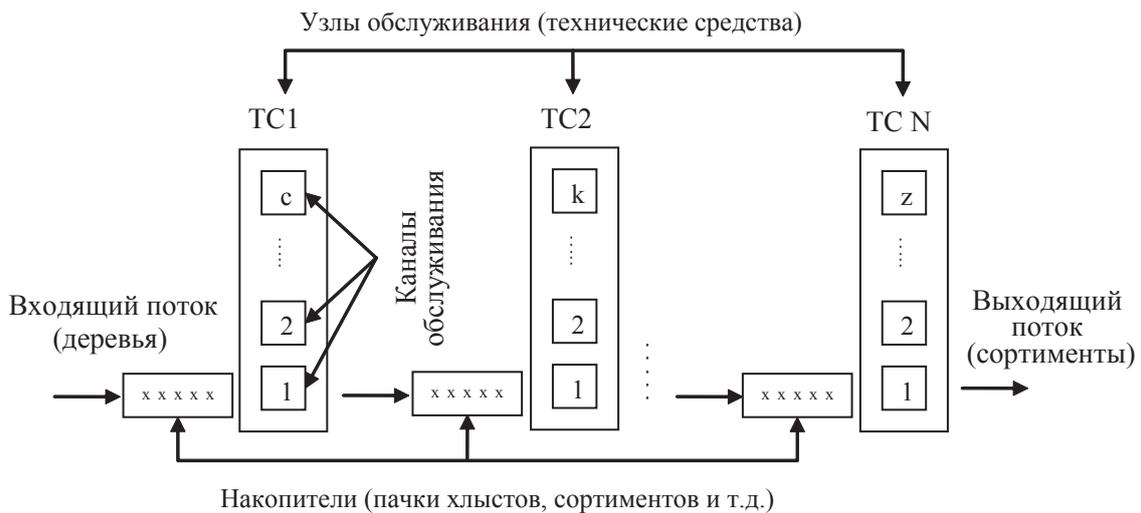


Рис. 2. Блок-схема многофазной системы массового обслуживания с ожиданием на операциях

ется формальным отображением системы с постепенным понижением сложности. Иерархическая структура технологического процесса лесосечных работ представлена уровнями:

- собственно технологический процесс (1 уровень);
- операции технологического процесса (2 уровень);
- операции технических средств (3 уровень).

С учетом иерархической структуры модель технологического процесса лесосечных работ может быть представлена в виде

блочной схемы (рис. 1), состоящей из блоков (подмоделей различного порядка).

Если рассматривать систему лесосечных машин как систему, обслуживающую (обрабатывающую) поток заявок, то на основании теории массового обслуживания такая система является многофазной, многоканальной системой массового обслуживания (СМО) с нестационарным потоком заявок, с ожиданием между фазами и без ожидания на входе, характеризующейся разнообразием взаимодействующих факторов и связей между параметрами, стохастичностью выполнения операций, изменением состояния систе-

мы во времени, наличием ограничений [2, 3]. Входящим потоком заявок многофазной СМО является поток, входящий в первую фазу, выходящим – поток, выходящий из последней фазы.

На рис. 2. представлена упрощенная блок-схема многофазной системы массового обслуживания.

Основной частью модели при оценке функционирования оборудования является модель работы системы машин при разработке лесосек. Процесс функционирования отдельных машин системы можно описать случайной последовательностью временных интервалов, характеризующих время пребывания машины в отдельном состоянии (работа, простой и т. д.) и определены состояния перехода машины из одного состояния в другое, а также известны законы или функции распределения временных интервалов [2].

Имитация функционирования системы машин заключается в поиске по времени ближайших смен особых состояний объектов (машин и оборудования), входящих в технологический процесс.

Функционирование СМО определяется основными параметрами: числом каналов в системе  $n$ ; плотностью потока заявок  $\lambda$ ; средней продолжительностью обслуживания каналом одной заявки  $\bar{t}_{об}$ ; плотностью потока обслуживания одного канала  $\mu$  (интенсивность обслуживания), величина обратная среднему времени обслуживания.

Имитационная модель включает:

- моделирование текущего времени;
- моделирования потока сырья;
- моделирование работы машинной единицы;
- определение необходимого числа реализаций модели.

Моделирование текущего времени сводится к формированию дискретных значений моментов времени с шагом  $\Delta t$  от  $t_{нач}$  до  $t_{кон}$ . В каждый из значений моментов времени проверяется состояния моделируемой системы.

Моделирование потока сырья. Поток сырья между операциями характеризуется плотностью распределения интервалов времени между поступлениями единиц сырья

на обработку  $P_e = f(t_e) = 1 - e^{-\lambda t}$ , где  $t_e$  – интервал времени между поступлениями заявок на обслуживание;  $\lambda$  – средняя интенсивность потока заявок.

Моделирование случайного интервала времени  $t_e$  между поступлениями заявок на обслуживание, характеризуемого средней интенсивностью ( $\lambda = 1/\bar{t}_e$ ) поступления объектов потока в единицу времени, осуществляется с вычислением значения  $t_e = G(\gamma, \bar{t}_e)$ ,

где  $G$  – функция обратного преобразования для розыгрыша случайной величины;  $\gamma$  – псевдослучайное число, равномерно распределенное в интервале  $[0;1]$ .

Моделирование работы машинной единицы заключается в определении суммарно накопленного времени при выполнении технологических операций лесозаготовительного процесса.

Машинная единица представлена в виде СМО с одним каналом обслуживания.

$$\bar{P}_j = \Phi(\bar{s}, \bar{x}, t),$$

где  $\bar{P}_j$  – случайная вектор-функция эксплуатационных показателей работы машины;

$\bar{s}, \bar{x}$  – соответственно параметры состояния и управления;

$t$  – время функционирования системы.

Особенностью систем массового обслуживания (СМО) является то, что для разных природных условий среднее время цикла обработки на операции необходимо рассматривать как функцию от случайных значений параметров предмета труда [2, 3]

$$t_{обс j} = f(\bar{s}),$$

где  $t_{обс j}$  – среднее время цикла на  $j$ -ой операции в зависимости от параметров состояния  $\bar{s}$  (среды, сырья, технологии).

Для создания модели по выбору и оценке эффективности системы лесосечных машин разработан общий алгоритм. Алгоритм решения задачи представляет собой разветвленную систему блоков (модулей) и предусматривает выполнение ряда процедур вычислительного и оптимизационного характера. Алгоритм поясняется упрощенной схемой (рис. 3).

Исходными данными для имитационных моделей работы лесосечных машин являются данные, полученные в результате моде-

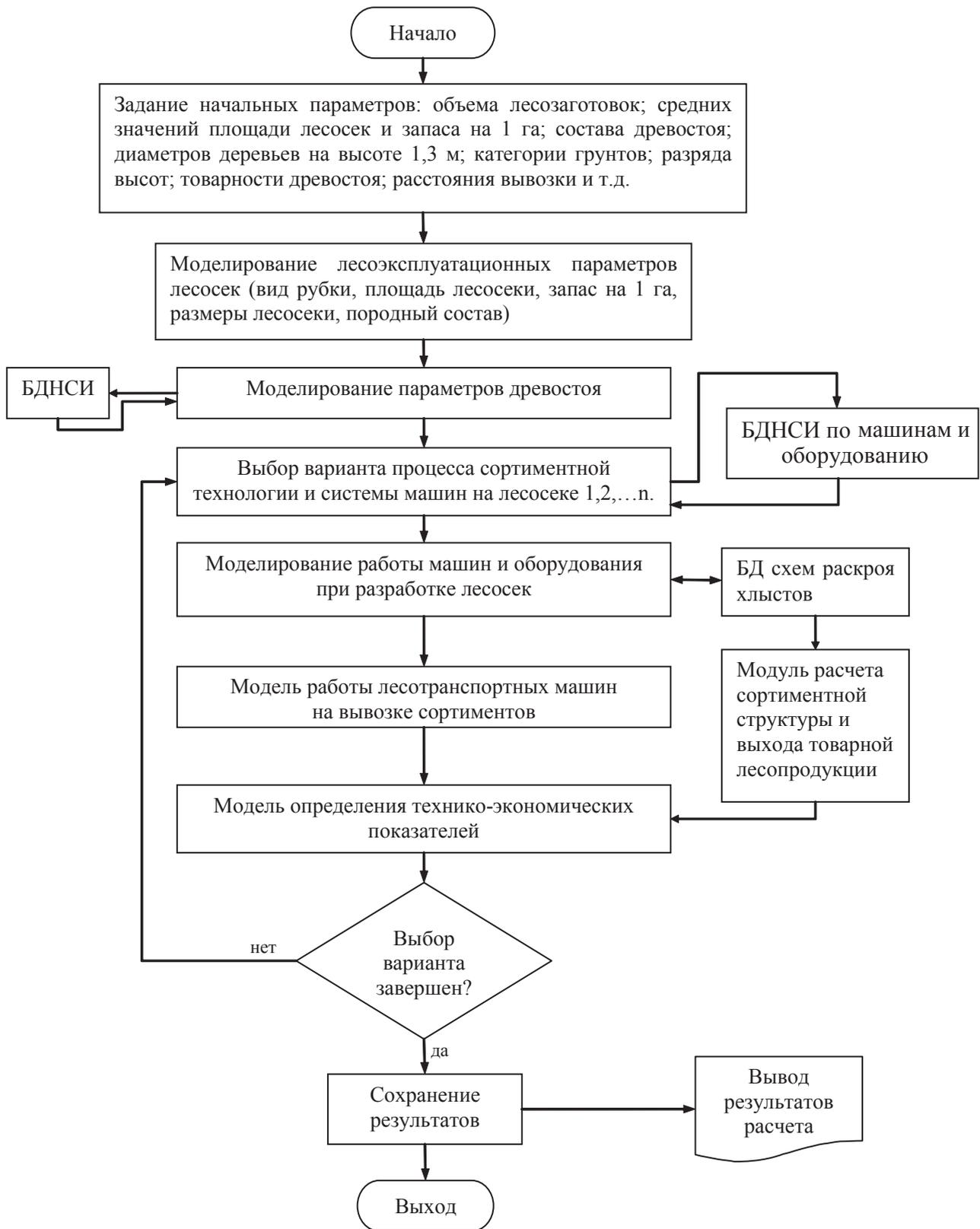


Рис. 3. Алгоритм модели выбора и оценки эффективности функционирования системы лесосечных машин

лирования параметров лесосеки и древостоя, а также базы данных нормативно-справочной информации по лесозаготовительным машинам и оборудованию (рис. 3, 4).

На основании модели машины, выбранной пользователем для моделирования, из таблицы с характеристиками считываются основные технические данные по машине, в

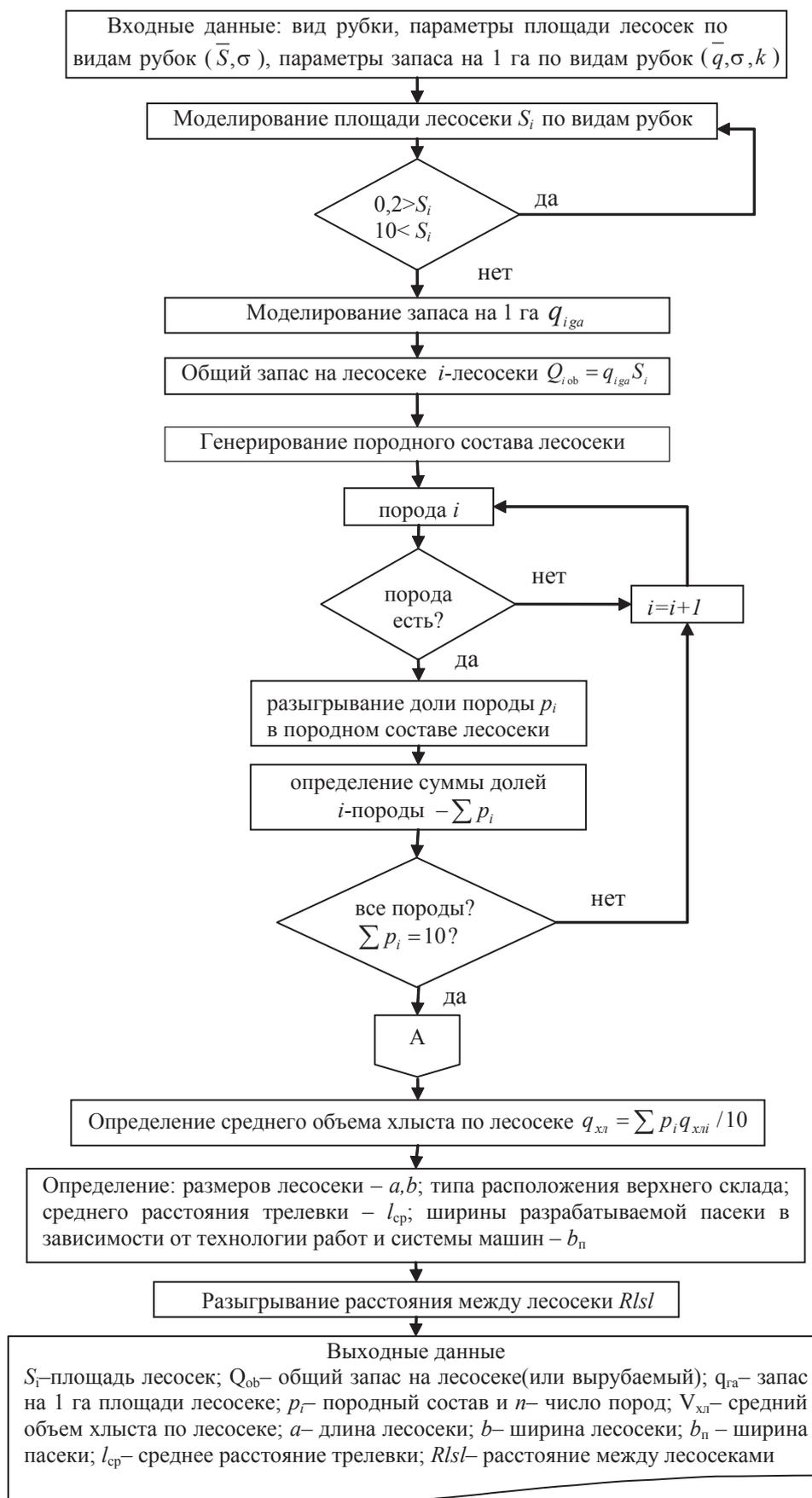


Рис. 4. Блок-схема моделирования параметров лесосек

том числе колесная формула, вес, вылет манипулятора, грузоподъемность манипулятора, максимальный вес трелюемой пачки, скорости движения и т.д.

Технология работы машин при имитационном моделировании представлена как стандартной траекторией движения машин, так и скорректированной траекторией движения машин в лесонасаждениях; расстояниями переезда при смене стоянок, которые зависят от вида рубки, возраста древостоя, интенсивности выборки по запасу и вылета манипулятора машины. Влияние почвенно-грунтовых условий и рельефа местности на работу систем лесосечных машин установлено с помощью коэффициентов, корректирующих скорость передвижения машин по лесосеке, объема набираемой пачки, ограничений по грузоподъемности и др.

В результате имитационного моделирования рассчитывается производительность машин на каждой операции и системы машин для принятых природно-производственных условий, а также показатели эффективности их работы: коэффициенты использования машинного и рабочего времени смены.

Полученные в результате имитационного моделирования данные применяются в экономико-математической модели, используемой для выбора и оценки эффективности функционирования системы лесосечных машин. В программе можно менять все нормативные данные от характеристик машин до

цен на лесозаготовительные машины, горюче-смазочные материалы и т.д. Это позволяет вводить в программу новые конкретные марки лесосечных машин и их характеристики.

Разработанный комплекс программ позволяет:

- исследовать возможности выбранных систем лесосечных машин при использовании их на различных видах рубок;
- дать оценку эффективности работы системы лесосечных машин в различных природно-производственных условиях;
- определять влияние изменения природных и производственных факторов на показатели эффективности выполнения лесосечных работ;
- определять основные технико-экономические показатели работы систем лесосечных машин.

#### Библиографический список

1. Бусленко, Н.П. Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. – М.: Советское радио, 1973. – 440 с.
2. Редькин, А.К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – М.: МГУЛ, 2005. – 497 с.
3. Редькин, А.К. Применение теории массового обслуживания на лесозаготовках / А.К. Редькин. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – 151 с.
4. Пятакин, В.И. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Технология и машины лесосечных работ: учебник / В.И. Пятакин, И.В. Григорьев, А.К. Редькин и др. – СПб: СПбГЛТА, 2009. – 362 с.

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАРУБЕЖНОЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С КАНАТНО-ЧОКЕРНОЙ ОСНАСТКОЙ НА ВЫБОРОЧНЫХ РУБКАХ

О.Н. МАТЮШКИНА, *ст. преп. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ,*

М.А. БЫКОВСКИЙ, *доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук*

**О**бъемы заготовок на переувлажненных почвах и холмистой местности России значительно ниже их потенциальных возможностей. В таких условиях затрудняется внед-

*matyushkina@mgul.ac.ru; bykovskiy@mgul.ac.ru*

рение новых технологий из-за трудности въезда современной техники, создания широких технологических коридоров, что повышает трудоемкость заготовки древесины и себес-

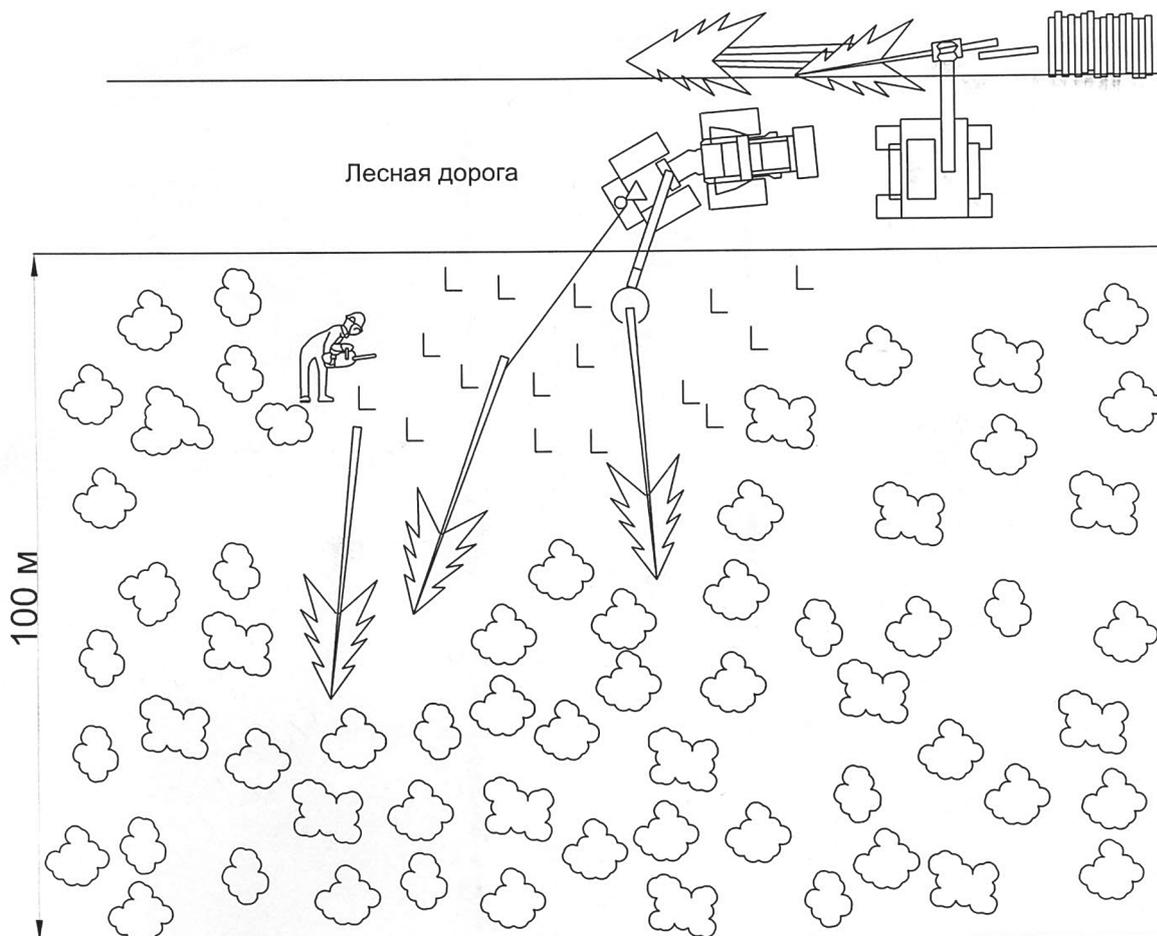


Рис. 1. БМП+чокерный манипуляторный трактор+процессор

тоимость древесины. Трудоемкость всех фаз лесозаготовительного производства в горной местности намного выше, чем в равнинных.

Наибольшее влияние на увеличение трудоемкости лесозаготовок оказывают способы рубок. Например, при сплошных рубках требуется организовывать почти в 3 раза больше технологических коридоров, чем при выборочных [1]. Поэтому для уменьшения технологических коридоров и внедрения новых сортиментных технологий можно предложить 4 высокомеханизированных схемы заготовки древесины на выборочных рубках с использованием многофункциональной техники [2].

В ведущих европейских странах предложены и внедрены в жизнь следующие технологические процессы.

### 1 схема. Бензиномоторная пила+чокерный манипуляторный трактор+процессор

Валка деревьев производится БМП (рис. 1), предварительная трелевка в зону действия

манипулятора трелевочного трактора (рис. 2) производится чокерным оборудованием, и дальше манипулятор перекладывает дерево в зону действия процессора, который находится на лесозавозной дороге, для обрезки сучьев и раскряжевки. Ширина трелевочного волока – 100 м.

### 2 схема. Бензиномоторная пила+харвестер с высокой силой тяги+форвардер

Валка производится на пасечном волоке, ширина которого 20 м – БМП (рис. 3),



Рис. 2. Чокерный манипуляторный трактор

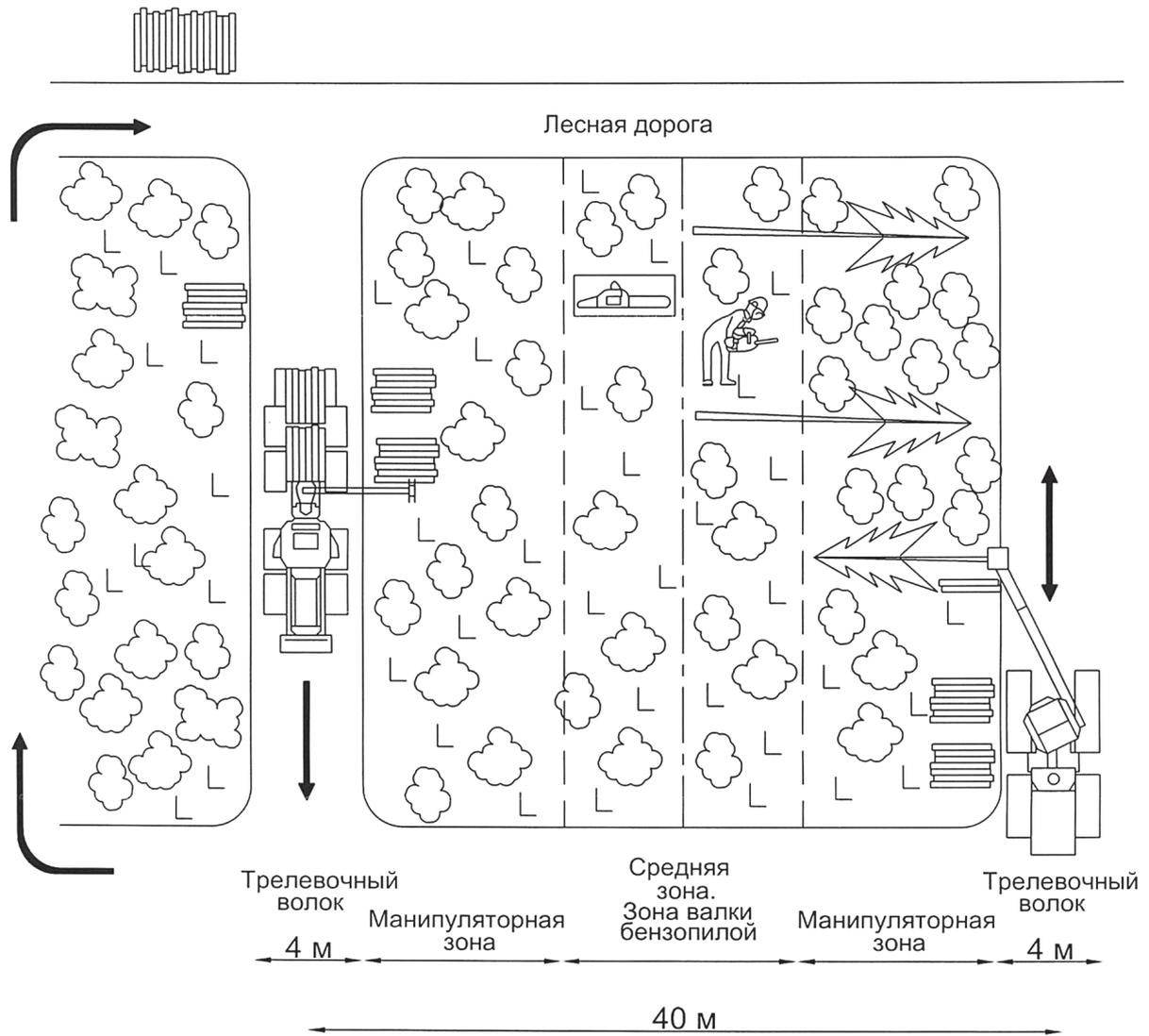


Рис. 3. БМП+харвестер с высокой силой тяги+форвардер



Рис. 4. Харвестер с высокой силой тяги



Рис. 5. Форвардер с тяговой лебедкой

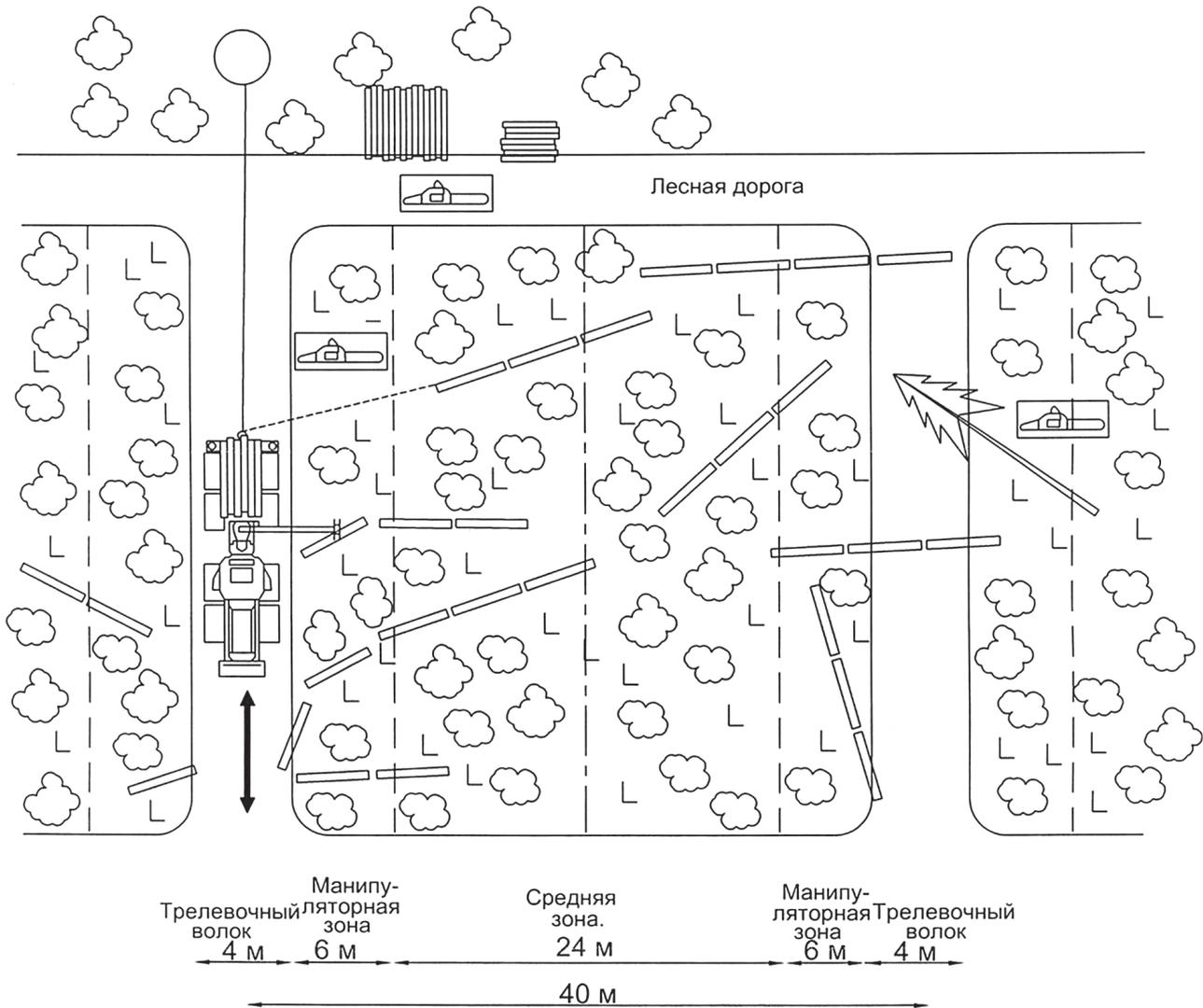


Рис. 6. БМП+форвардер с тяговой лебедкой и чокерным оборудованием

а в зоне действия манипулятора – харвестером (рис. 4). Также харвестер укладывает сортименты в штабеля для последующей работы форвардера, оснащенного тяговой лебедкой. Ширина трелевочного волока 40 м.

### 3 схема. Бензиномоторная пила+форвардер с тяговой лебедкой и чокерным оборудованием

Валка, обрезка сучьев и раскряжев-ка ведется БМП (рис. 6) на пасечном волоке (ширина 24 м). Если сортименты не попадают при трелевке в зону действия манипулятора форвардера, тогда трелевка ведется при помощи чокерного оборудования. Во время

движения форвардер (рис. 7) использует тяговую лебедку. Ширина трелевочного волока 40 м.



Рис. 7. Форвардер с тяговой лебедкой

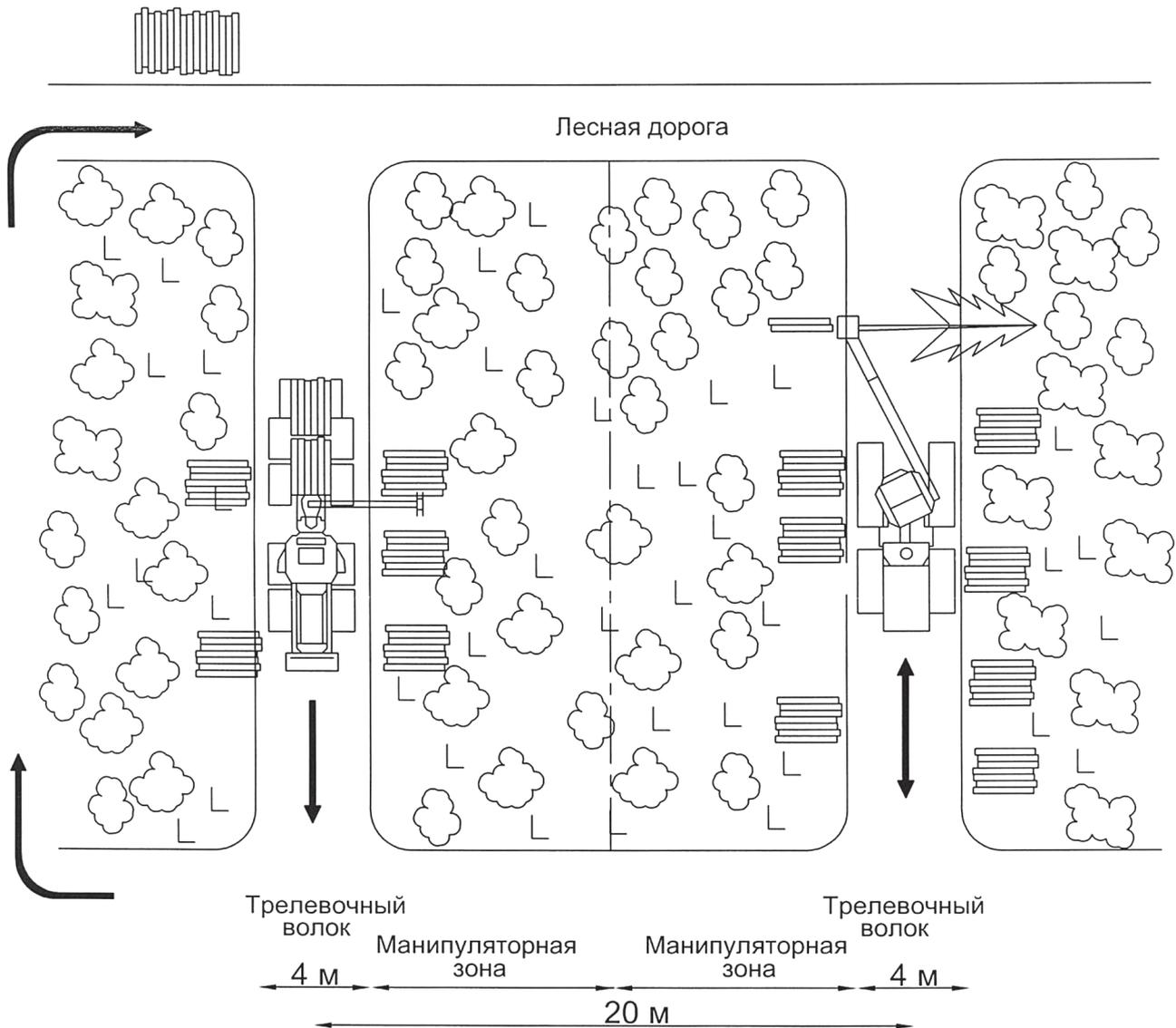


Рис. 8. Харвестер+форвардер

#### 4 схема. Харвестер+форвардер

На трелевочном волоке (рис. 8) направленная валка ведется манипулятором харвестера, который укладывает сортименты в штабеля, для работы форвардера, который движется по волоку, ширина трелевочного волока 40 м.

Четыре предложенные схемы с успехом можно применять на выборочных рубках, не только в горной местности, но и на переувлажненных почвах. Техника движется только по волокам, потому что заезд на лесосеку зачастую просто не возможен. За счет этого снижается себестоимость вывоз-

ки древесины, уменьшаются простои техники и увеличивается ритмичность производства.

#### Библиографический список

1. Шелгунов, Ю.В. Лесозаготовка и транспорт леса / Ю.В. Шелгунов, А.К. Горюнов, И.В. Ярцев. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 519 с.
2. Быковский, М.А. Высокотехнологичные лесозаготовительные производства на базе многофункциональных машин / М.А. Быковский, А.К. Редькин // Вестник МГУЛ–Лесной вестник – М.: МГУЛ, 2011. – № 5(81). – С. 41–42.
3. Макаренко, А.В. Многооперационные машины для лесозаготовок и лесохозяйственного производства / А.В. Макаренко, М.А. Быковский. – М., 2009. – 372 с.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ НА ЛЕСОСЕКАХ

М.А. ПИСКУНОВ, доц. каф. технологии и оборудования лесного комплекса Петрозаводского ГУ, канд. техн. наук

*piskunov\_mp@list.ru*

В процессе заготовки стволовой древесины на лесосеках образуется большое количество древесных отходов (свыше 20 % от общего объема заготовок). Древесные отходы являются потенциальным ресурсом для производства биотоплива и требуют развития специальных технологий и оборудования [1, 4]. Для выполнения операций сбора, подготовки к утилизации, выполнения технико-экономических обоснований использования древесных отходов в качестве биотоплива необходимы данные о процессах образования древесных отходов на вырубках. В качестве основных характеристик выступают характеристики пространственного расположения древесных отходов на лесосеках после заготовки стволовой древесины: площадь, где формируется основной объем отходов, плотность отходов в местах скопления.

На процессы образования древесных отходов влияют различные факторы: таксационные показатели древостоя, вид рубок, но в качестве важнейшей группы факторов, влияющих на закономерности образования древесных отходов, выступают системы машин и последовательность основных технологических операций, а также ряд технологических и организационных решений при основном лесозаготовительном процессе – заготовке стволовой древесины. В частности, в работе [2] представлены результаты исследований по определению количества скоплений лесосечных отходов после заготовки леса с помощью харвестера, определялись особенности образования отходов. На лесозаготовительных предприятиях Северо-Западного федерального округа России применяются различные системы машин, для каждой системы машин характер образования лесосечных отходов обладает своими особенностями. Эти особенности будут определять технико-экономические характеристики последующих тех-

нологий заготовки и первичной переработки самих лесосечных отходов.

В ходе исследований, проведенных на лесозаготовительных предприятиях Республики Карелия и Вологодской области, были выделены основные технические характеристики образования лесосечных отходов: 1) Места преимущественного расположения древесных отходов (места, где объем скапливающихся отходов составляет не менее 90 % от общего объема отходов); 2) Средняя плотность отходов на один квадратный метр площади ( $\text{м}^3/\text{м}^2$ ). Для второй характеристики рассматривается не вся площадь лесосеки, а только площадь мест скопления отходов.

Для оценки характеристик образования лесосечных отходов использовались известные методы: метод линейных пересечений – при небольшой концентрации лесосечных отходов на единицу площади [3]; метод закладки пробных площадок – выбирались площадки размером 1Ч1 м, собирались все отходы с этих площадок и взвешивались. При крупной концентрации в виде куч больших размеров осуществлялся замер куч: измерялась высота, ширина и длина куч. Высота кучи измерялась в разных местах, в зависимости от длины кучи выполнялось от 5 до 12 измерений высоты. Все данные обрабатывались методами математической статистики, определялись средние показатели концентрации на единицу площади лесосеки. Так как на общее количество древесных отходов существенное влияние оказывают лесотаксационные характеристики лесосеки, в этой связи для сравнения влияния на закономерности образования только системы машин и последовательности операций характеристика средняя плотность, определялась в условных единицах.

В качестве 1 условной единицы было принято значение плотности при бессистем-

ном образовании отходов. Бессистемное образование отходов – это образование отходов, когда весь объем лесосечных отходов равномерно распределен по всей площади лесосеки с одинаковой плотностью. Средняя плотность отходов по исследованным системам машин определялась относительно плотности при бессистемном образовании отходов. Полученные данные по различным лесосекам были обработаны и представлены в виде модели пространственного размещения отходов с помощью геоинформационной системы (ГИС) MapInfo.

Были проведены экспериментальные исследования процессов образования древесных отходов для различных систем машин при различных последовательностях основных технологических операций. Все схемы были исследованы на предприятиях, которые не занимаются вопросами переработки древесных отходов, поэтому в процессе заготовки не обращается внимания на то, как образуются отходы и удобно ли они расположены в целях дальнейшей заготовки. Были исследованы следующие системы машин: 1. Валка бензопилами + обрезка сучьев + трелевка хлыстов вершинами вперед; 2. Валка, обрезка сучьев, сбор сучьев в кучи + трелевка хлыстов комлями вперед + раскряжевка; 3. Валка + трелевка деревьев комлями вперед + обрезка сучьев, раскряжевка; 4. Валка, обрезка сучьев, раскряжевка бензопилой + трелевка сортиментов; 5. Машинная валка, обрезка сучьев, раскряжевка + трелевка сортиментов; 6. Машинная валка, пакетирование + трелевка деревьев + машинная обрезка сучьев. Для этих систем машин определялись: места скоплений и средняя плотность отходов.

По исследованным схемам по результатам экспериментов на лесосеках предприятий Северо-Западного федерального округа России были получены следующие данные. Бессистемное образование отходов – плотность 1 у.е., место образования (доля площади лесосеки, занятая отходами, %) пасаки (100 %). Моделирование размещения лесосечных отходов представлено на рисунке, а.

Система машин 1. Характерной особенностью данной системы является увели-

чение неконтролируемых потерь стволовой древесины в виде обломков хлыстов, деревьев. При работе по этой схеме на волоках сосредотачивается около 55–57 % лесосечных отходов, 43–45 % остается на пасаках, при этом из этих 43–45 % значительная часть около 65–70 % формируется в пятиметровой зоне, примыкающей к волоку. При удалении от этой зоны плотность лесосечных отходов резко уменьшается, составляя в зоне 5–10 м около 20 %, 10 – 15 м – 10 %. Средняя плотность отходов в зоне, включающей волок и примыкающих к волоку полос шириной 5 м, составляет 2,2 у.е., то есть среднее количество отходов в переводе их в плотные куб. метры на 1 м<sup>2</sup> площади лесосеки в этой зоне в 2,2 раза больше плотности отходов на единицу площади, если бы отходы образовывались без выраженной закономерности (бессистемное образование). Моделирование размещения лесосечных отходов представлено на рисунке, б.

Система машин 2. Данная схема характеризуется тем, что отходы в виде сучьев не переносятся на волок, а формируются в виде куч непосредственно на пасаках, в тех местах, где это всего удобнее для вальщика (использование минимального времени на уборку и затраты наименьших физических сил). В результате получается равномерное распределение куч по всей лесосеке, за исключением волоков. Размеры средней кучи составили: 1,7 м диаметр основания кучи; 1,5 м высота кучи. Средняя плотность отходов в местах скопления составила 71,4 у.е. Доля площади лесосеки, занятая отходами, составила 2–5 %, отходы сосредотачивались на пасаках, рисунок, в.

Система машин 3. Данная система машин и последовательность операций характеризуется тем, что основной объем отходов образуется на верхнем складе. Размеры верхнего склада ограничены, поэтому отходы после обрезки сучьев и раскряжевки, чтобы они не мешали погрузке сортиментов на лесовозный транспорт, формируются в кучи трелевочным трактором при помощи манипулятора. Размеры кучи: высота варьировалась от 2 до 7 м; длина куч до 10 м; ширина 5–6 м.

Средняя плотность отходов в местах скопления 90,5 у.е., отходы занимали площадь 1–2 % от площади лесосеки и скапливались на верхнем складе, рисунок, г.

Система машин 4. Система машин характеризуется переносом лесосечных отходов на волок. Особенностью является повышение плотности отходов за счет увеличенной доли вершинной части в общем объеме отходов. Выработка дополнительного сортимента из вершинной части дерева представляет со-

бой трудоемкую операцию. Вальщик-раскряжевщик не мотивирован к выработке дополнительного сортимента из вершинной части, так как заинтересован в производстве как можно большего объема сортиментов, а сортимент из вершинной части характеризуется малым объемом. По данным натурных исследований определено, что вершина остается после валки каждого дерева, дополнительно к вершинной части добавляется поврежденный в результате валки подрост, который так-

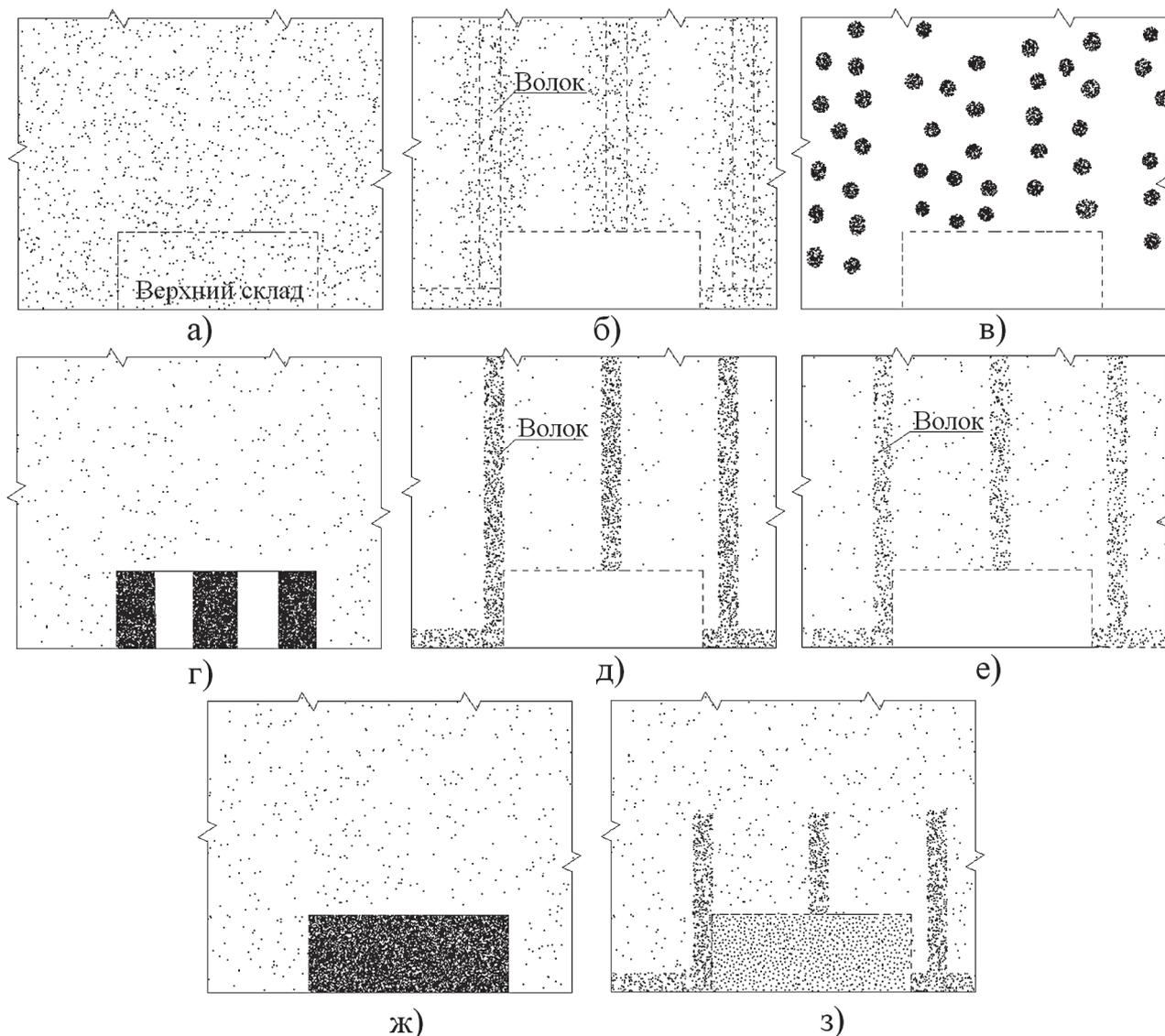


Рисунок. Системы машин и результаты моделирования размещения отходов в ГИС: а) бессистемное образование; б) валка бензопилами + обрезка сучьев + трелевка хлыстов вершинами вперед; в) валка, обрезка сучьев, сбор сучьев в кучи + трелевка хлыстов комлями вперед + раскряжевка; г) валка + трелевка деревьев комлями вперед + обрезка сучьев, раскряжевка; д) валка, обрезка сучьев, раскряжевка бензопилой + трелевка сортиментов; е) машинная валка, обрезка сучьев, раскряжевка + трелевка сортиментов; ж), з) машинная валка, пакетирование + трелевка деревьев + машинная обрезка сучьев без укрепления и с укреплением волоков сучьями

же переносится на волок. Средний диаметр в нижнем отрубе вершинной части и тонкомерных деревьев 8 см, средняя длина 6 м.

Но некоторые предприятия практикуют систему оплаты труда, которая позволяет мотивировать вальщиков к выработке сортиментов из вершины дерева. Тогда структура лесосечных отходов при их переносе на волок в основном представлена сучьями, ветвями. Средняя плотность отходов в местах скопления (на волоке) относительно бессистемного образования составляет 9,5 у.е. Отходы занимают 20 % площади лесосеки и сосредотачиваются на волоках, рисунок, д.

Система машин 5. Использование данной системы машин характеризуется образованием основного объема лесосечных отходов на волоках. На пасаках остается незначительная часть отходов, представленная, главным образом, поврежденным подростом. Объем отходов, образовавшийся на пасаках, составляет менее 5 % от общего объема, поэтому эти отходы рассматриваются только как потери. Средняя плотность лесосечных отходов в местах скопления (на волоке) составила 5 у.е. Лесосечные отходы сосредотачивались на волоках и занимали 20 % площади лесосеки, рисунок, е.

Для систем машин 4 и 5 отходы, образовавшиеся на волоках, загрязнены минеральными примесями, поскольку выступают как хворостяная подушка и защищают волок при проходах форвардера в процессе трелевки сортиментов.

Система машин 6. Для данной системы машин отходы формировались на верхнем складе в виде куч, однако кучи были рассредоточены по большей площади по сравнению с системой машин 3. Это было связано с тем, что на верхнем складе работал процессор, рабочая зона для укладки сортиментов которого ограничена. Процессор переезжал от мест складирования деревьев, которые были сформированы в пачки строго определенного объема. Часть лесосечных отходов увозилась на волока с целью их укрепления. На отдельных лесосеках с переувлажненными грунтами на волоках укладывался поперечный настил из низкокачественной древесины. Использовал-

ся специальный трактор для этих целей. В этой связи объем отходов, образовавшийся на верхнем складе, в полном объеме может использоваться для дальнейшей переработки. Средняя плотность отходов в местах скопления (на верхнем складе) составила 66,7 у.е. Лесосечные отходы формировались на верхнем складе и занимали 1–2 % площади лесосеки. На рисунке, ж представлены результаты моделирования в геоинформационной системе, если часть отходов увозится на волока, на рисунке, з – если лесосечные отходы в виде сучьев не используются для укрепления.

Такая большая разница в плотности древесных отходов по сравниваемым системам машин связана с тем, что для некоторых схем лесосечные отходы разбросаны по значительной площади, а в некоторых схемах отходы формируются в виде куч. Изменение в значениях плотности и мест скопления определяет технологию дальнейшей заготовки лесосечных отходов, а также размеры безвозвратных потерь вторичного древесного сырья. С увеличением плотности на единицу площади лесосеки количество безвозвратных потерь снижается.

Места образования также оказывают влияние на технические характеристики древесных отходов. Так образование на волоках, по которым осуществляют проходы лесные машины, приводит к перемешиванию отходов и грунта, что снижает потребительские свойства отходов как сырья или вообще приводит к технической нецелесообразности их дальнейшей заготовки. Параметры плотности на единицу площади лесосеки определяют производительность машин для сбора отходов, технические характеристики манипуляторов для сбора (вылет, грузоподъемность), технические параметры рубительных машин, упаковочных машин, объем кузова транспортных машин и требуются для обоснования технических характеристик машин по заготовке отходов и формирования интегрированных технологических процессов заготовки лесной древесной биомассы.

В соответствии с теми технологическими процессами, которые получили распространение на заготовке лесосечных отходов в

Финляндии и Швеции [5], для заготовки лесосечных отходов целесообразно, чтобы лесосечные отходы находились в максимально сконцентрированном виде. В этой связи системы машин 3 и 6 предпочтительны, но эти системы машин занимают незначительную долю в общем объеме лесозаготовок. Распространение же сортиментной технологии на предприятиях Северо-Запада России (системы машин 5 и 4) требует применять дополнительные приемы при заготовке древесины для повышения плотности лесосечных отходов и формирования лесосечных отходов не на волоке, а рядом с волоком. Опыт Финляндии показывает, что существуют приемы работы харвестера, когда оператор формирует пачки сортиментов таким образом, чтобы лесосечные отходы не попадали на волок и при этом формировались с плотностью в 2–3 раза выше, чем плотность заготовки сортиментов, когда не принимается в расчет использование лесосечных отходов как ресурса для дальнейшей переработки [6, 7].

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009-2013 годы)», государственный контракт № 14.740.11.1106.

### Библиографический список

1. Герасимов, Ю.Ю. Ресурсы древесного топлива Северо-Запада России / Ю.Ю. Герасимов, Т. Карьялайнен // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2010. – № 4. – С. 12–13.
2. Карпачев, С.П. Количественная оценка лесосечных отходов после сортиментной заготовки леса харвестерами / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, А.Н. Сличенков // Лесопромышленник, 2010. – № 4. – С. 29–31.
3. Сличенков, А.Н. Совершенствование технологии использования лесосечных отходов при сортиментной заготовке: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / А.Н. Сличенков Защищена 17.04.09. – М., 2009. – 180 с.
4. Сюнев, В.С. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет: учебное пособие / В.С. Сюнев, А.А. Селиверстов, Ю.Ю. Герасимов, А.П. Соколов. – Йозенсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2011. – 143 с.
5. Kärhä K. Industrial supply chains and production machinery of forest chips in Finland [Электронный ресурс] / К. Kärhä // Biomass and Bioenergy. – 2010. – Режим доступа к статье: doi:10.1016/j.biombioe.2010.11.016, свободный.
6. Markku K. Production technology of forest chips in Finland / К. Markku, А. Leinonen. – Finland: VTT Processes, 2005. – PRO2/P2032/05. – 97 p.
7. Hakkila P. Hakuuutähteen mahdollisuudet energianlähteenä. (Possibility of forest residue as an energy source) / P. Hakkila // Puuenergia. – 1998. – № 3. – p. 8–9 (In Finnish).

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ КАБИН ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

А.В. ПИТУХИН, *проф. каф. технологии металлов и ремонта ПетрГУ, д-р техн. наук,*  
И.Г. СКОБЦОВ, *доц. каф. технологии металлов и ремонта ПетрГУ, канд. техн. наук*

*iskobtsov@mail.ru*

При переходе к рыночной экономике большинство из действующих стандартов, определяющих требования к надежности, производительности и другим показателям эффективности лесозаготовительных и лесохозяйственных машин, были отменены. Остались действующими лишь стандарты, определяющие требования к показателям безопасности и эргономики [1–4]. Поэтому и проектирование лесных машин должно производиться не только с учетом требований

рынка, но и в обязательном порядке с учетом требований вышеуказанных стандартов.

ГОСТ Р ИСО 8082-2005 предусматривает проведение статических испытаний защитных устройств кабин лесозаготовительных машин, при этом опрокидывание заменяется на боковое нагружение.

Устройство защиты при опрокидывании ROPS (roll-over protective structure): система конструктивных элементов, смонтированных на машине, позволяющая уменьшить

опасность нанесения повреждения оператору, пристегнутому ремнем безопасности, при опрокидывании машины.

Объем ограничения деформации DLV (deflection-limiting volume): размеры зоны, которые определяют предельно допустимую деформацию устройств защиты при опрокидывании.

Согласно требованиям стандарта, поглощенную энергию следует определять по графику «деформация – усилие», при этом в период испытаний ни один элемент ROPS не должен входить в DLV.

Выявлено, что на сегодняшний день на территории РФ действует только одна испытательная лаборатория, занимающаяся экспериментальной оценкой защитных свойств кабин лесозаготовительных машин, при этом испытания требуют больших затрат времени и средств. Существующие же в настоящее время методы расчета не позволяют даже качественно оценить на стадиях проектирования и доводки соответствие требуемых параметров безопасности защитных устройств оператора их нормативным значениям. Не разработаны методики, учитывающие пластические деформации защитных устройств, наличие возможных дефектов изготовления.

В связи с этим была поставлена задача создания математической модели напряженно-деформированного состояния защитно-

го устройства кабины лесозаготовительного трактора, позволяющей с учетом упруго-пластических деформаций оценить величину поглощаемой энергии при боковом нагружении.

Методика расчета упругопластических деформаций защитной рамы кабины колесного трелевочного трактора.

1) Определение величины бокового усилия  $F$  согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 8082-2005

$$F = 60000(M/10000)^{1,2},$$

где  $M$  – масса колесной лесозаготовительной машины, кг.

В работе расчет проводился для трактора ТЛК-4-01 массой  $M = 14500$  кг. В этом случае величина бокового усилия составит  $F = 10^5$  Н. Защитное устройство при этом должно поглотить энергию деформации не менее

$$U = 12500(M/10000)^{1,25} = 12500(14500/10000)^{1,25} = 19890, \text{ Дж.}$$

2) Построение методом конечных элементов (МКЭ) модели защитной рамы с приложением бокового усилия  $F$  (рис. 1). Защитная рама кабины трактора ТЛК-4-01 представляется в виде стержневой конструкции (сечение стержня – полый квадрат, опоры – в виде шарнирных закреплений) [5].

3) Решение упругой задачи в первом приближении, т.е. определение методом конечных элементов напряженно-деформиро-

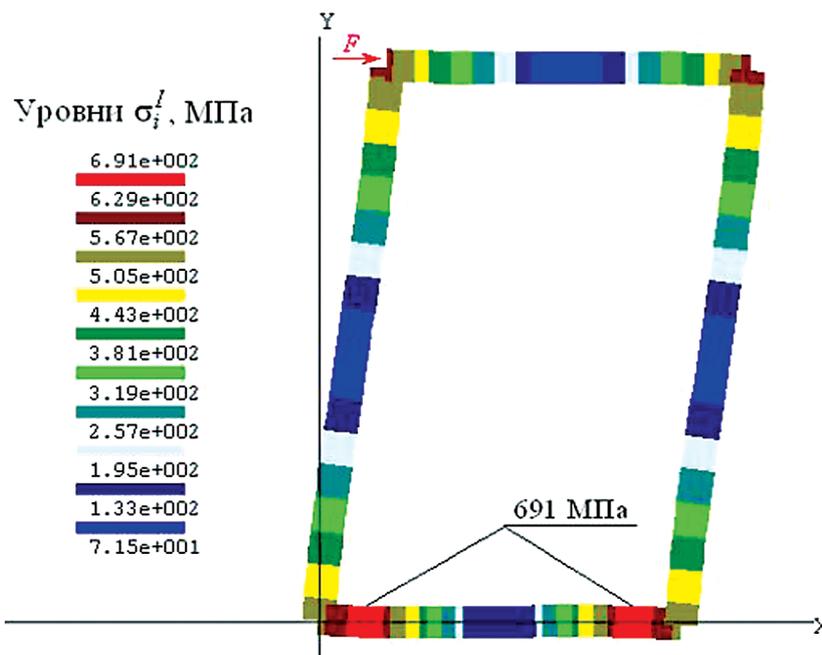


Рис. 1. Конечно-элементная модель ROPS

ванного состояния без учета пластического течения материала защитной рамы. Конечно-элементная модель с интенсивностью напряжений  $\sigma_i^I$  первой итерации, построенная при помощи пакета прикладных программ «Зенит», представлена на рис. 1.

4) Определение переменных параметров упругости [6, 7, 9] согласно методу, предложенному И.А. Биргером

$$E^* = E \frac{3\varphi}{2(1+\mu) + (1-2\mu)\varphi};$$

$$\mu^* = \frac{(1+\mu) - (1-2\mu)\varphi}{2(1+\mu) + (1-2\mu)\varphi},$$

где  $E$  – модуль Юнга;

$\mu$  – коэффициент Пуассона;

$\varphi$  – функция пластичности, определяющая зависимость параметров упругости от свойств пластического деформирования,

$$\varphi = \bar{\sigma}_i / \bar{\varepsilon}_i.$$

Здесь  $\bar{\sigma}_i = \sigma_i / \sigma_T$  – относительная интенсивность напряжений;

$\bar{\varepsilon}_i = \varepsilon_i / \varepsilon_T$  – относительная интенсивность деформаций;

$\sigma_i, \varepsilon_i$  – соответственно интенсивности напряжений и деформаций;

$\sigma_T, \varepsilon_T$  – соответственно предел текучести материала защитной рамы (сталь 15ХСНД)

и деформация, соответствующая пределу текучести.

Расчет ведется по идеализированной диаграмме деформирования, построенной в координатах  $\sigma - \varepsilon$  (рис. 2), при этом

$$\varphi = \operatorname{tg} \gamma \text{ при } \sigma_i > \sigma_T;$$

$$\varphi = \operatorname{tg} \alpha \text{ при } \sigma_i \leq \sigma_T;$$

$$\operatorname{tg} \beta = E_1/E,$$

где  $E_1, E$  – модули упругости участков  $CA$  и  $OC$  соответственно.

Окончательно для идеализированной диаграммы

$$\varphi = \begin{cases} 1, & \sigma_i \leq \sigma_T \\ \frac{\bar{\sigma}_i \cdot \operatorname{tg} \beta}{\bar{\sigma}_i - 1 + \operatorname{tg} \beta}, & \sigma_i > \sigma_T. \end{cases}$$

Таким образом, в нашем случае при начальном уровне интенсивности напряжений  $\sigma_i^I = 691$  МПа переменный модуль упругости составил  $E^* = 6389$  МПа.

5) Повторное решение задачи в упругой постановке МКЭ с использованием вычисленных значений  $E^*$  и  $\mu^*$ . Определение интенсивности напряжений второй итерации  $\sigma_i^{II} = 448$  МПа и нового значения  $E^* = 6054$  МПа. В нашем случае уже на третьем приближении различие в значениях переменного модуля упругости незначительно и составляет

$$\Delta E^* = (6389 - 6054)/6389 \cdot 100 \% = 5,2 \%.$$

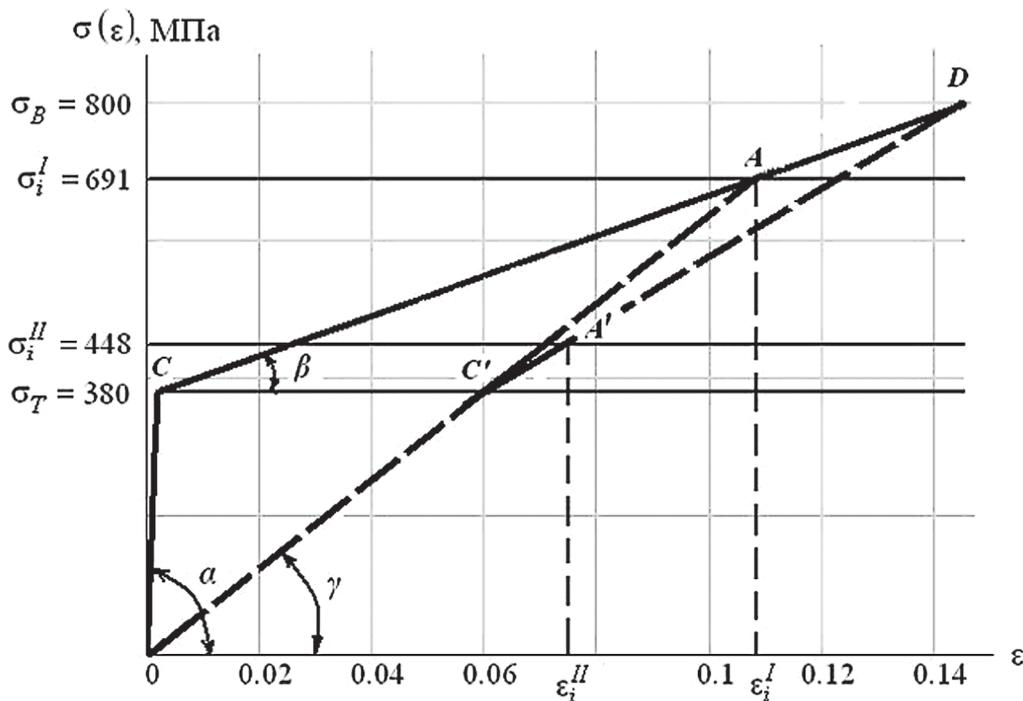


Рис. 2. Идеализированная диаграмма деформирования

**Проверка однородности дисперсий результатов (энергия в джоулях)**

№ серии	№ опыта			$\bar{U}_i$	$S_i^2, 10^6 \text{ Дж}^2$	$G$	$G_{кр}$
	1	2	3				
1	20687	27064	26405	24719	12,3	0,41	0,77
2	25739	18890	19127	21252	15,1		
3	19784	16963	16594	17780	3,05		
4	15690	19634	15283	16829	5,78		

**Проверка адекватности**

Параметр	$SS_{ад}, \text{ Дж}^2$	$S_{ад}^2, \text{ Дж}^2$	$SS_{воспр}, \text{ Дж}^2$	$S_{воспр}^2, \text{ Дж}^2$	$F$	$F_{кр}$
$U$	$3,85 \cdot 10^7$	$9,62 \cdot 10^6$	$7,25 \cdot 10^7$	$9,058 \cdot 10^6$	1,06	3,84

6) Совмещение модели DLV с конечно-элементной моделью защитного каркаса и определение предельной деформации  $\Delta_{DLV}$  при которой происходит касание элементом ROPS зоны DLV (рис. 3). В нашем случае для защитного каркаса трелевочного трактора ТЛК-4-01 предельно допустимая деформация, соответствующая достижению DLV, составляет  $\Delta_{DLV} = 0,396 \text{ м}$  ( $\epsilon_{DLV} = 2,4 \%$ ).

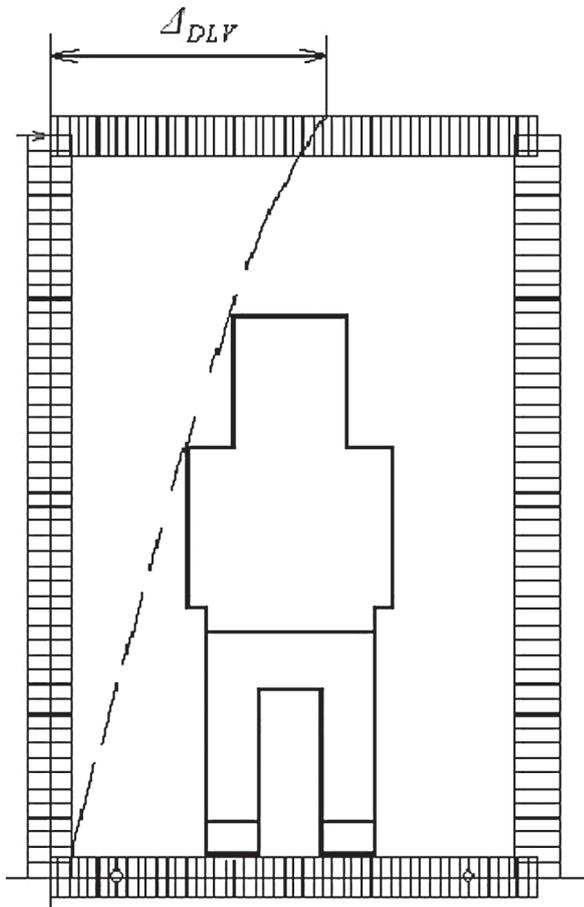


Рис. 3. К определению предельной деформации  $\Delta_{DLV}$

7) Определение по диаграмме деформирования  $\sigma - \epsilon$  величины энергии  $U_{DLV}$ , поглощенной конструкцией защитного каркаса, соответствующей предельно допустимой деформации  $\epsilon_{DLV}$ . Для нашего случая величина поглощенной энергии составила  $U_{DLV} = 20115 \text{ Дж}$ .

8) Сравнение полученной величины энергии  $U_{DLV}$  с величиной  $U$ , рекомендованной в соответствии с требованиями стандарта. Поскольку  $U_{DLV} \geq U$ , значит энергопоглощающие свойства ROPS в нашем случае для колесного скиддера ТЛК 4-01 отвечают требованиям действующих стандартов.

**Результаты экспериментальных исследований**

Поскольку при планировании эксперимента в основу определения числа опытов было положено стремление уменьшить суммарную случайную ошибку, было принято решение о проведении четырех серий опытов по три измерения в каждой серии (экспериментальные образцы защитных каркасов для каждой серии опытов изготавливались разными сварщиками).

Для проверки равнозначности опытов, составляющих эксперимент, проверялась гипотеза об однородности ряда дисперсий каждой серии опытов [8, 10]. Дисперсии называются однородными, если они определены по выборкам, извлеченным из одной и той же генеральной совокупности. Проверка гипотезы осуществлялась по  $G$ -критерию Кочрена. Опытные данные, а также результаты проверки представлены в табл. 1.

Поскольку расчетные значения критерия Кочрена не превысили табличных, был сделан вывод об однородности дисперсий.

Проверка адекватности предложенной математической модели с использованием F-критерия. В табл. 2 приведены результаты проверки.

В зависимости от уровня значимости  $\alpha = 0,05$  и чисел степеней свободы  $m_1 = m = 4$  и  $m_2 = N - m = 12 - 4 = 8$  определяем критическое значение критерия Фишера  $F_{кр} = 3,84$ . Поскольку расчетные значения критерия не превышают табличных ( $F < F_{кр}$ ), делаем вывод об адекватности математической модели.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 8082 – 2005 Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Устройство защиты при опрокидывании. Требования безопасности и методы испытаний.
2. ГОСТ Р ИСО 8083 – 99 Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Устройство защиты от падающих предметов. Требования безопасности и методы испытаний.
3. ГОСТ Р ИСО 8084 – 2005 Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Устройство защиты оператора. Требования безопасности и методы испытаний.
4. ГОСТ Р ИСО 3164 – 99 Машины землеройные. Защитные устройства. Характеристика объема ограничения деформации при лабораторных испытаниях.
5. Питухин, А.В. Оценка вероятности безотказной работы элементов конструкций с трещиноподобными дефектами / А.В. Питухин, И.Г. Скобцов, Д.А. Хвоин // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. № 9 (103). – Петрозаводск: ПетрГУ, 2009. – С. 85–87.
6. Питухин, А.В. Исследование влияния технологических дефектов на прочность защитного каркаса кабины колесного трелевочного трактора / А.В. Питухин, И.Г. Скобцов, Д.А. Хвоин // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – № 1. – 2010. – С. 89–91.
7. Питухин, А.В. К расчету упругопластических деформаций защитной рамы кабины колесного трелевочного трактора с использованием метода переменных параметров упругости / А.В. Питухин, И.Г. Скобцов, Д.А. Хвоин // Известия Санкт-Петербургской ЛТА. – 2011. – № 194. – С. 77–83.
8. Питухин, А.В. Экспериментальная оценка эффективности защитной рамы кабины колесного трелевочного трактора / А.В. Питухин, И.Г. Скобцов, Д.А. Хвоин // Фундаментальные исследования. – № 12. – 2011. – С. 155–157.
9. Питухин, А.В. Оценка энергопоглощающих свойств защитного каркаса кабины колесного трелевочного трактора / А.В. Питухин, И.Г. Скобцов, Д.А. Хвоин // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Матер. международной научно-технической конференции. – Вологда: ВГТУ, 2011. – С. 156–158.
10. Питухин, А.В. Организация и проведение испытаний макетного образца устройства защиты кабины колесного трелевочного трактора / А.В. Питухин, И.Г. Скобцов, Д.А. Хвоин // Опыт лесопользования в условиях Северо-Запада РФ и Фенноскандии: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию лесоинженерного факультета ПетрГУ. – Петрозаводск, 2011. – С. 33–35.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.Ю. ПРОХОРОВ, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ, канд. техн. наук

*prohorovv@yandex.ru*

Основными свойствами углерода, обеспечивающими его широкое применение, является высокая теплостойкость, низкая плотность, высокая химическая стойкость, биологическая совместимость, достаточно высокая тепло- и электропроводность. Одна из основных причин, обеспечивающих широкое применение графита для создания анти-

фрикционных материалов, низкий коэффициент трения по металлам, который может быть достигнут до 0,05.

Природу смазочной способности графита объясняют слоистым строением его кристаллической решетки. Считается, что большое расстояние между базисными плоскостями ( $3,5 \cdot 10^{-10}$  м) обеспечивает легкое скольжение слоев

друг по другу при условии адсорбции, особенно на призматические плоскости молекул воды, кислорода, окиси, двуокиси углерода.

Традиционные углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) представляют собой материалы, содержащие углеродные волокна в качестве армирующего элемента и объемно-изотропную матрицу в виде поликристаллической углеродной массы. Для армирования этих УУКМ применяются высокомодульные углеродные волокна на основе целлюлозы, полиакрилонитрила (ПАН). Современные углеродные волокна обладают широким диапазоном характеристик, которые зависят от исходного органического материала и условий получения волокна.

Производство углеродных волокон из ПАН волокон осуществляется в три стадии. Первоначально ПАН волокна растягиваются на 500–1300 %, затем стабилизируются на воздухе при температурах 200–800 °С. Процесс окисления ПАН волокна обычно ведется при растяжении. Затем осуществляется вторая стадия – карбонизация, проводимая при температурах от 1000 до 1600 °С. Третья стадия осуществляется путем графитации волокна при температуре 2500 °С.

Одним из важных параметров при получении углеродных волокон является температура термообработки, с повышением которой происходит окончательное совершенствование структуры, в частности, улучшение ориентации волокна, приводящее к возрастанию модуля упругости. Между ориентацией и модулем упругости наблюдается довольно четкая корреляция.

В настоящее время за рубежом для УУКМ применяются углеродные волокна, изготавливаемые из пека, не уступающие по своим свойствам углеродным волокнам из ПАН волокна и имеющие меньшую стоимость.

Одним из факторов, влияющих на свойства УУКМ, является структура армирующего каркаса в материале. Изготовление упрочняющих (армирующих) структур для УУКМ осуществляется из углеродных жгутов, стержней, тканей методами ручного и механизированного плетения, ткачества, намотки, а также созданием неупорядоченной

структуры в материале из хаотично распределенного волокна. Ориентация волокон используется для получения композиционных материалов с требуемыми в нужных направлениях механическими характеристиками или предпочтительной ориентации матрицы.

Среди различных видов каркасов наибольшее применение в качестве структур, обеспечивающих изотропные свойства в УУКМ, практическое применение нашли структуры 3*d* и 4*d*. Структура 4*d* обладает значительной проницаемостью и имеет макропористость более мелкую, чем макропористость 3*d* структуры. Последнее весьма важно для обеспечения прохождения газа при насыщении каркаса углеродной матрицей, так как позволяет получать углерод-углеродный композиционный материал с большей плотностью.

В отечественной практике разработаны каркасы различной структуры на основе стержней из углеродного волокна, углеродных жгутов и их различных сочетаний. Усиление изотропности создаваемого УУКМ может быть достигнуто применением структур 4*d*, 5*d*, 7*d*, 11*d*.

Одной из важных характеристик объемно-армированных структур является плотность каркаса. В отечественных разработках и за рубежом в настоящее время используются каркасы плотностью от 0,4 г/см<sup>3</sup> до 0,86 г/см<sup>3</sup>. Исследование зависимости плотности материала от плотности каркаса показывает, что падает плотность материала. При плотности каркаса выше  $\gamma_k = 1,0$  г/см<sup>3</sup> не удается получить насыщения материала до плотности выше  $\gamma_m = 1,5 \div 1,55$  г/см<sup>3</sup>. В то же время плотность каркаса  $\gamma_k = 1,16 \div 0,20$  г/см<sup>3</sup> позволяет получить материал с плотностью  $\gamma_m = 1,86 \div 1,88$  г/см<sup>3</sup>.

Однако достижение равномерности распределения плотности носит обратный характер и существенно зависит от однородности каркаса и, следовательно, его структуры. Так, при плотности каркасов порядка  $\gamma_k = 1,5$  г/см<sup>3</sup> различные структуры дают примерно одинаковую плотность материала на уровне  $\gamma_m = 1,75$  г/см<sup>3</sup> и подобное распределение плотности по объему. Насыщение плотных каркасов ( $\gamma_k = 1,5$  г/см<sup>3</sup>) дает хорошую равномерность, практически без макропор.

Процесс насыщения разреженных каркасов очень чувствителен к структуре каркасов и сопровождается возникновением макропор, хаотически расположенных в объеме. Существенно сказываются структура температурного поля и отличия в местных градиентах температур. Ликвидация макропор частично может быть осуществлена за счет уменьшения скорости насыщения, т.е. увеличения времени прохождения процесса.

Статистика и прямые эксперименты указывают на влияние гидрообработки каркаса на конечную плотность материала. Понятие гидрообработки включает как выдерживание аппретированных каркасов в ванне с водой в течение 0,25–2 часов, так и пропитку различными связующими с последующей сушкой. Эффект объясняется равномерным перераспределением волокон и ориентацией нитей, приводящих к увеличению проходных сечений и однородности открытой пористости. В результате гидрообработки каркасов удается поднять среднюю плотность материала с  $\gamma_m = 1,70 \text{ г/см}^3$  до  $\gamma_m = 1,75 \text{ г/см}^3$ .

Вторым основным компонентом УУКМ является углеродная матрица. Введение матрицы в каркас осуществляется либо через карбонизацию органического исходного материала, либо через осаждение пиролитического углерода из газовой фазы. Формирование материала матрицы включает в себя проникновение ее как внутрь пряди, так и между прядями.

Основными характеристиками, которыми должны обладать исходные органические материалы, используемые для формирования углеродных матриц, являются:

- высокий выход углерода, высокая способность наполнителя к пропитке связующим;
- низкое давление паров в процессе карбонизации, обеспечивающее минимум нарушения структуры в карбонизируемом материале;
- воспроизводимость свойств, полученных в процессе карбонизации.

В качестве исходных материалов для получения углеродной матрицы с применением процесса карбонизации используются органические смолы с высоким коксовым числом и пеки. При этом важно, чтобы смолы

имели высокое содержание ароматических углеводородов, высокий молекулярный вес и обладали развитыми поперечными химическими связями.

Наибольшее применение в качестве исходных материалов для получения углеродной матрицы получили резольные, новолачные, фенолформальдегидные, полиимидные, фурановые смолы и нефтяные пеки.

Физические характеристики пиролитического углерода определяются микроструктурой, которая, в свою очередь, зависит от состава газа при газофазном осаждении. Таким образом, можно изменить и контролировать характеристики пиролитического углерода изменением параметров, которые воздействуют на местный газовый состав, таких как температура, давление, расход газа, начальный состав газа и отношение площади поверхности подложки к объему газа.

С точки зрения достижения необходимого разнообразия по геометрии и сложности конструкции изделий из УУКМ перспективным направлением является метод получения углеродной матрицы насыщением углеродных каркасов из газовой фазы. Наиболее распространенными способами насыщения пироуглеродом являются следующие.

Пиролитический углерод может быть получен пиролизом углеводородов в вакууме или при атмосферном давлении в среде водорода, азота, инертных газов. По существующим представлениям, образование пироуглерода в процессе пиролиза простейших углеводородов может протекать по адсорбционно-диффузионному механизму.

В настоящее время известны различные способы осаждения пироуглерода из газовой фазы: изотермический процесс, процессы с перепадом температур, перепадом давления и пульсацией давления. Наиболее часто используются первые два способа. Изотермический процесс осуществляется следующим образом. Каркас, на который наносится пироуглерод, лучисто нагревается от нагревателя так, чтобы газ и каркас подвергались действию постоянной температуры. Насыщение осуществляется при температуре около 1100 °С. При этом методе на наружной

поверхности каркаса образуется корка пироуглерода.

Способ с перепадом температур, с применением индукционного нагрева заключается в том, что часть каркаса или весь каркас, подвергаемый насыщению пироуглеродом, поддерживается оправкой, которая нагревается от индуктора. Образование пироуглерода происходит на внутренней стороне изделия, прилегающей к оправке, так как там достигаются наиболее высокие температуры, необходимые для протекания реакции разложения углеводородов. Наружная поверхность изделия имеет более низкую, т.е. возникает перепад температур по толщине каркаса. При этом коркообразования на наружной стороне изделия не происходит. Процесс осаждения пироуглерода распространяется радиально через каркас, уплотняя его. Насыщение происходит при атмосферном давлении и температуре оправки ~ 1100 °С.

В отечественной практике существует схема насыщения изделий пироуглеродом из газовой фазы термоградиентным методом, который заключается в следующем: углеродный каркас в потоке углесодержащего газа нагревается изнутри. При этом температура разложения газа достигается только в узкой зоне

вокруг центрального нагревателя, дальше по радиусу заготовки температура ниже, поэтому пироуглерод не осаждается. После уплотнения заготовки до требуемой плотности в зоне вокруг нагревателя температуру повышают и уплотняют следующий участок и т.д., т.е. зона пиролиза перемещается от центра заготовки к ее поверхности. Потребляемую для нагрева мощность при этом непрерывно увеличивают. Особенность процесса заключается в том, что в течение всего времени на поверхности заготовки остается открытая пористость, обеспечивающая диффузионный доступ в зону пиролиза углеводородного газа и выход из нее образующегося водорода. В зависимости от параметров процесса осаждения пироуглерода из газовой фазы получают УУКМ с различными свойствами, приведенными в таблице.

Традиционные углерод-углеродные композиционные материалы имеют ограниченные рамки применения. Они изготавливаются в основном в виде массивных заготовок, из которых вырезаются детали.

Потребности различных отраслей привели к разработкам УУКМ в виде материала – конструкции. Подобные подходы позволяют создавать тонкостенные оболочки, стержни малых диаметров и большой длины, изделия сложной конфигурации. Формируя каркас и регулируя процессы насыщения, удается в стержневом варианте поднять прочность на растяжение и изгиб до величин порядка 5000 кгс/см<sup>2</sup>, т.е. в 2–3 раза выше, чем у традиционных. Возрастает деформация при изгибе. Тонкостенные оболочки с толщиной стенки ~ 1÷3 мм имеют близкие к этим значения прочности при высокой устойчивости.

Т а б л и ц а

**Свойства углерод-углеродных композиционных материалов**

Наименование показателя, обозначение	Пределы числовых значений
Плотность, $\gamma$ (г/см <sup>3</sup> )	1,73–1,96
Предел прочности при растяжении, $\sigma_p$ (г/см <sup>2</sup> )	
по оси Z	370–800
⊥ оси Z	650–910
Предел прочности при сжатии, $\sigma_c$ (г/см <sup>2</sup> )	
по оси Z	1000–2100
⊥ оси Z	550–2500
Предел прочности на изгиб, $\sigma_{изг}$ (г/см <sup>2</sup> )	1200–1500
Относительное удлинение, $\epsilon$	
по оси Z	0,2–0,40
⊥ оси Z	0,2–0,37
Модуль упругости E при растяжении (10 <sup>-3</sup> г/см <sup>2</sup> )	
по оси Z	170–500
⊥ оси Z	65–320
Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ (Вт/м К)	5,4–5,7

**Библиографический список**

1. Тарнопольский, Ю.М. Пространственно-армированные композиционные материалы. Справочник / Ю.М. Тарнопольский. – М., Машиностроение, 1987.
2. Бабкин, А.М. Управление свойствами композиционных материалов при проектировании технологий изготовления и модернизации машин / А.М. Бабкин, В.Ю. Прохоров // Матер. 2-й научно-практической конференции «Организация и развитие информационного обеспечения органов управления, научных и образовательных учреждений АПК», ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – Т. 2. – С. 35–43.

## МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА СИСТЕМ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

П.Б. РЯБУХИН, проф., декан факультета природопользования Тихоокеанского ГУ, д-р техн. наук,  
Н.В. КАЗАКОВ, доц. каф. технологии заготовки и переработки древесных материалов Тихоокеанского ГУ, канд. техн. наук,  
А.В. АБУЗОВ, доц. каф. технологии заготовки и переработки древесных материалов Тихоокеанского ГУ, канд. техн. наук

*tolp@mail.khb.ru*

В целях осуществления комплексного анализа систем устойчивого промышленного лесопользования (СУПЛ) предлагается метод, включающий формализацию и математическое моделирование связей, процессов и элементов лесопользования. При этом учитывались лесоэксплуатационные характеристики древостоев, рельеф местности, состояние лесных почв, технология и технические характеристики машин и механизмов. Построение модели СУПЛ и ее реализация осуществлялись на принципе динамического развития в виде компьютерной программы<sup>©</sup>, позволяющей оперативно определять в количественных показателях эффективность СУПЛ в целом и отдельно уровень различных технологических процессов (ТП) и систем машин и механизмов (СММ) с учетом лесорастительных природных (ЛПУ) и региональных производственных условий (РПУ).

Алгоритм построения программного комплекса<sup>©</sup> имеет следующий порядок действий.

### Предварительный этап

I. По лесопромышленным показателям была проведена классификация лесосек Дальневосточного региона, согласно которой определено ограниченное количество таксонов, описанных, в свою очередь, полимодальным законом распределения, что существенно позволяет сократить область поиска [1].

II. Произведено моделирование транспортных схем освоения лесосек, позволяющее определить интересующие нас параметры транспортного освоения лесосеки исходя из определенного, заданного или сгенерированного перечня показателей из всех существующих типов лесосек, т.е. непосредственно связанной с классификацией лесосек региона по лесопромышленным показателям [2, 4].

III. Формализовано поле теоретически возможных воздействий на предмет труда (ПТ), в рамках концепции устойчивого лесопользования, по полному условно замкнутому циклу, начиная от ухода за лесом до процедур добычи ресурсов, непосредственно изъятие сырья и мероприятия по возобновлению биоразнообразия лесной экосистемы и ее промышленного потенциала. Здесь для каждого воздействия на ПТ определяется соответствующий массив механизмов и агрегатов машин, способных выполнить работу по требуемому воздействию на ПТ, для каждого из которых приведены нормированные диапазоны их параметров. На основе проведенного анализа конструкций современной лесосечной техники и патентного поиска по данному вектору исследований создается база данных по конструктивным и технологическим параметрам машин и обрабатываемого оборудования ( $k$ -СММ) для всех возможных  $j$ -ТП [1].

IV. Обосновываются показатели качества и строятся математические модели для их количественной оценки [3].

### Основной этап

1. Генерируются или задаются количественные значения лесопромышленных показателей лесосек природно-производственных условий для  $i$ -го таксона и формируется массив исходных данных.

2. Формируется массив принципиально возможных технологических процессов, состоящих из совокупности элементов  $j$ -ТП, с помощью которых может быть отображено и осуществлено изменение качественного состояния ПТ (деревьев) и (или) его перемещение в пространстве и (или) во времени.

3. Для каждого действия п.2. формируется граф агрегатов и механизмов, их характеристик и параметров.

4. Генерируются или задаются ТП  $n$ -совокупностей действий по п. 2. путем разворачивания (распределения) по элементарным технологическим переходам (операциям) и формируется массив данных.

5. Распознаются переходы отдельно для операций перемещения и отдельно для изменения качественного состояния ПТ.

6. Вычисляются показатели качества для  $j$ -го принципа ТП, путем обращения к подпрограммам пооперационного расчета показателей качества.

7. Если  $n$ -ая совокупность элементов  $j$ -ТП не обеспечивает условию завершения ТП, то переходят к шагу 2.

8. Сводятся значения показателей качества для всех  $n$ -совокупностей элементов  $j$ -ТП и запоминается.

9. Если не определена хотя бы одна  $n$ -ая совокупность элементов  $j$ -ТП, то переходим к шагу 14.

10. Выбираются способы нормализации значений показателей качества (с разной размерностью) для решения многокритериальной задачи.

11. С использованием математического аппарата теории многопараметрической оптимизации определяется эффективный по Паретто глобальный диапазон значений экстремумов показателей качества, с учетом ограничений разработчика из всего множества  $j$ -х ТП и  $k$ -х СММ остаются  $m$ -ТП и  $n$ -СММ ( $m \in j; n \in k$ ).

12. Задается (или выбирается) метод сведения эффективной по Паретто области значений показателей качества (например, справедливого компромисса).

13. Вычисляется рациональное значение из  $n$ -ой совокупности элементов  $j$ -ТП и осуществляются другие необходимые технологические расчеты.

14. Формируется массив по показателям  $k$ -СММ, т.е. вариации параметров  $k$ -СММ для определенной на шаге 7 совокупности элементов  $j$ -ТП.

15. Если не все параметры  $k$ -СММ рассчитаны, переходим к шагу 5.

16. Значения показателей качества для эффективной  $n$ -ой совокупности элементов  $j$ -ТП сводятся со значениями параметров  $k$ -СММ и запоминаются в соответствии с количественными значениями ЛПУ.

17. Если не все ЛПУ рассчитаны, переходим к шагу 1.

18. Производится вывод результатов эффективной  $n$ -ой совокупности элементов  $j$ -ТП со значениями параметров  $k$ -СММ для конкретных значений ЛПУ.

### Завершающий этап

Для решения ряда задач комплексного анализа целесообразно применить в качестве показателя экономической эффективности величину прибыли предприятия от реализации продукции, полученной из всего объема древесины, отпущенной в рубку. Используемый показатель позволяет учесть не только экономическую эффективность ТП, но и уровень использования древесного сырья и, как следствие, степень занятости населения. Тем самым комплексно отражаются основные критерии устойчивого лесопользования – экономический, экологический, социальный [5].

Поиск эффективных СУПЛ для конкретных ЛПУ предлагается поставить как задачу многокритериального структурно-параметрического синтеза [6]. Математическая постановка задачи поиска совокупности элементов  $j$ -ТП и значений параметров  $k$ -СММ сводится к минимизации векторного критерия

$$(\Xi) \Xi = \Phi(W, T, D, M, P), \quad (1)$$

где  $W, T, D, M, P$  – глобальные диапазоны целевых функционалов.

$$\begin{aligned} \min M_{\Sigma} &= \int_{t_n}^{t_k} \int_{Y_1 \min}^{Y_1 \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \Phi(y, t) M(X_M, X_T, Y) \times \\ &\quad \times d_{y1} \cdot d_{y2} \cdot \dots \cdot d_{yp} \cdot d_t, \\ \min T_{\Sigma} &= \int_{t_n}^{t_k} \int_{Y_1 \min}^{Y_1 \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \Phi(y, t) T(X_M, X_T, Y) d_{y1} \cdot d_{y2} \cdot \dots \cdot d_{yp} \cdot d_t, \\ \min D_{\Sigma} &= \int_{t_n}^{t_k} \int_{Y_1 \min}^{Y_1 \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \Phi(y, t) D(X_M, X_T, Y) d_{y1} \cdot d_{y2} \cdot \dots \cdot d_{yp} \cdot d_t, \\ \min W_{\Sigma} &= \int_{t_n}^{t_k} \int_{Y_1 \min}^{Y_1 \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \Phi(y, t) W(X_M, X_T, Y) d_{y1} \cdot d_{y2} \cdot \dots \cdot d_{yp} \cdot d_t, \\ \min P_{\Sigma} &= \int_{t_n}^{t_k} \int_{Y_1 \min}^{Y_1 \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \Phi(y, t) P(X_M, X_T, Y) d_{y1} \cdot d_{y2} \cdot \dots \cdot d_{yp} \cdot d_t, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $t_n, t_k$  – временной интервал изменения условий;

$Y_{\min}, Y_{\max}$  – граничные значения  $i$ -ой характеристики разрабатываемых лесосек;

$X_M$  – параметры  $k$ -СММ;

$X_T, Y$  – соответственно, значения  $n$ -ой совокупности элементов  $j$ -ТП и природно-производственных условий эксплуатации техники;

$W(X_M, X_T, Y), T(\cdot), D(\cdot), M(\cdot), P(\cdot)$  – соответственно, математические модели затрат энергии, времени и потерь древесного сырья, минерализации почвы, повреждений оставляемых деревьев, молодняка, подроста;

$\varphi(Y, t)$  – обобщенная совместная плотность распределения характеристик лесосек.

Физический смысл данной постановки задачи сводится к поиску таких параметров машин ( $X_M$ ) и технологических процессов ( $X_T$ ) в диапазоне области их применимости для заданных состояний предмета труда (дерево, хлыст и т.д.), которые в различных природных условиях ( $Y_p$ ) минимизируют значения затраченной энергии ( $W$ ) и времени на реализацию технологического процесса ( $T$ ); потерь древесного сырья ( $D$ ); повреждения почвы ( $M$ ) и оставляемых на лесосеке деревьев, молодняка и подроста ( $P$ ). При этом параметры СММ и значения совокупности элементов  $j$ -ТП должны соответствовать действующим лесоводственным нормам и требованиям техники безопасности.

Таким образом, процесс поиска оптимальной совокупности элементов  $j$ -ТП и соответствующих параметров СММ, а также процедура определения уровня их эффективности при эксплуатации в различных природно-производственных условиях сводится к решению задачи векторного нелинейного программирования. Анализ физической сущности критериев оптимизации показывает, что они носят противоречивый характер. Естественно, что оптимизация технических систем по каждому из критериев в отдельности приведет к различным значениям оптимальных параметров. В связи с этим для совместного учета всей совокупности частных критериев

рассмотрим векторный критерий оптимальности

$$\Xi(X_M, X_T, Y) = [W_\Sigma, T_\Sigma, P_\Sigma, D_\Sigma, M_\Sigma]. \quad (3)$$

Векторный (комплексный) критерий позволяет решить задачу многокритериальной оптимизации, результат которой, в общем случае, не являясь оптимальным для одного из частных критериев, оказывается компромиссным для вектора  $\Xi(X_M, X_T, Y)$  в целом.

Решение задачи многокритериальной оптимизации (компромиссное решение)  $X^* \in D^*$  является эффективной точкой, если для нее справедливо неравенство

$$\Xi(X^*, X^*, Y) \leq \Xi(X, X, Y) \quad \forall X^* \in D^*. \quad (4)$$

Иными словами, если любая компонента  $\Xi(X_M^*, X_T^*, Y) \leq \Xi(X_M, X_T, Y)$ , то хотя бы для одного из критериев найдется точка, в которой выполняется строгое неравенство  $\Xi(X_M^*, X_T^*, Y) > \Xi(X_M, X_T, Y)$ .

Из определения эффективной точки следует, что она не единственная. Множество всех эффективных точек называется областью компромиссов или областью решений, оптимальных по Паретто. Оптимальность по Паретто векторного критерия  $\Xi(X_M, X_T, Y)$  означает, что нельзя более улучшать значения одного из частных критериев, не ухудшая хотя бы одного из остальных. Для определения экстремума по Паретто перейдем от задачи векторной оптимизации к задаче нелинейной оптимизации специально сконструированной скалярной функции цели

$$\Xi(X_M, X_T, Y) = \Phi\{W_\Sigma, T_\Sigma, P_\Sigma, D_\Sigma, M_\Sigma\}. \quad (5)$$

Сконструируем следующую свертку критериев

$$\Xi(X_M, X_T, Y) = \sum_{i=1}^s \eta_i [\hat{L}] \quad \forall \eta_i \geq 0.0; \quad \sum_{i=1}^s \eta_i = 1.0; \quad (6)$$

$$\hat{E}(X_M, X_T, Y) = (L(X_M, X_T, Y) - L_i^*) / L_i^*$$

– для минимизируемых критериев;

$$\hat{E}(X_M, X_T, Y) = (L_i^* - L(X_M, X_T, Y)) / L_i^*$$

– для максимизируемых критериев.

где  $L_i^*$  – значение  $i$ -го критерия, полученное при выборе оптимальных параметров с учетом только  $i$ -го показателя качества.

Экстремальные значения  $L_i^*$  получаются после решения оптимизационной задачи по одному из  $i$ -ых критериев.

Таким образом, обобщенная целевая функция для нашего случая представлена в следующем виде

$$\Xi = \left[ \begin{array}{c} \frac{W_{\Sigma}(X_M, X_T, Y) - W_{\Sigma}^*}{W_{\Sigma}^*} \\ \frac{T_{\Sigma}(X_M, X_T, Y) - T_{\Sigma}^*}{T_{\Sigma}^*} \\ \frac{P_{\Sigma}(X_M, X_T, Y) - P_{\Sigma}^*}{P_{\Sigma}^*} \\ \frac{D_{\Sigma}(X_M, X_T, Y) - D_{\Sigma}^*}{D_{\Sigma}^*} \\ \frac{M_{\Sigma}(X_M, X_T, Y) - M_{\Sigma}^*}{M_{\Sigma}^*} \end{array} \right], \quad (7)$$

где  $W_{\Sigma}^*, T_{\Sigma}^*, P_{\Sigma}^*, D_{\Sigma}^*, M_{\Sigma}^*$  – экстремальные значения частных критериев;

$W_{\Sigma}, T_{\Sigma}, P_{\Sigma}, D_{\Sigma}, M_{\Sigma}$  – текущие значения частных критериев.

Формализация показателей качества выполнена с использованием аналитических методов решения технологических задач. При определении энергоемкости и степени влияния различных факторов на время выполнения технологических операций машин и оборудования, участвующих в реализации технологических процессов лесозаготовок, были использованы теоретические исследования В.Г. Кочегарова, А.К. Редькина, В.Ф. Кушляева, Г.М. Ушакова и др.

### Выводы

1. Комплексный подход к оценке систем лесопользования лесопромышленного комплекса и их взаимодействия с обществом

и экосистемой позволяет установить наиболее эффективную структурную схему лесопользования с учетом лесоводственных, технико-экономических и социальных требований региона и степень использования древесных ресурсов.

2. Разработанный метод комплексного анализа позволяет определять объемы применимости существующих и перспективных систем лесозаготовительных машин и оборудования для конкретных природно-производственных условий региона.

### Библиографический список

1. Рябухин, П.Б. Лесозаготовки на Дальнем Востоке – состояние и перспективы / П.Б. Рябухин, А.П. Ковалев, Н.В. Казаков, Е.В. Луценко. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2010. – 283с.
2. Рябухин, П.Б. Формализация транспортной сети лесосек / П.Б. Рябухин, Н.В. Казаков, А.С. Абраменко // Вестник КрасГАУ. – № 6. – 2011. – С. 39–45.
3. Разработка системы оценки лесоводственных показателей / Отчет НИР под рук. Д.Ф. Ефремова. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1990. – 37 с.
4. Рябухин, П.Б. Определение путей перемещения трелевочных тракторов, работающих в комплексе с валочно-пакетирующей машиной. Актуальные проблемы лесного комплекса / П.Б. Рябухин, Е.В. Луценко // Сб. науч. трудов. – Вып.16 – Брянск: БГИТА, 2006. – С. 28–31.
5. Горошко, С.К. Экономика безотходных технологических лесного комплекса / С.К. Горошко. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 184 с.
6. Тычинин, А.В. Структурно-параметрический синтез системы граничного управления объектом с распределенными параметрами методами обратной динамики: дисс. ... канд. техн. наук / Тычинин А.В. – Самара: Самарский ГТУ. – 2008. – 112 с.

## ЛОГИСТИЧЕСКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Э.О. САЛМИНЕН, проф. каф. сухопутного транспорта леса СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, канд. техн. наук,

А.А. БОРОЗНА, проф. каф. сухопутного транспорта леса СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, канд. техн. наук

*salminen.lta@mail.ru*

Лесопромышленное производство можно рассматривать как логистический поток, состоящий из множества транспортно-тех-

нологических процессов движения лесопроизводства от места произрастания до конечного потребителя с изменением потребительских

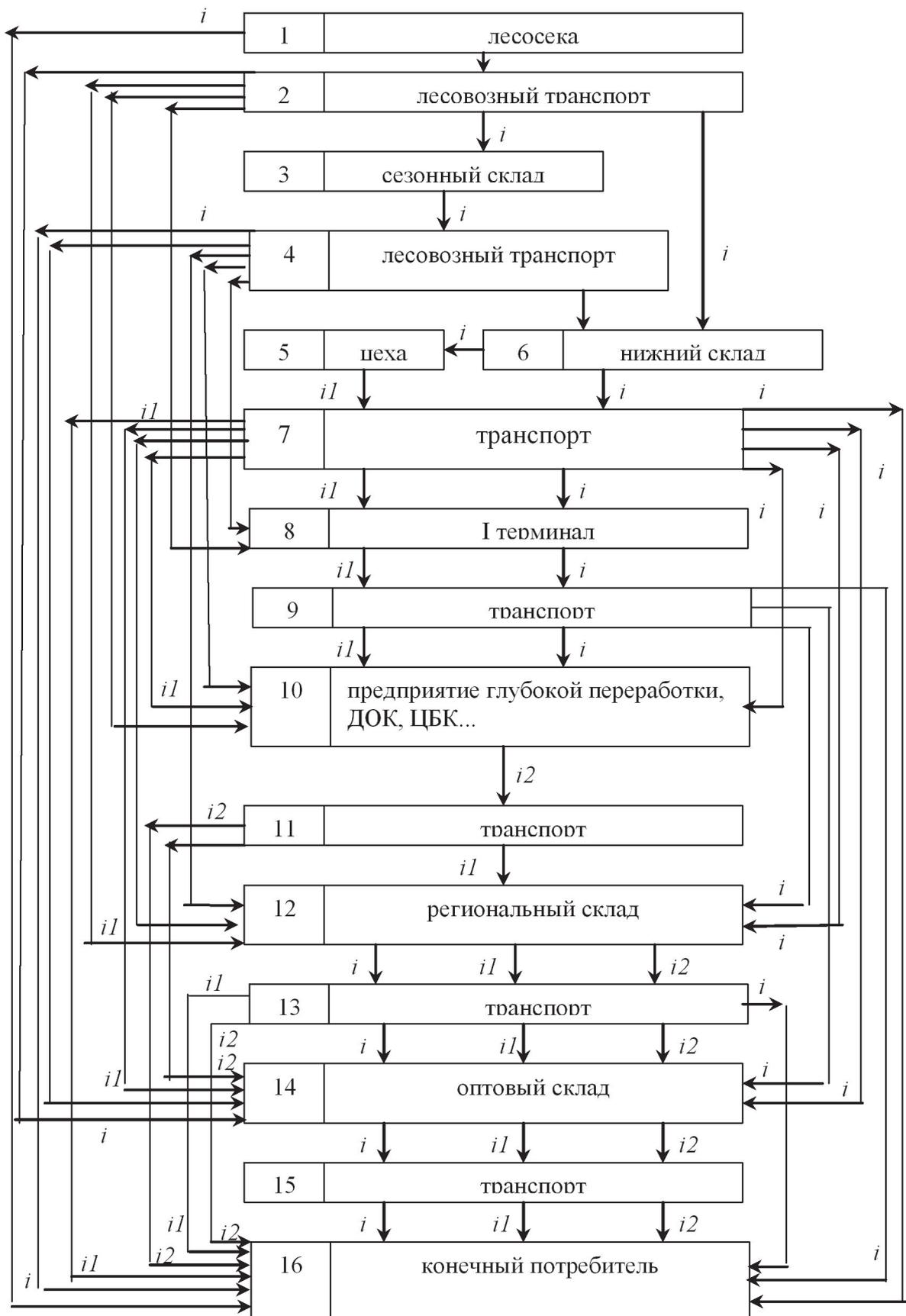


Рисунок. Принципиальная блок-схема функционирования интегрированной производственно-транспортно-коммерческой макрологистической системы лесопромышленного комплекса

свойств на отдельных этапах движения. С точки зрения лесопромышленной логистики лесопромышленный комплекс представляет собой многоуровневую макрологистическую систему. Нижний уровень может представлять собой мастерский участок, лесопункт, цех и т.п. Объединение нескольких самостоятельных лесопромышленных предприятий, имеющих каждый свои законченные транспортно-технологические системы и коммерческие интересы, представляет собой макрологистическую систему более высокого уровня, но в то же время может быть подсистемой системы еще более высокого уровня (регионального, межрегионального, отраслевого, холдинга, концерна).

Отличительной особенностью лесопромышленного комплекса как логистической системы является большая территориальная разобщенность, многопродуктивность, зависимость от погодно-климатических условий. Лесосырьевая база в зависимости от породно-качественного состава является источником сырья для множества различных перерабатывающих предприятий и в то же время вся произрастающая спелая древесина должна быть заготовлена, независимо от наличия в регионе потребителей соответствующей породы и качества. Отходы, получаемые в процессе заготовки и переработки древесины на различных этапах, также могут быть сырьем для дальнейшей переработки. Эти особенности определяют необходимость и целесообразность создания определенных производственно-технологических и коммерческих связей лесопромышленных предприятий различных направлений деятельности.

В целом в логистическом потоке создаются различные варианты производственно-транспортно-коммерческих связей и отношений. Из возможных конкретных вариантов связей и отношений и соответствующих им материальных потоков выбираются такие производственные, транспортные, коммерческие и иные организации, структуры и элементы макрологистической системы, которые наиболее эффективны как для отдельных логистических элементов и подсистем, так и для системы в целом.

Одновременно информационное обеспечение логистической системы должно обеспечить подтверждение законности рубок и сертификации лесопродукции на всех этапах от места произрастания до конечного потребителя.

Многовариантность материальных потоков, технологий производства, транспортных средств, коммерческой деятельности значительно усложняют решение общей задачи.

Принципиальная блок-схема функционирования интегрированной производственно-транспортной макрологистической системы лесопромышленного комплекса представлена на рисунке.

При разработке оптимальной, с точки зрения избранного критерия, системы функционирования макрологистической системы осуществляется комплексное планирование оптимальных производственно-транспортно-коммерческих отношений с обоснованием объемов производства, транспортирования и потребления продукции, необходимых функциональных процессов на каждом уровне и между ними.

На основе анализа возможных отношений между подсистемами построим принципиальные логистико-математические модели, адекватные транспортно-технологическим связям логистических функциональных процессов производства, транспортирования, коммерции и потребления, обеспечивающие оптимизацию процессов функционирования макрологистической системы лесопромышленного комплекса.

Макрологистическая система, представленная на рисунке, включает, по крайней мере, 47 микрологистических систем, которые могут функционировать как самостоятельные системы или входить в качестве подсистем в 14 систем, которые, в свою очередь, являются подсистемами общей макрологистической системы лесопромышленного комплекса (регионального, межрегионального, холдинга, концерна и т.д.)

Цель функционирования макрологистической системы может быть представлена в виде минимизации суммарных затрат, или

максимизации общих доходов и прибыли. Эти цели взаимно связаны между собой и одна следует из другой.

Математически условия функционирования макрологистической системы могут быть представлены в виде суммы затрат на функционирование соответствующих подсистем и ограничений, связывающих подсистемы

Представим логистико-математические модели подсистем, входящих в единую макрологистическую систему функционирования лесопромышленного комплекса.

**Подсистема 1.** Заготовка и доставка древесины непосредственно на нижний склад.

Технологический процесс. Заготовка  $i$ -х сортиментов ( $i = 1, 2, 3, \dots, I$ ) на  $j$ -х лесосеках ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ ) с использованием  $n$ -й технологии ( $n = 1, 2, 3, \dots, N$ ) и доставка  $a$ -м типом транспорта ( $a = 1, 2, 3, \dots, A$ ) на  $k_1$ -й нижний склад ( $k_1 = 1, 2, 3, \dots, K_1$ ).

Математическая модель может быть представлена в виде

$$Z_1 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^A \sum_{k_1=1}^{K_1} Q_{ijnak_1} z_{ijnak_1} \rightarrow \min,$$

где  $Z_1$  – затраты на заготовку и доставку древесины с лесосек на нижние склады, руб.;

$Q_{ijnak_1}$  – объемы доставки древесины,  $m^3$ ;

$z_{ijnak_1}$  – удельные затраты на заготовку и доставку древесины на нижние склады, руб/ $m^3$ .

**Подсистема 2.** Заготовка древесины и доставка на промежуточный (сезонный) склад.

Технологический процесс. Заготовка  $i$ -х сортиментов ( $i = 1, 2, 3, \dots, I$ ) на  $j$ -х лесосеках ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ ) с использованием  $n$ -й технологии ( $n = 1, 2, 3, \dots, N$ ) и доставка  $a_1$ -м типом транспорта ( $a_1 = 1, 2, 3, \dots, A_1$ ) на  $k$ -й промежуточный склад ( $k = 1, 2, 3, \dots, K$ ).

Математическая модель:

$$Z_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a_1=1}^{A_1} \sum_{k=1}^K Q_{ijna_1k} z_{ijna_1k} \rightarrow \min.$$

**Подсистема 3.** Доставка древесины с промежуточного склада на нижний склад.

Технологический процесс. Доставка  $i$ -х сортиментов ( $i = 1, 2, 3, \dots, I$ ), заготовленных

на  $j$ -х лесосеках ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ ), по  $n$ -й технологии ( $n = 1, 2, 3, \dots, N$ ), с  $k$ -го промежуточного склада ( $k = 1, 2, 3, \dots, K$ ).  $a_2$ -м типом транспорта ( $a_2 = 1, 2, 3, \dots, A_2$ ) на  $k_1$ -й нижний склад ( $k_1 = 1, 2, 3, \dots, K_1$ ).

Математическая модель

$$Z_3 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a_2=1}^{A_2} \sum_{k=1}^K \sum_{k_1=1}^{K_1} Q_{ijna_2kk_1} z_{ijna_2kk_1} \rightarrow \min.$$

Общие затраты на заготовку древесины и доставку на нижние склады будут равняться сумме затрат по предыдущим трем транспортно-технологическим схемам

$$Z_{\text{л}} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^A \sum_{k_1=1}^{K_1} Q_{ijnak_1} z_{ijnak_1} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a_1=1}^{A_1} \sum_{k=1}^K Q_{ijna_1k} z_{ijna_1k} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a_2=1}^{A_2} \sum_{k=1}^K \sum_{k_1=1}^{K_1} Q_{ijna_2kk_1} z_{ijna_2kk_1} \rightarrow \min$$

При отсутствии промежуточных складов  $Z_{\text{л}} = Z_1$

Ограничениями в системе лесозаготовительного процесса являются сумма объемов доставки на каждый нижний склад, которая не превышает пропускной способности соответствующего склада; объемы заготовок сортиментов не могут превысить соответствующие их объемы на каждой лесосеке; объем лесозаготовок по каждой технологии ограничивается наличием соответствующей техники; объемы вывозки древесины каждым типом транспорта ограничиваются их производительностью.

Аналогично составляются математические модели всех возможных подсистем.

В макрологистической системе лесопромышленного комплекса продукция поставляется как в виде переработанной продукции  $i$ , продукции первичной переработки  $i_1$  (доски, брус и т.п.) или в виде продукции глубокой переработки  $i_2$  (бумага, мебель и т.п.).

Затраты на каждом уровне включают стоимость приобретения с предыдущего логистического уровня и затраты на переработку и поставку на следующий логистический уровень.

Затраты по всей макрологистической системе равны сумме затрат на всех подсистемах.

Прибыль макрологистической системы равна разности сумм доходов и сумм затрат, включая налоги и прочие сборы, на всех подсистемах или равна сумме прибылей на каждом логистическом уровне.

Прибыль равна разности суммы доходов и суммы затрат и может рассматриваться как корпоративная прибыль, так и отдельно по видам сортиментов или по предприятиям, входящим в единую систему.

Ограничения в задаче являются: провозные возможности соответствующих типов транспорта; пропускные способности терминалов и складов; ограничения по объемам лесозаготовок по видам сортиментов и по объемам лесосек; объем выпуска продукции первичной обработки и глубокой переработки должен быть равен соответствующим объемам поставок всем потребителям; объем поставок каждому потребителю не может превышать его потребностей; объемы перевозок и поставок не могут быть отрицательными величинами.

Аналогично описываются все ограничения по всем видам лесопродукции.

Решение общей задачи оптимизации функционирования макрологистической системы представляет собой достаточно сложную задачу. Однако эта задача может быть решена последовательно оптимизацией отдельных подсистем. Метод последовательного решения задач планирования и управления производственно-транспортно-технологической и коммерческой деятельностью обоснован в связи с тем, что современные лесопромышленные комплексы представляют собой вертикально-интегрированные структуры, объединенные единой корпоративной

целью, но имеющие каждый на своем уровне собственные интересы.

Решение задач оптимального управления вертикально-интегрированными производственно-коммерческими структурами целесообразно разделять на задачи стратегического, тактического и оперативного управления. Представленная на рис. 1 блок – схема позволяет разделять общую задачу на ряд последовательных задач. Приняв в качестве критерия оптимальности получение максимальной прибыли, математическая модель может быть представлена как разность между доходами и затратами:

Заготовка  $i$ -х сортиментов ( $i = 1, 2, 3, \dots, I$ ) на  $j$ -х лесосеках ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ ), с использованием  $n$ -й технологии ( $n = 1, 2, 3, \dots, N$ ), доставка  $a$ -м типом транспорта ( $a = 1, 2, 3, \dots, A$ ) на  $k_1$  – й нижний склад ( $k_1 = 1, 2, 3, \dots, K_1$ ); переработка части древесины в цехах на продукцию  $i_1$  ( $i_1 = 1, 2, 3, \dots, I_1$ ) и доставка  $a_1$ -м типов транспорта ( $a_1 = 1, 2, 3, \dots, A_1$ ) на предприятия глубокой переработки  $k_3$  ( $k_3 = 1, 2, 3, \dots, K_3$ ) для глубокой переработки на продукцию  $i_3$  ( $i_3 = 1, 2, 3, \dots, I_3$ ), доставка готовой продукции глубокой переработки  $i_3$  ( $i_3 = 1, 2, 3, \dots, I_3$ )  $a_3$  типом транспорта ( $a_3 = 1, 2, 3, \dots, A_3$ ) конечному потребителю  $k_4$  ( $k_4 = 1, 2, 3, \dots, K_4$ ); доставка части не переработанной древесины с нижнего склада  $a_2$  типом транспорта ( $a_2 = 1, 2, 3, \dots, A_2$ ) на терминал  $k_2$  ( $k_2 = 1, 2, 3, \dots, K_2$ ); поставка с терминалов  $k_2$  ( $k_2 = 1, 2, 3, \dots, K_2$ )  $a_4$  типом транспорта ( $a_4 = 1, 2, 3, \dots, A_4$ ) на предприятия глубокой переработки  $k_4$  ( $k_4 = 1, 2, 3, \dots, K_4$ ) для переработки на конечную продукцию  $i_4$  ( $i_4 = 1, 2, 3, \dots, I_4$ ) и поставка конечной продукции конечному потребителю  $k_5$  ( $k_5 = 1, 2, 3, \dots, K_5$ )  $a_5$  типом транспорта ( $a_5 = 1, 2, 3, \dots, A_5$ ).

$$\begin{aligned}
 \text{Pr}_{12} = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^A \sum_{k_1=1}^{K_1} \sum_{i_1=1}^{I_1} \sum_{a_1=1}^{A_1} \sum_{k_3=1}^{K_3} \sum_{i_3=1}^{I_3} \sum_{a_3=1}^{A_3} \sum_{k_4=1}^{K_4} C_{i_3} Q_{ijnak_1 i_1 a_1 k_3 i_3 a_3 k_4} + \\
 & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^A \sum_{k_1=1}^{K_1} \sum_{a_2=1}^{A_2} \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{a_4=1}^{A_4} \sum_{k_4=1}^{K_4} \sum_{i_4=1}^{I_4} \sum_{a_5=1}^{A_5} \sum_{k_5=1}^{K_5} C_{i_4} Q_{ijnak_1 a_2 k_2 a_4 k_4 i_4 a_5 k_5} - \\
 & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^A \sum_{k_1=1}^{K_1} \sum_{i_1=1}^{I_1} \sum_{a_1=1}^{A_1} \sum_{k_3=1}^{K_3} \sum_{i_3=1}^{I_3} \sum_{a_3=1}^{A_3} \sum_{k_4=1}^{K_4} Q_{ijnak_1 i_1 a_1 k_3 i_3 a_3 k_4} {}^3 Q_{ijnak_1 i_1 a_1 k_3 i_3 a_3 k_4} - \\
 & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^A \sum_{k_1=1}^{K_1} \sum_{a_2=1}^{A_2} \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{a_4=1}^{A_4} \sum_{k_4=1}^{K_4} \sum_{i_4=1}^{I_4} \sum_{a_5=1}^{A_5} \sum_{k_5=1}^{K_5} Q_{ijnak_1 a_2 k_2 a_4 k_4 i_4 a_5 k_5} {}^3 Q_{ijnak_1 a_2 k_2 a_4 k_4 i_4 a_5 k_5} \Rightarrow \max
 \end{aligned}$$

Выводы. Представленная логистико-математическая модель и принцип ее последовательной реализации позволяет найти оптимальные решения при планировании и управлении производственной транспортно-технологической и коммерческой деятельностью лесопромышленного комплекса с

учетом локальных интересов отдельных производственных или коммерческих структур и общих корпоративных целей комплекса. Информационное обеспечение системы позволяет установить происхождение и наличие сертификации исходного сырья на каждом этапе логистической сети.

## МОБИЛЬНАЯ КАНАТНО-РЕЛЬСОВАЯ ТРЕЛЕВОЧНАЯ УСТАНОВКА (МКРТУ)

Ф.В. СВОЙКИН, студент лесоинженерного факультета СПбГЛТУ им. С.М. Кирова,  
И.В. ГРИГОРЬЕВ, проф. каф. лесопромышленных производств СПбГЛТУ им. С.М. Кирова,  
д-р техн. наук

*svoykin\_fv@mail.ru*

По данным Федерального агентства по лесному хозяйству на 2010 г., на территории Северо-Западного федерального округа (СЗФО) запас спелых и перестойных лесонасаждений, возможных для эксплуатации, составляет 39,3649 млн м<sup>3</sup>. Значительная часть этого запаса находится на территориях, неудобных для проведения лесосечных работ по почвенно-грунтовым и рельефным условиям. К таким территориям относятся площади с переувлажненными и заболоченными почво-грунтами, а также площади, относимые к холмисто-рядовым рельефам. Традиционная система машин лесозаготовительных предприятий, базирующаяся на тяжелых, колесных или гусеничных, лесопромышленных тракторах и машин на их базе, не может обеспечить эффективного освоения таких труднодоступных лесосек, что, наряду со слаборазвитой дорожной сетью, приводит к тому, что использование расчетной лесосеки за 2010 г. по СЗФО составляет в среднем 40,56 %. Причем, наиболее низкие показатели приходится на области, имеющие наибольший процент заболоченных и переувлажненных участков, а также участков с пересеченным рельефом. Это Республика Коми – 27,2 %, Мурманская область – 12,5 %; Псковская область – 31,7 %. Известно, что недоиспользование расчетной лесосеки приводит к накоплению перестойных древостоев, являющихся повышенным источником опасности лесных пожаров, а также возникновения очагов поражения вре-

дителями и болезнями. Кроме этого, лесозаготовки и деревопереработка традиционно занимают значительный удельный вес в экономике субъектов СЗФО. Это позволяет утверждать, что невозможность проведения эффективных лесозаготовительных работ существенно снижает экономическую отдачу от фазы лесозаготовок и увеличивает себестоимость готовой продукции деревопереработки из-за необходимости закупки сырья далеко за пределами региона, что увеличивает транспортную составляющую себестоимости.

В последние годы указанная проблема встала весьма остро. Это связано, во-первых, со значительным повышением среднемесячных температур в зимнее время года, что привело к невозможности освоения лесосек на переувлажненных и заболоченных почво-грунтах, традиционно разрабатываемых в зимний период, во-вторых, с истощением запасов спелого леса в удобных для разработки лесных массивах, расположенных на равнинных сухих площадях.

Особо следует подчеркнуть экологический аспект проведения лесосечных работ в условиях заболоченных и переувлажненных почво-грунтов и холмисто-рядовых рельефов. Известно, что биогеоценозы на указанных площадях являются особо ранимыми и чувствительными к сильной экологической нагрузке, каковой, безусловно, являются лесосечные работы. Вместе с тем, первейшим требованием к лесопользованию является его

неистощительность, а в перспективе и обязательное содействие расширенному воспроизводству лесных ресурсов – процессу непрерывного расширения производительной способности лесных биогеоценозов, задачей которого является получение через оборот рубки двух кубометров древесины там, где раньше был взят один.

Как было отмечено раньше, на экосистему лесосеки существенное влияние оказывает не только способ и интенсивность рубки, но и принятая система машин, режимы их работы. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что движители лесозаготовительных машин, включая трелевочные тракторы, разрушают структуру почво-грунта лесосек, повреждают корневую систему оставляемых на корню деревьев, что в перспективе приводит к водной и ветровой эрозии лесных почво-грунтов, развитию заболачивания, усыханию оставляемых на корню деревьев главных пород, смене пород на малоценные – мягколиственные, и другим негативным и, зачастую, необратимым процессам.

Вышесказанное показывает, что для повышения эксплуатационной и экологической эффективности лесозаготовительного производства в условиях труднодоступных лесосек необходимо использовать новые системы машин и обосновать режимы их работы для получения возможности достижения экологического и экономического оптимумов показателей эффективности лесосечных работ.

Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года предусмотрено развитие глубокой переработки древесины, для чего потребуется освоение новых лесных массивов с ритмичной в течение года поставкой древесного сырья потребителям. Вновь осваиваемые лесные массивы расположены в удаленных районах со слабо развитой транспортной инфраструктурой и характеризуются большой долей слабонесущих грунтов, заболоченной и труднодоступной местностью. Одним из вариантов освоения таких лесных массивов с ритмичной заготовкой древесины в течение года является применение мобильных канатных устано-

вок на лесозаготовке. Канатные трелевочные установки используют, как правило, в горных условиях. В то же время за рубежом идет интенсивное развитие конструкций канатных трелевочных установок для равнинных условий. В качестве примера, свидетельствующего об интересе к канатным трелевочным установкам для рассматриваемой цели, является сообщение о готовящемся проекте «Экологические технологии для лесозаготовок на болотных местностях Республики Беларусь, Республики Польша на основе канатных установок». Основная задача данного проекта – внедрение новых технологий на основе канатных установок чешской фирмы «Lagix» для трелевки древесины из труднодоступных по проходимости мест. Отечественной промышленностью мобильные канатные установки не выпускаются, но ранее были разработаны и испытаны в горных условиях опытные образцы установок на автомобильных шасси, опыт создания которых предусматривается использовать при разработке технологии и конструкции мобильных канатных установок для равнинной и пересеченной местности со слабонесущими и заболоченными грунтами.

Использование канатных трелевочных установок является одним из наиболее перспективных способов повышения экологической безопасности лесосечных работ для наиболее ранимых равнинных лесных экосистем – переувлажненных и заболоченных лесных участков [1].

Однако известно, что применение канатных установок на трелевке резко снижает общую производительность на лесосечных работах. Это особенно касается заболоченных и переувлажненных лесосек, которые обычно имеют малые запасы леса на гектаре и небольшие площади [1].

Имеющиеся технические решения по снижению трудоемкости канатной трелевки, например [2], принципиально не решают проблемы значительных трудозатрат на обслуживание мачт и канатной оснастки, а также их оперативного перемещения с пасеки на пасеку.

Для подвозки древесины от подножья горных лесосек к лесовозным дорогам в се-

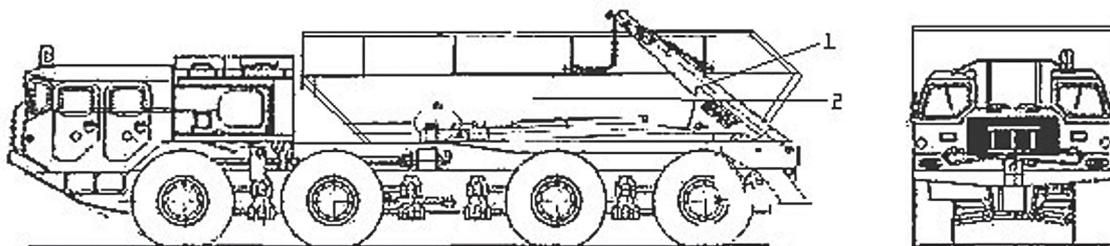


Рис. 1. Общий вид мобильной канатно-рельсовой трелевочной установки: 1 – рельсы. 2 – каретка (транспортное положение). 3 – 2 лебедки для перемещения каретки, установки и сбора рельс (в «голове» бункера стационарная, в «хвосте» – передвижная)

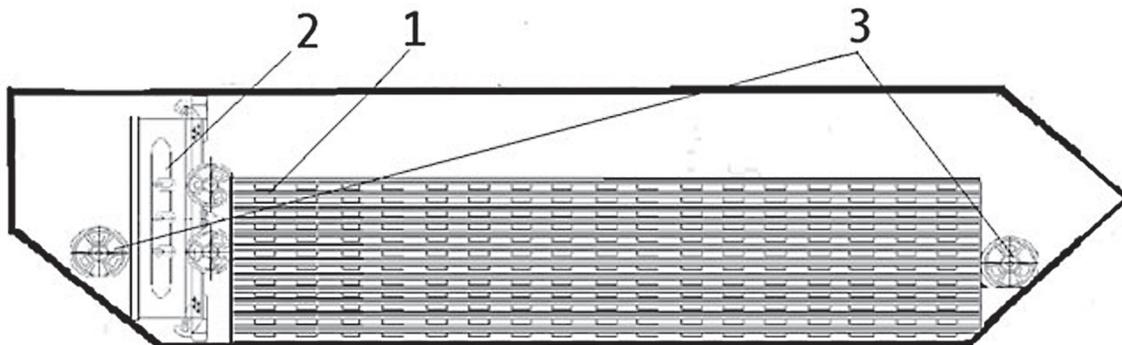


Рис. 2. Содержимое бункера

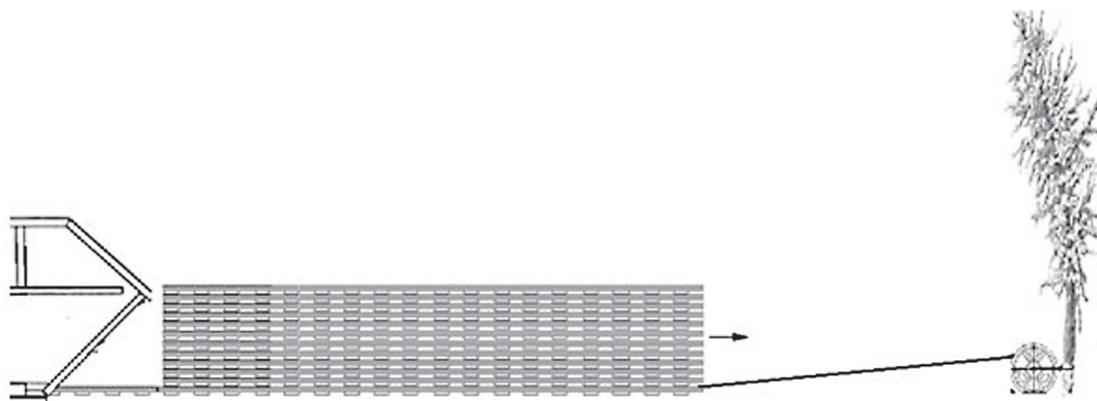


Рис. 3. Выдвижение рельс

редине прошлого века успешно применялись канатно-рельсовые дороги (КРД) [3].

Современные тяжелые колесные и гусеничные трактора не позволяют осуществлять заготовку древесины на слабонесущих переувлажненных грунтах IV и V категорий [4].

В статье предлагается техническое решение, позволяющее использовать все достоинства КРД для трелевки древесины в условиях заболоченных и переувлажненных лесосек.

Компоновка: на грузовой платформе МАЗ-7313 (рис. 1) устанавливается порталъ-

ный подъемник (с телескопическими вставками, увеличивающими длину вылета стрелы) (1) и съемная платформа-бункер (2).

Наличие съемной платформы-бункера позволяет располагать оборудование для трелевки (находящееся в бункере) на поверхности земли, что упрощает приведение в рабочее состояние системы.

В бункере находится (рис. 2) технологическое оборудование для трелевки: рельсы.

Принцип работы установки. Автомобиль подъезжает к месту, далее которого тракторная трелевка невозможна (граница



Рис. 4. Образование рельсовой дороги

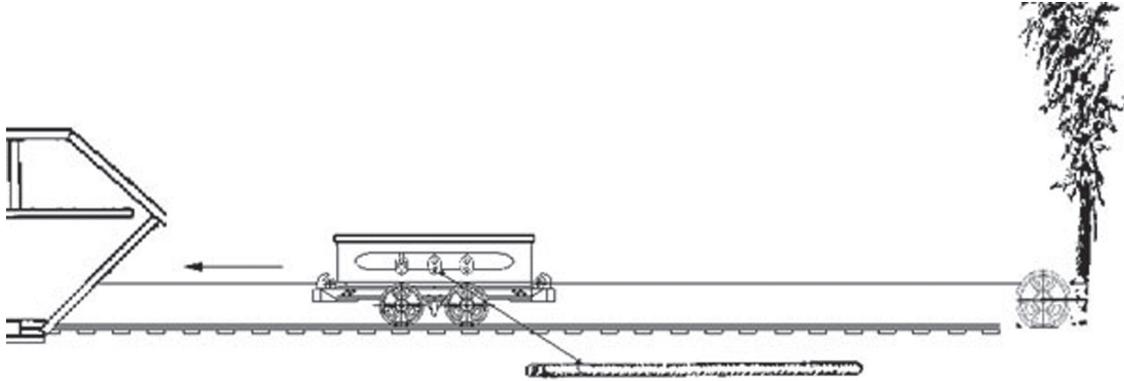


Рис. 5. Подтаскивание хлыста к автомобилю

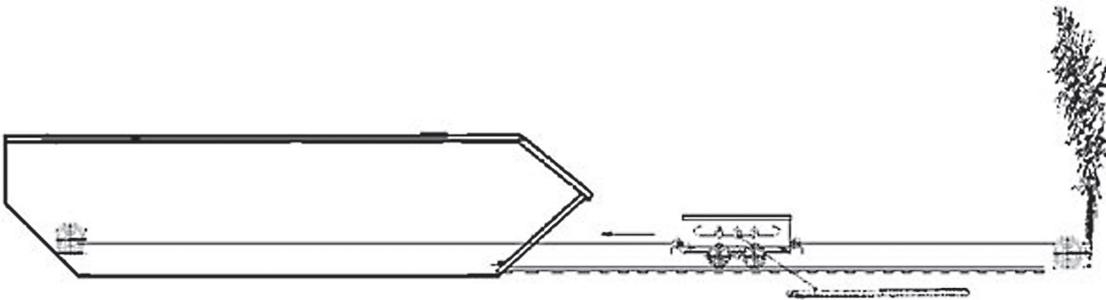


Рис. 6. Принцип работы КРД

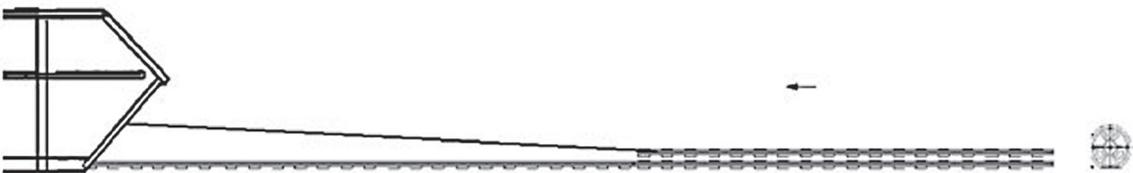


Рис. 7. «Сбор» рельсовой дороги

заболоченного участка местности). Далее происходит спуск бункера на землю (спуск бункера осуществляется по принципу спуска бункера мусоровозом). После спуска бункера на землю из него выдвигаются рельсы (рис. 3). Выдвижение рельс происходит посредством переносной автоматической лебедки (расположенной в бункере). Изначально пачка рельс скреплена канатом (выполненном в виде ремня с отверстиями под крюки). Канат окольцовывает пачку рельс вдоль, сужаясь по мере уменьшения пачки. Лебедка извлекается из бункера (предварительно опущенного на поверхность земли), устанавливается на

укрепленную подставку, расположенную непосредственно на поверхности земли, затем крепится к стволу дерева при помощи троса. Далее происходит растаскивание рельс посредством лебедки (рабочий цепляет трос за второй снизу модуль рельс, лебедка сматывает трос – происходит выдвижение модуля рельс и так далее, пока КРД не будет развернута). Рельсы укладываются и утрамбовываются под действием вышележащих рельс. Модули рельс соединяются между собой по типу соединения ж/д шпал.

Затем происходит растаскивание рельс посредством лебедки (рабочий цепляет трос

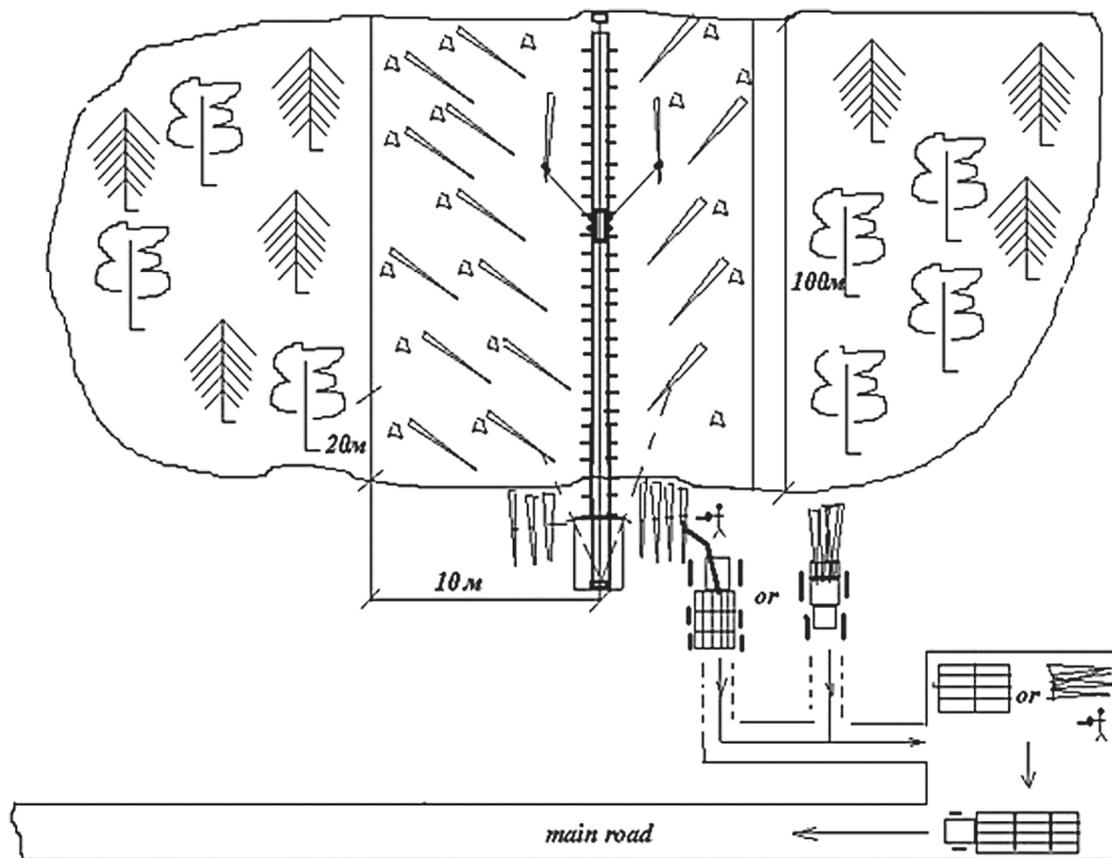


Рис. 8. Технология разработки труднодоступных лесосек МКРТУ

за второй снизу модуль рельс, лебедка сматывает трос – происходит выдвигание модуля рельс и так далее, пока КРД не будет развернута) Рельсы укладываются и утрамбовываются под действием вышележащих рельс. Модули рельс соединяются между собой по типу соединения ж/д шпал.

Далее рельсы разъезжаются, образуя рельсовую дорогу (рис. 4) длиной до 100 м.

Затем по рельсам движется канатная каретка, которая с помощью тросов подтаскивает хлысты (деревья), сваленные предварительно при помощи бензопил к автомобилю-базе, где происходит их дальнейшая обработка (очистка от сучьев, раскряжевка) (рис. 5), а затем погрузка на лесовоз с гидроманипулятором. К каретке сбоку приварено «ушко» (от 1 до 3), к которому прикрепляется трос. Трелюемый хлыст прикрепляется к другому концу троса.

Принцип работы КРД представлен на рис. 6. Каретка движется от бункера к лесосеке, откуда происходит забор и подтаскивание хлыстов к бункеру (холостой ход), затем ка-

ретка движется от лесосеки к бункеру (рабочий ход).

После завершения трелевки каретка «снимается» с каната, этим же канатом с помощью лебедки «собираются рельсы» (рис. 7). Завершение работы и сбор технологического оборудования в бункер происходит обратного процесса разборки: подтаскивание каретки к лебедке в бункере и установка в транспортное положение (вертикальное, рис. 2), сбор пачки рельс (сначала в бункер при помощи лебедки помещаются наиболее удаленные участки дороги, затем – ближние) (рис. 7). В завершение в бункер помещается мобильная лебедка.

Предложенная система имеет существенные преимущества по сравнению с известными видами трелевки: большую мобильность (по сравнению с канатной трелевкой), рельсы оказывают меньшее давление на грунт (возможность работы установки на грунтах со слабой несущей способностью (в болотистой местности), что способствует меньшей деформации лесного настила) (по сравнению с трелевкой тракторами).

На основании предложенной системы предлагается технология разработки труднодоступных переувлажненных лесосек (рис. 8): первичная вывозка древесины осуществляется канатно-рельсовой дорогой, у бункера происходит раскряжевка хлыстов на сортименты бензомоторной пилой, далее колесным сортиментоподборщиком (форвардером) осуществляется погрузка и транспортировка сортиментов к месту погрузки на автопоезда (лесопункт, магистраль), или раскряжевка хлыстов осуществляется на лесопункте (до лесопункта хлысты доставляются трелевочным трактором с пачковым захватом (колесным скиддером)).

Часовая производительность системы на базе канатно-рельсовой трелевочной установки ( $\Pi_{\text{ч}}$ ) составляет 8 м<sup>3</sup>/ч при среднем объеме хлыста ( $V_{\text{хл}}$ ) равном 0,4 м<sup>3</sup>, сменная производительность ( $\Pi_{\text{см}}$ ) составляет 52 м<sup>3</sup>/см (продолжительность смены ( $T_{\text{см}}=7\text{ч}$ ) при  $V_{\text{хл}}=0,4\text{ м}^3$ ).

Для сравнения производительность труда на канатной трелевке с валкой леса бензопилами с подтаскиванием и трелевкой хлыстов канатной мачтовой установкой при объеме хлыста  $V_{\text{хл}}=0,4\text{ м}^3$  :  $\Pi_{\text{ч}}=6\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\Pi_{\text{см}}=40\text{ м}^3/\text{ч}$ .

#### Библиографический список.

1. Григорьев, И.В. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации / И.В. Григорьев, А.И. Жукова, О.И. Григорьева, А.В. Иванов. – СПб.: ЛТА, 2008. – 176 с.
2. Григорьев, И.В. Тыловая мачта для мобильной канатной трелевочной установки / И.В. Григорьев, А.И. Жукова, Д.С. Киселев, А.В. Иванов и др. – Патент на полезную модель № 84181, опубл. 10.07.2009. – Бюлл. № 19.
3. Белая, Н.М. Канатные лесотранспортные установки / Н.М. Белая, А.Г. Прохоренко. – М.: Лесная пром-сть, 1964. – 300 с.
4. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Учебник. Ч. 1. Технология и машины лесосечных работ. Под ред. В.И. Патыкина. – СПб.: ЛТА, 2009. – 362 с.

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ НА БИОТОПЛИВЕ

К.В. СЕЛИВАНОВ, *асп. каф. электроэнергетики лесного комплекса МГУЛ*

*selivanov\_kv@mail.ru*

Приспособленность машин к техническому диагностированию (ТД) является комплексным свойством конструкции и характеризуется контролепригодностью, доступностью, легкоъемкостью, унификацией и стандартизацией инструмента, приборов и оборудования, оснащенностью встроенными средствами контроля, сложностью выполнения операций. Требования к приспособленности машин к ТД должны содержать требования к контролепригодности, конструктивному исполнению машин, методам и средствам ТД, устройствам сопряжения со средствами диагностирования, квалификации исполнителей. Периодичность операций ТД должна быть равна периодичности соответствующего вида технического осмотра (ТО). Перечень и периодичность проведения операций ТД устанавливаются с учетом требований норм

диагностирования (НД) и указываются в правилах ТО.

На стадии разработки для каждой машины устанавливаются вид, периодичность и объем контрольных работ в зависимости от условий и особенностей ее эксплуатации, правила ТД, номенклатуру средств ТД и режимы работы при диагностировании. Особенно это становится актуальным при использовании биотоплива. Определяют номенклатуру диагностических параметров, характеризующих техническое состояние машин и обеспечивающих нахождение возможных отказов. Устанавливают номинальные, допускаемые и предельные значения диагностических параметров, а также требования к точности их измерения. Для уменьшения потребности машин в ТД необходимо использовать узлы и агрегаты, не требующие совсем или требующие минимального количества операций для кон-

троля технического состояния, позволяющие уменьшить номенклатуру контролируемых параметров применяемых средств ТД, число операций и точек контроля.

Приборы и оборудование для ТД должны обеспечивать оптимальную погрешность измерений параметров состояния при эстетичности выполнения операций. Средства ТД должны разрабатываться в виде переносных приборов и устройств, на базе передвижных средств или стационарных пунктов диагностирования. Применяемые для ТД элементы должны быть типовыми и объединены в группы в зависимости от характера измерения параметра, месторасположения, способа соединения с объектом диагностирования.

Применяемые для ТД элементы должны быть универсальными, позволяющими проводить одновременный контроль нескольких параметров, обеспечивать возможность соединения с контролируемыми объектами посредством быстродействующих штуцеров, штекерных разъемов и других устройств в целях быстрого и надежного соединения. Получаемая информация о техническом состоянии объектов ТД должна предоставляться в доступном для считывания виде без дополнительных преобразований. Средства ТД должны обеспечивать контроль технического состояния узлов и агрегатов по оптимальному перечню параметров, позволяющих получить необходимую информацию для объективной оценки технического состояния машины.

На основании вышесказанного предлагается современная конструкция полезной модели для диагностирования ТА дизелей [1].

Полезная модель относится к области испытаний двигателей внутреннего сгорания, более конкретно, к устройствам для определения параметров процесса топливоподачи дизельной топливной аппаратуры (ДТА) и может найти применение при создании стендов для обкатки, испытаний и регулировки параметров ДТА, в том числе топливных насосов высокого давления (ТНВД) дизельных двигателей различной мощности.

К недостаткам аналогов данного устройства следует отнести сравнительно низ-

кую точность измерения основных параметров процесса подачи топлива, в том числе из-за отсутствия средств для определения параметров распыла топлива проверяемых форсунок. Посредством известных устройств невозможно одновременно определять пространственно-временные характеристики подачи топлива на нескольких линиях нагнетания испытываемого ТНВД в период регулировки, обкатки и эксплуатации дизельных двигателей различного типа.

Решаемой задачей полезной модели является создание удобного в эксплуатации, сравнительно простого в реализации устройства для эффективного определения характеристик ДТА. Дополнительно к указанной решается задача создания автоматической системы измерений с использованием современной техники обработки информации на АЦП и ПЭВМ для совершенствования параметров эксплуатируемых и проектируемых компонентов ДТА.

Достижимый технический результат заключается в повышении точности измерения массовых, частотно-временных и пространственных параметров топливоподачи, а также технического состояния топливных форсунок, в том числе за счет изменения схемы измерений, обеспечивающей одновременное определение указанных характеристик по нескольким линиям нагнетания ТНВД [2].

Решение поставленной задачи и указанный технический результат достигаются следующим образом. В устройстве для определения параметров процесса топливоподачи дизельной топливной аппаратуры, содержащем топливный насос высокого давления, измерительную камеру конической формы для размещения топливных форсунок, средства для измерения параметров впрыскивания топлива, включающие пьезоэлектрический датчик давления струи топлива из форсунок и аппаратуру для усиления и обработки полезного сигнала. Согласно полезной модели, измерительная камера содержит дополнительные пьезоэлектрические датчики для определения параметров технического состояния форсунок и фотоэлектрические датчики для определения параметров рассеяния

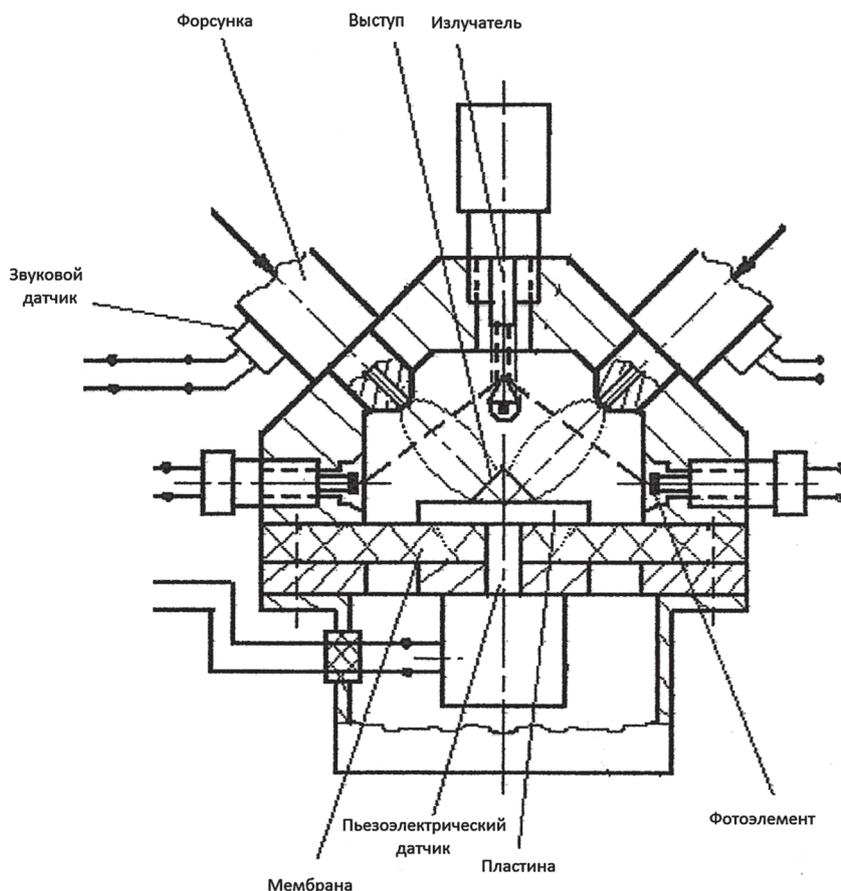


Рисунок. Образец диагностического стенда для диагностирования работы топливной аппаратуры дизелей

оптического излучения от светодиодного или лазерного источника на диспергированных частицах топлива. Причем, дополнительные пьезоэлектрические датчики установлены на корпусе каждой из форсунок вне измерительной камеры, фотоэлектрические датчики размещены на боковой поверхности внутри измерительной камеры под соответствующими форсунками. Источник оптического излучения установлен в отверстии на оси измерительной камеры с возможностью отражения и прохождения части потока излучения через область диспергированных частиц топлива на фотоэлектрические датчики, а выходы упомянутых датчиков соединены через многоканальный блок усилителя с полосой пропускания в ультразвуковой области и многоканальный блок аналого-цифрового преобразователя с входным портом персонального компьютера, оснащенного программным обеспечением для определения массовых и пространственно-временных характеристик подачи топлива.

Кроме того, в измерительной камере могут быть установлены топливные форсунки – калибры. Пьезоэлектрический датчик давления может включать пластину чувствительного элемента, снабженную центральным выступом и механически связанную с корпусом пьезоэлектрического акселерометра. Отражатель оптического излучения может быть установлен на оси измерительной камеры и выполнен в виде конуса или многогранной пирамиды, а персональный компьютер может быть оснащен программой N1 Lab VIEW 8.2 для интегрального анализа параметров дизельной топливной аппаратуры по данным измерений упомянутых датчиков (рисунок) [3].

Такое выполнение устройства для определения параметров процесса топливоподачи обеспечивает решение поставленной задачи по созданию достаточно простого в реализации и эксплуатации стендового устройства и достижение указанного технического результата по интегральному определению

массовых, частотно-временных и пространственных характеристик топливоподачи одновременно по нескольким линиям нагнетания ТНВД. Эффективность предложенного устройства повышается, в том числе за счет автоматизации измерений при использовании современной техники преобразования полезного сигнала с помощью указанных пьезо- и фотоэлектрических датчиков в совокупности с мощным программным обеспечением NI Lab VIEW 8.2 на базе IBM T-43. Предложенное устройство может быть использовано для контроля характеристик топливоподачи форсунок – калибров, определения параметров рабочих форсунок и других компонентов ДТА многоцилиндровых дизельных двигателей [4].

### Библиографический список

1. Данилов, С.В. Метод и цифровой прибор для автоматизированного определения цикловой подачи топлива при регулировании топливной аппаратуры дизелей: дисс. ... канд. техн. наук / С.В. Данилов – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2010. – 104 с.
2. Селиванов, К.В. Решение о выдаче патента на полезную модель «Устройство для определения параметров процесса топливоподачи дизельной топливной аппаратуры» / К.В. Селиванов, Ю.А. Шамарин, В.И. Панферов, М.И. Устинов.
3. Черноиванов, В.И. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники / В.И. Черноиванов, А.Э. Северный, М.А. Халфин, С.М. Халфин и др. – М.: ГОСНИТИ – ФГНУ «Росинформагротех». – Ч.1, II. – 2002. – 780 с.
4. Ждановский, Н.С. Диагностика дизелей автотракторного типа / Н.С. Ждановский, Б.А. Улитовский, В.А. Алилуев. – Л.: Колос, 1970. – 191 с.

## СИСТЕМА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ЛОГИСТИКИ ДЛЯ СОРТИМЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАГОТОВКИ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

А.П. СОКОЛОВ, доц. каф. тяговых машин ПетрГУ, канд. техн. наук,  
Ю.Ю. ГЕРАСИМОВ, вед. науч. сотр. НИИ леса Финляндии, д-р техн. наук

*a\_sokolov@psu.karelia.ru, yuri.gerasimov@metla.fi*

Актуальность проблемы логистики лесозаготовок существенно возросла в России в последние годы. В первую очередь это связано с ростом объемов лесозаготовок, осуществляемых с использованием сортиментной (скандинавской) технологии. Кроме того, все более актуальным становится такое направление, как использование древесной биомассы в производстве топлива для нужд местной энергетики. Это требует постановки целого ряда новых задач и поиска эффективных методов их решения на всех этапах лесозаготовительного производства. Применение сортиментной технологии и необходимость заготовки топливной древесины существенно усложняют задачу отыскания оптимального лесотранспортного плана, ввиду отсутствия нижних складов и увеличения номенклатуры производимой на лесосеке продукции. Это приводит к тому, что стандартные схемы организации логистики лесозаготовок и лесоперевозок оказываются малоэффективными, а построение более эф-

фективных планов, ввиду сложности задачи, может быть осуществлено только при условии использования современных методов математического программирования, реализуемых в специальном прикладном программном обеспечении [1–3, 5–7].

Этой проблематике посвящена работа, ведущаяся в Петрозаводском государственном университете при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», тема НИР «Система поддержки принятия решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы и отходов лесозаготовок в биоэнергетике» и в рамках проекта «Технико-экономическая и эколого-социальная оценка перспективности заготовки древесной биомассы для нужд местной энергетики с использованием логистического подхода и ГИС-технологий». Поставленная задача состоит в разработке компьютерной

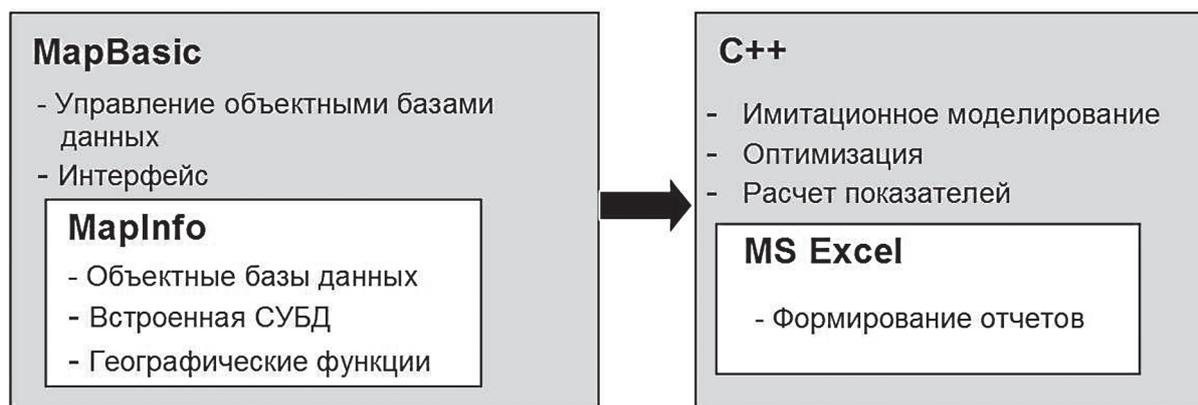


Рис. 1. Применяемые средства и методы

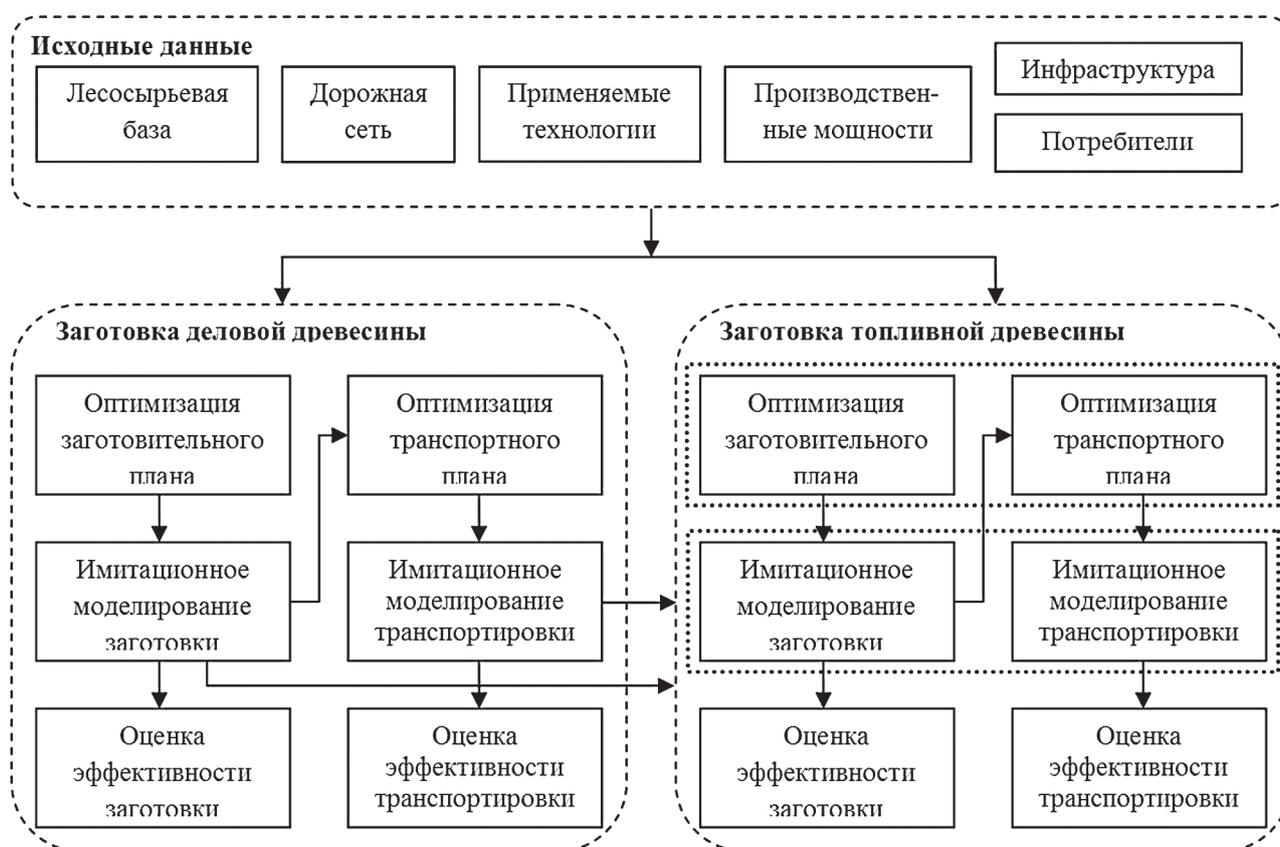


Рис. 2. Обобщенная схема методики построения логистической системы

системы поддержки принятия решений по оптимизации цепочки поставок древесины в условиях лесозаготовительных компаний России, применяющих сортиментную технологию, с учетом возможности использования лесосечных отходов и дровяной древесины для нужд биоэнергетики.

Основные функции разработанной логистической системы следующие [1, 2, 7]:

1. Составление оптимальных планов заготовки деловой древесины.

2. Имитационное моделирование процессов заготовки деловой древесины, включая расчет производительности и объемов выхода различных видов заготавливаемых сортиментов.

3. Поиск оптимальных маршрутов перевозок.

4. Составление оптимальных транспортных планов на вывозке деловой древесины (а также пакетов лесосечных отходов, если такая технология применяется).

Уровни планирования и примеры решаемых задач

Уровень планирования	Горизонт	Решения по заготовке	Решения по дорожной сети	Решения по транспорту
Стратегический	1–10 лет	Возможности аренды; выбор метода заготовок; инвестиции в оборудование	Инвестиции в инфраструктуру и оборудование	Выбор метода транспортировки и инвестиции в оборудование
Тактический	3 мес.–1 год	Объемы годовой заготовки; планирование заготовок; оборудование и степень его использования	Временные дороги; реконструкция и обслуживание дорог	Транспортный план; выбор степени использования оборудования
Оперативный	1 день – 3 мес.	Технологическая карта лесосеки		Маршруты движения

5. Имитационное моделирование вывозки деловой древесины и пакетов в соответствии с составленными оптимальными планами.

6. Расчет технико-экономических показателей для оценки составленных планов (около 10 различных показателей).

7. Имитационное моделирование и оптимизация процессов заготовки и транспортировки древесного топлива для биоэнергетики.

При решении поставленной задачи используются ГИС-технологии на базе пакета программ MapInfo Professional и языка программирования MapBasic, а также C++ для реализации оптимизационных алгоритмов (рис. 1).

Обобщенная схема методики, применяющейся в разработанной системе, представлена на рис. 2, а блок-схема самой системы на рис. 3 [2, 4, 8].

Исходными данными для работы системы служит информация о местоположении и характеристиках объектов хозяйствования (делянках, потребителях, станциях, гаражах), а также слой дорог в формате MapInfo с привязанной к нему базой данных. Второй составной частью системы является граф – специальным образом преобразованный слой дорог. Следующей важной частью системы является база данных по объектам хозяйствования (ОХ), содержащая все необходимые для расчетов характеристики ОХ, передаваемые через СУБД другим блокам системы. Блок поиска оптимальных маршрутов использует эвристический оптимизационный алгоритм для определения наилучшего маршрута движения от одной точки графа до другой. В блоке оптимизации плана перевозок реализован оригинальный алгоритм синтеза транспортного плана,

основанный на методах бесконечношагового (открытого) динамического программирования. Результатом его работы служит подробный посменный план для каждого из рассматриваемых автомобилей-сортиментозов.

Разработанная система может применяться для решения задач лесозаготовительной логистики на различных уровнях планирования и временных горизонтах. Примеры решаемых задач на разных уровнях приведены в таблице.

С целью проверки эффективности использования разработанной системы поддержки принятия решений по оптимизации цепочки поставок древесины в условиях лесозаготовительных компаний России на оперативном уровне был выполнен сравнительный анализ двух транспортных планов для одного из леспромхозов Республики Карелия [1, 2, 4]. Первый был построен традиционным путем (вручную), а другой – с помощью разработанной программы. Планировалась перевозка 10 различных сортиментов пятью сортиментозами на три предприятия ЛПК и на один терминал. Горизонт планирования – четверо суток.

Транспортные планы сравнивались по ряду показателей, которые вычислялись для каждых суток работы и в целом. Состав показателей следующий: суммарное время работы автомобилей в часах, суммарный пробег в километрах, суммарное число выполненных рейсов, общий перевезенный объем лесоматериалов, суммарный пробег с грузом, потребное число автомобилей, коэффициент использования занятых автомобилей, коэффициент использования пробега и объем перевезенных лесоматериалов на единицу пробега.

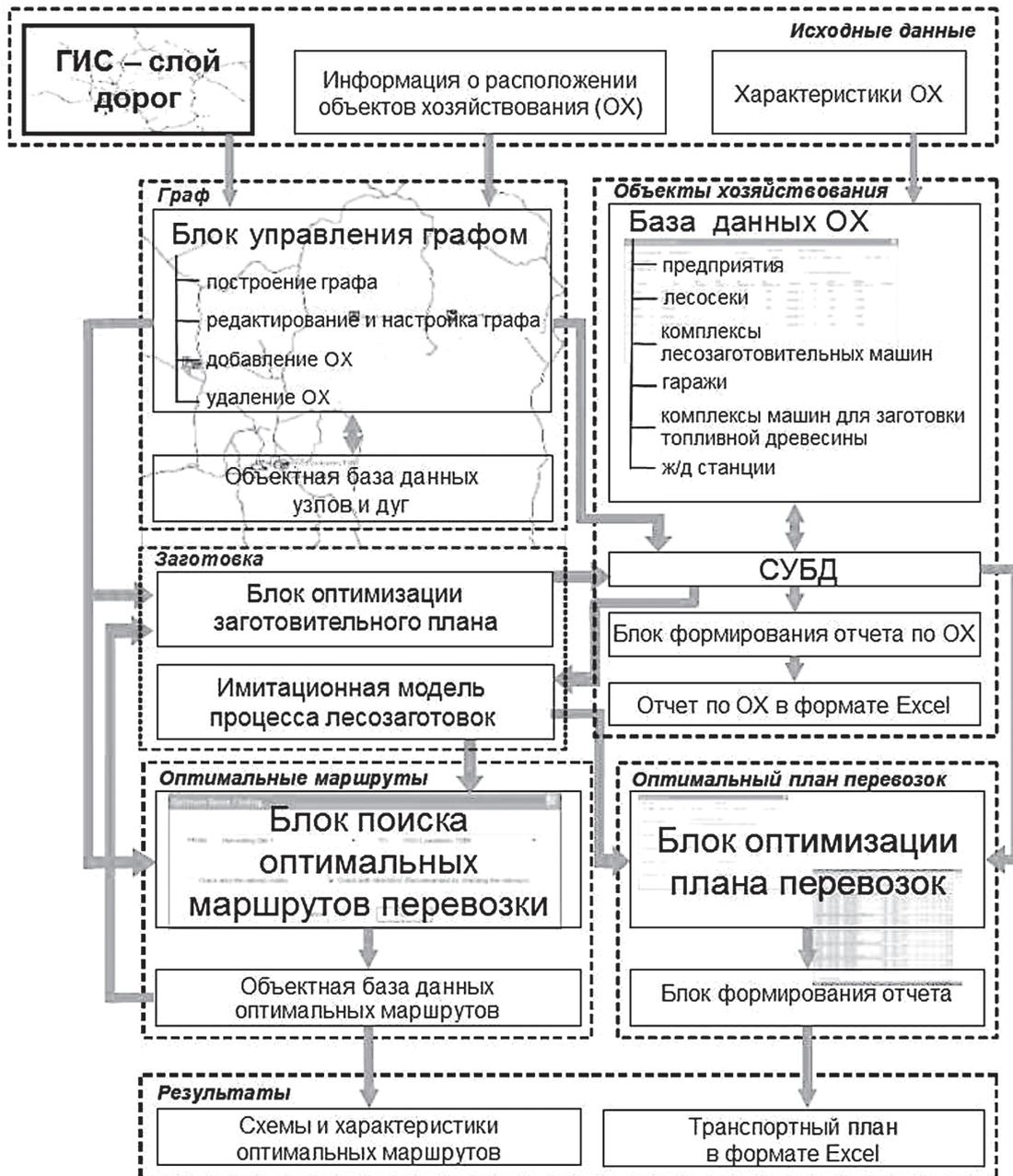


Рис. 3. Блок-схема оптимизационной системы логистики деловой и топливной древесины

В соответствии с оптимальным планом перевозится 2997 м<sup>3</sup>, на 9 % больше, чем по плану, составленному вручную. При этом общий пробег не изменяется, а суммарное время работы автомобилей уменьшается на 17 %, благодаря чему в первый день высвобождается два автомобиля, а в третий день – один автомобиль. Коэффициент использования пробега возрастает на 22 %, а объем перевезенных материалов на единицу пробега – на 9 %.

С целью проверки эффективности использования разработанной системы на тактическом уровне был выполнен сравнительный

анализ транспортных планов для одного из леспромхозов Ленинградской области [8]. Все планы были построены с помощью разработанной программы, но отличались числом задействованных сортиментовозов. Планировалась перевозка 9 различных сортиментов различным числом сортиментовозов (от 5 до 13) на 4 предприятия ЛПК и на один железнодорожный терминал. Горизонт планирования – 3 месяца.

Транспортные планы сравнивались по ряду вышеприведенных показателей. Оптимальным оказался план с применением 6 автомобилей. При этом в сравнении с базовым

вым вариантом (13 автомобилей) общий пробег сокращается на 28 %, а суммарное время работы автомобилей уменьшается на 23 %, благодаря чему может быть высвобождено до семи автомобилей. При этом объем перевезенных материалов на единицу пробега увеличивается на 39 %, а коэффициент использования автомобилей – на 1,5 %.

С целью проверки эффективности использования разработанной системы на стратегическом уровне была выполнена оптимизация поставок древесины для еще одного леспромхоза Ленинградской области. В отличие от предыдущего случая планы отличались не только числом задействованных сортиментовозов, но и использованием промежуточных складов в межсезонье. Планировалась перевозка 8 сортиментов от 4 до 24 сортиментовозов на лесозавод, 2 железнодорожных и 2 водных терминала. Горизонт планирования – 1 год.

Оптимальным оказался вариант с применением 8 автомобилей без использования сезонных складов. При этом в сравнении с базовым вариантом (24 автомобилей со складами) общий пробег сокращается на 18 %, а суммарное время работы автомобилей уменьшается на 19 %, благодаря чему может быть высвобождено до 16 автомобилей. Коэффициент использования пробега возрастает на 3 %, объем перевезенных материалов на единицу пробега увеличивается на 5 %, коэффициент использования автомобилей – на 33 %. По результатам расчетов, инвестиции в развитие дорожной инфраструктуры могут окупиться за 3 года.

Полученные результаты позволяют заключить, что разработанная логистическая система, основанная на геоинформационном подходе и оптимизационных методиках, позволяет существенно повысить эффективность заготовок и перевозок деловой и топливной древесины при использовании сортиментной технологии. Кроме того, применение разработанной системы позволяет автоматизировать процесс составления лесозаготовительных и лесотранспортных планов на предприятиях отрасли. Благодаря этому становится возможным составление нескольких вариантов планов с учетом возможных изменений как во

внутренней ситуации на предприятии, так и во внешних условиях. Планы могут быть оперативно переработаны, скорректированы и доведены до исполнителей в удобной табличной форме и в виде карт маршрутов. Удобный интерфейс и наглядное картографическое представление исходных данных и результатов работы должны помочь специалистам, занимающимся планированием лесозаготовок и лесоперевозок, более качественно выполнять свою работу и тем самым улучшить экономические показатели деятельности лесозаготовительных предприятий.

### Библиографический список

1. Соколов, А.П., Герасимов Ю.Ю. Геоинформационная система для решения оптимизационной задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал», № 3. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. С. 78–85.
2. Соколов, А.П., Герасимов Ю.Ю., Селиверстов А.А. Методика оптимизации парка автомобилей на вывозке сортиментов на основе имитационного моделирования в среде ГИС // Ученые записки ПетрГУ, 11(105), 2009. С. 72–77.
3. Герасимов, Ю.Ю., Соколов А.П., Катаров В.К. Разработка системы оптимального проектирования сети лесовозных дорог // Информационные технологии, № 1, 2011. С. 39–44.
4. Герасимов, Ю.Ю., Соколов А.П. Методика принятия решений по оптимизации лесозаготовительных планов // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс], № 69(05), 2011. – С. 320–334.
5. Герасимов, Ю.Ю., Сянев В.С., Соколов А.П., Катаров В.К. и др. Рациональное использование древесины и лесосечных отходов в биоэнергетике: оценка потенциалов и технологических подходов // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс], № 09(73), 2011. – С. 576–587.
6. Герасимов, Ю.Ю., Селиверстов А.А., Суханов Ю.В., Соколов А.П. Технологические цепочки и системы машин для сбора и переработки древесной биомассы в топливную щепу при сплошно-лесосечной заготовке в сортиментах // Системы. Методы. Технологии, № 4 (12), 2011. С. 101–107.
7. Gerasimov, Y.Y., Sokolov A.P., Karjalainen T. GIS-based Decision-Support Program for Planning and Analyzing Short-Wood Transport in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering, Vol. 29, Issue 2. Zagreb: University of Zagreb, 2008. P. 163–175.
8. Gerasimov, Y.Y., Sokolov A.P., Syunev V.S. Optimization of industrial and fuel wood supply chain associated with cut-to-length harvesting // Системы. Методы. Технологии, № 3 (11), 2011. С. 118–124.

## УСТОЙЧИВОСТЬ НА СДВИГ МЯГКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НАПОЛНЯЕМОГО ТИПА

М.А. СОРОКИН, *ст. преподаватель каф. транспорта леса МГУЛ*

*sorokin@mgul.ac.ru*

На кафедре транспорта леса МГУЛ в последние годы проводятся работы по созданию мягких гидротехнических сооружений наполняемого типа и их применению для улучшения гидрологических и эксплуатационных характеристик водных путей. Разработано несколько конструкций сооружений этого типа [1], изучены процессы взаимодействия сооружения с водным потоком в рабочем и транспортном положениях [2, 3], проведены натурные испытания.

В гидротехнических сооружениях наполняемого типа в качестве наполнителя обычно используется вода. Для увеличения веса сооружения и обеспечения работоспособности в случае нарушения герметичности оболочки в нее дополнительно могут быть помещены твердые элементы с удельным весом более 1000 кг/м<sup>3</sup>. [4]. Поэтому ГТС данного типа, если они заполнены водой или более тяжелым наполнителем, можно отнести к гравитационным, у которых значительная часть сдвигающих усилий компенсируется собственным весом сооружения.

На рис. 1 показана схема расчета устойчивости плотины наполняемого типа. Сдвигающая сила  $P$  – это результирующая сил давления на сооружение со стороны верхнего  $P_в$  и нижнего  $P_н$  бьефов, а также продольная составляющая силы воздействия лесоматериалов  $P_л$  (плоского плота, поперечной щети бревен и т.п.) в случае использования сооружения на лесосплавных реках.

$$P = P_в - P_н - P_л, \text{ Н.} \quad (1)$$

Сила давления воды на сооружение со стороны верхнего  $P_в$  и нижнего  $P_н$  бьефов определяется по формулам

$$P_н = \rho_{\text{изб}} S_{\text{н.верт}} = \rho g (H_н/2) H_н b, \text{ Н,} \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/см<sup>3</sup>;

$H_в$  и  $H_н$  – средние глубины в верхнем и нижнем бьефах соответственно, м;

$b$  – ширина сооружения, м.

Удерживающая от сдвига сила  $F$  зависит от веса сооружения  $G$ , фрикционных свойств грунта и материала в основании сооружения, а также силы противодействия фильтрационного потока на сооружение  $P_ф$ .

Вес гидротехнического сооружения  $G$  без учета веса оболочки, которым можно пренебречь, с достаточной точностью можно определить по формуле

$$G = \rho g b (\pi H_в l) / 4, \text{ Н,} \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность наполнителя, кг/см<sup>3</sup>;

$l$  – максимальный размер поперечного сечения сооружения, м<sup>2</sup>;

$b$  – ширина сооружения, м.

Силу противодействия фильтрационного потока на основание сооружения можно определить по формуле

$$P_ф = p_ф S_{\text{осн}} = \rho g [H - 0,5 l_0 / C_0] l_0 b, \text{ Н,} \quad (5)$$

где  $p_ф$  – среднее фильтрационное давление в основании плотины;

$C_0$  – коэффициент, характеризующий фильтрационные свойства грунта в основании сооружения;

$l_0$  – длина фильтрационного пути под сооружением, равная (при отсутствии гибкого флютбета) длине, соприкасающейся с основанием части поперечного сечения оболочки.

Сила воздействия сооружения на основание  $P_{\text{верт}}$  определяется как разность между его весом и силой противодействия проходящего под ним фильтрационного потока  $P_ф$

$$P_{\text{верт}} = \rho g b (\pi H_в l) / 4 - [H - 0,5 l_0 / C_0] l_0 b, \text{ Н.} \quad (6)$$

Удерживающая от сдвига сила  $F$  определяется по формуле

$$F = P_{\text{верт}} f, \text{ Н,} \quad (7)$$

где  $f$  – коэффициент трения (угол трения); равный, например, для полиэтилена по мокрому грунту  $f = 0,25$ .

Устойчивость гидротехнического сооружения на сдвиг характеризуется коэффициентом запаса устойчивости  $k = F/P$ , который не может быть меньше 1, и для железобетон-

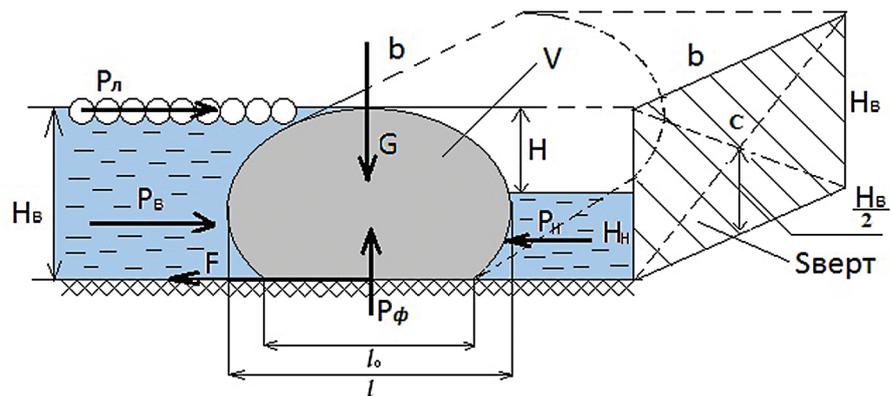


Рис. 1. Схема расчета устойчивости плотины наполняемого типа

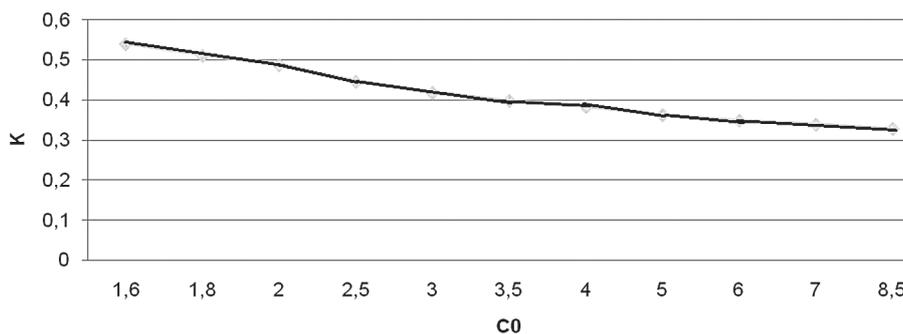


Рис. 2. Зависимость коэффициента устойчивости от фильтрационных свойств грунта



Рис. 3. Способы крепления сооружения за береговые опоры

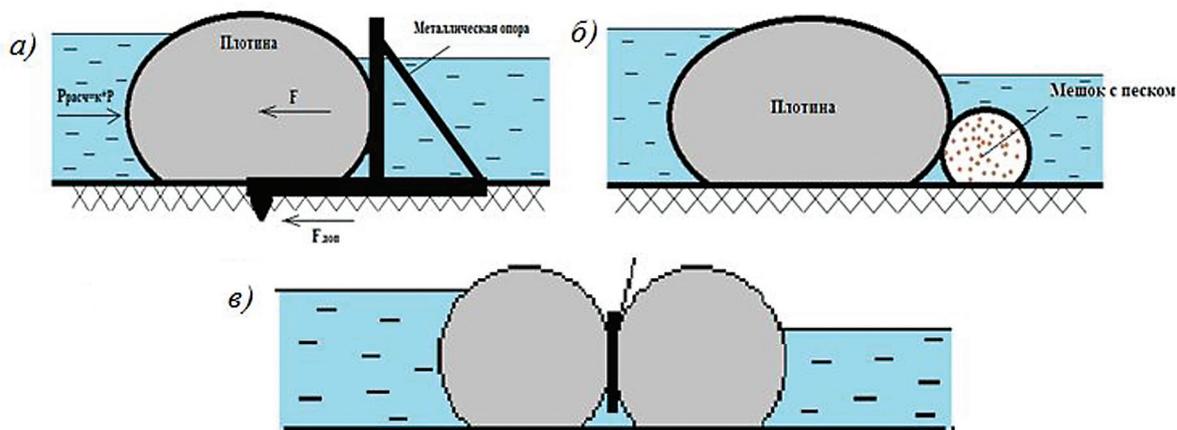


Рис. 4. Способы создания дополнительной удерживающей силы

ных плотин в зависимости от класса капитальности находится в пределах от 1,05 до 1,3.

На рис. 2 показана зависимость коэффициента запаса устойчивости  $k$  низконапорной плотины ( $H_0 = 1,7$  м;  $H_n = 0,7$  м,  $l = 2,5$  м) от коэффициента  $C_0$ , характеризующего фильтрационные свойства грунтов в ее основании.

Из приведенного графика видно, что при использовании в качестве наполнителя воды без каких-либо дополнительных утяжелителей сдвигающая сила  $P$  значительно превышает удерживающую силу  $F$ . Для обеспечения устойчивости сооружения на сдвиг с коэффициентом запаса устойчивости  $k$  дополнительная удерживающая сила  $\Delta F$  должна составить

$$\Delta F = kP - F, \text{ Н.} \quad (8)$$

Дополнительная удерживающая сила может быть обеспечена несколькими способами.

1. Путем помещения вместе с водой внутрь оболочки более тяжелого наполнителя.

2. Путем крепления сооружения за береговые опоры непосредственно за концы оболочки (рис. 3, слева), либо с помощью системы: лежень – ремни-подвески (рис. 3, справа);

3. С помощью дополнительных подпорных элементов со стороны нижнего бьефа в виде металлических или деревянных опор, либо емкостей с грунтом (песок, камни и т.п.) (рис. 4 а, б)

4. Путем установки двух и более соединенных между собой емкостей (рис. 4, в).

Опыт эксплуатации плотины с лежнем и ремнями-подвесками показал недостатки данной конструкции. В местах соприкосновения ремней-подвесок с оболочкой в ней возникают значительные деформации и местные напряжения. Это приводит к протечкам воды под сооружением в местах образования складок и повышает вероятность повреждения оболочки.

#### Библиографический список

1. Комяков, А.Н. Гидротехническое сооружение / А.Н. Комяков, М.А. Сорокин, С.П. Карпачев, И.Л. Шевелев. – Патент на полезную модель № 86601 от 01.06. 2009 г.
2. Комяков, А.Н. Гидродинамические характеристики плавучих контейнеров и контейнерных составов для водной доставки измельченных лесных грузов / А.Н. Комяков, М.А. Сорокин // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, № 4(73) – М.: МГУЛ, 2010. – С. 102–104.
3. Сорокин, М.А. Транспортные качества мобильных гидротехнических сооружений наполняемого типа в условиях безграничного потока и мелководья / М.А. Сорокин, А.Н. Комяков // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, № 3. – М.: МГУЛ, 2011. – С. 81–84.
4. Комяков, А.Н. Гидротехническое сооружение / А.Н. Комяков, А.Г. Евсеев, И.Л. Шевелев. – Патент РФ № 62615 от 20.04.2006 г.
5. Комяков А.Н. Плавучесть и остойчивость контейнера для водной доставки лесных грузов / А.Н. Комяков, И.Л. Шевелев // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, № 4. – М.: МГУЛ, 2010. – С. 99–101.

## СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК С УЧЕТОМ ПОТРЕБНОСТЕЙ БИОЭНЕРГЕТИКИ

Ю.В. СУХАНОВ, *ст. преподаватель каф. ТОЛК ПетрГУ*

*suhanov@karelia.ru*

Повышение цен на ископаемые энергоносители, запас которых непрерывно сокращается, и ухудшение экологической обстановки вынудили многие развитые страны обратить внимание на биоэнергетику и современные технологии, позволяющие эффективно использовать возобновляемые источники энергии для получения тепла и электричества. Одним из перспективных видов возобновляемого биотоплива, в странах

с обширными лесными массивами, является древесное топливо в виде дров, топливной щепы, гранул и брикетов. Например, в Финляндии уже сегодня в энергетическом балансе страны доля древесного биотоплива достигает до 20 % [1].

Россия, занимающая ведущее место в мире по покрытой лесами площади, обладает огромным потенциалом в области лесной биоэнергетики. Но из-за наличия относи-

тельно недорогих ископаемых энергоносителей биоэнергетика в России только начинает развиваться. Опыт применения в России современных систем машин для производства древесного биотоплива достаточно скуден. Поэтому большой интерес представляет зарубежный опыт, прежде всего стран Скандинавии, где производство энергии из древесины уже сегодня играет существенную роль в жизни общества. Но следует принять во внимание, что отличия природно-производственных и экономических условий не позволяют без соответствующей адаптации использовать опыт зарубежных стран в России. Например, в отличие от стран Скандинавии, при заготовках леса в России образуются значительные объемы низкосортной и дровяной древесины, которые можно использовать в качестве недорогого источника биомассы для производства древесного биотоплива [2].

На сегодняшний день в Финляндии и Швеции производство древесного топлива тесно интегрировано во все системы лесопользования. В качестве источников сырья используются порубочные остатки, тонкомерная древесина, в том числе от рубок ухода, а также древесина пней и корней [6]. В России, на первых этапах развития биоэнергетики, технологии производства древесного топлива должны быть интегрированы с процессами заготовки деловой древесины, а в качестве источника биомассы для производства древесного топлива следует рассматривать низкосортную и дровяную древесину, а также, в перспективе, порубочные остатки.

Потребителями древесного топлива могут быть котельные и мини-ТЭЦ, вырабатывающие тепло и электроэнергию для лесных поселков и предприятий лесного комплекса. Как показывает опыт европейских стран, в этом случае оптимальным видом древесного топлива является топливная щепа [3].

Переход на местные виды топлива приведет к снижению затрат на отопление и электроэнергию, к большей независимости от поставщиков энергии, к созданию рабо-

чих мест для местного населения, к улучшению состояния лесов и увеличению поступления налогов в муниципалитеты.

В настоящее время во многих регионах Северо-Запада России сортиментная технология постепенно вытесняет заготовку в хлыстах, а в Республике Карелия и Ленинградской области уже доминирует [7]. Поэтому наибольший интерес представляют технологии заготовки топливной щепы, которые можно встроить в процессы сплошнелесосечной заготовки деловой древесины сортиментами. Комплексная заготовка деловой древесины и древесной биомассы для производства топливной щепы позволяет снизить затраты на планирование, управление и другие затраты в расчете на произведенный кубический метр лесопродукции. Кроме того, это дает возможность задействовать одни и те же лесозаготовительные машины для выполнения различных видов работ, что позволяет минимизировать затраты.

Наибольший интерес вызывают следующие варианты технологических цепочек получения топливной щепы (рис. 1).

– Первый вариант – это сбор и трелевка древесной биомассы на погрузочную площадку с помощью форвардера, рубка биомассы в щепу передвижной рубительной машиной и вывозка готовой топливной щепы автощеповозом до потребителя.

– Второй вариант рассматривает применение при сборе порубочных остатков специальной пакетирующей машины (типа John Deere 1490D). В этом варианте потребителю доставляется не щепа, а плотно обвязанные пакеты отходов лесозаготовок.

– Третий вариант базируется на применении мобильной рубительной машины с контейнером (типа Амкодор 2902). В этом случае биомасса рубится в щепу непосредственно на делянке, перегружается в контейнер на погрузочной площадке и вывозится потребителю.

– Четвертый вариант рассматривает возможность производства топливной щепы только из низкосортной и дровяной древесины, без использования порубочных остатков.

Все порубочные остатки идут на укрепление волока.

Все вышеназванные варианты требуют изменений в технологии заготовки деловой древесины [4] и приобретения специализированных машин и оборудования, поэтому выбор той или иной технологии должен быть обоснован.

При решении вопроса о целесообразности комплексной заготовки деловой и топливной древесины на рубках главного пользования, а также при выборе технологии и системы машин, необходимо учитывать следующие факторы: технические характеристики машин, задействованных на заготовке; возможность и расстояние доставки древесного топлива до потребителя; характеристики древостоя; цены на продукцию лесной отрасли. Попробовать на практике все существующие технологии и машины по заготовке древесной биомассы и производству топливной щепы в различных условиях невозможно. Помочь в решении вопроса о целесообразности комплексной заготовки деловой и топливной древесины, а также оптимально подобрать технологию и систему машин, с учетом условий конкретного предприятия или региона может имитационное моделирование работы лесных машин.

Над построенными имитационными моделями можно проводить вычислительные эксперименты взамен экспериментов с реальными лесными машинами. Выводы и закономерности, полученные в результате работы адекватной имитационной модели, можно использовать в качестве рекомендаций для выбора технологий и машин для заготовки и производства древесного биотоплива. Кроме того, имитационная модель дает возможность производить вычислительные эксперименты целенаправленно, в виде активного эксперимента, что позволяет найти граничные условия применения того или иного решения, а также найти решения, улучшающие работу существующей системы машин.

Имитационные модели работы лесных машин, модель делянки и окружающей среды, модель транспортировки биомассы

или готовой щепы с помощью автотранспорта до потребителя будут создавать основу системы поддержки принятия решения о целесообразности комплексной заготовки деловой и топливной древесины на рубках главного пользования. Структура системы представлена на рис. 2.

Пользователями такой системы могут стать как лесозаготовительные предприятия, так и органы местного самоуправления, решающие вопрос о целесообразности применения местных видов топлива на котельных и мини-ТЭЦ региона.

Для проведения имитационных экспериментов с моделями лесных машин была разработана модель делянки. Условия работы лесной техники на делянке характеризуются множеством факторов, в первую очередь это таксационные показатели лесного насаждения, характеристики рельефа и грунта, климатические условия, сезон проведения работ. Модельная лесосека формируется на основе генерации горизонтальной и вертикальной структуры древостоя, а также климатических, грунтовых условий и рельефа.

Основные исходные данные при моделировании вертикальной структуры древостоя: породный состав древостоя, запас древесины на лесосеке, класс возраста древостоя, бонитет, средний диаметр на высоте груди по составляющим породам, средние высоты по составляющим породам.

В связи с тем, что необходимо получение данных, связанных с объектами карт формата MapInfo, модель делянки разбита на несколько частей. Одна часть, реализованная на языке MapBasic, отвечает за графический интерфейс пользователя, за ввод данных о делянке и древостое, а также позволяет размечать магистральный и пасечные волока, выбирать размещение погрузочной площадки. Вторая часть на основе информации, полученной от первой части, генерирует вертикальную и горизонтальную структуру древостоя, рельеф, климатические условия. Она реализована на языке C++, что позволило значительно сократить время моделирования.

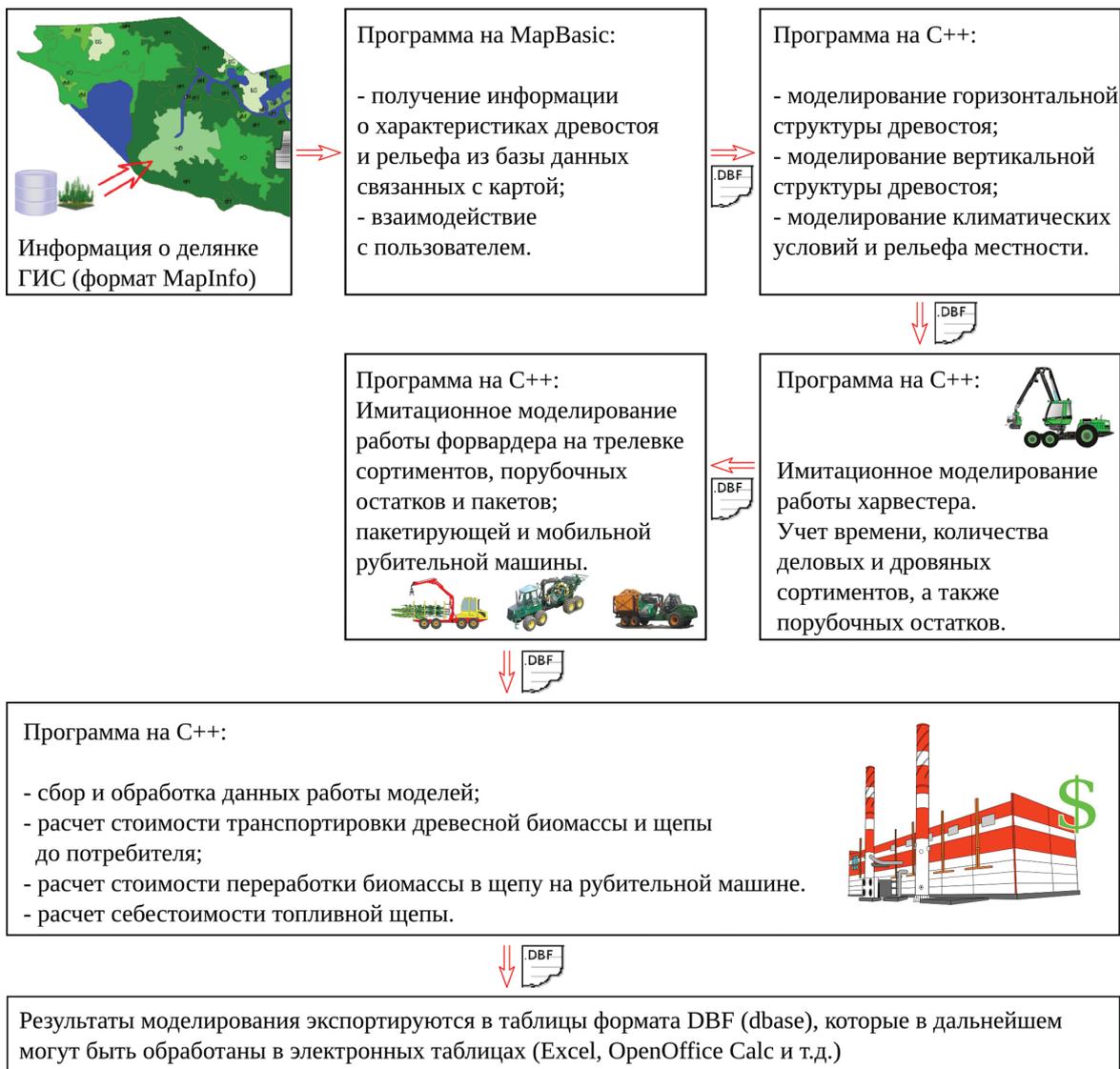


Рис. 1. Технологические цепочки получения топливной щепы

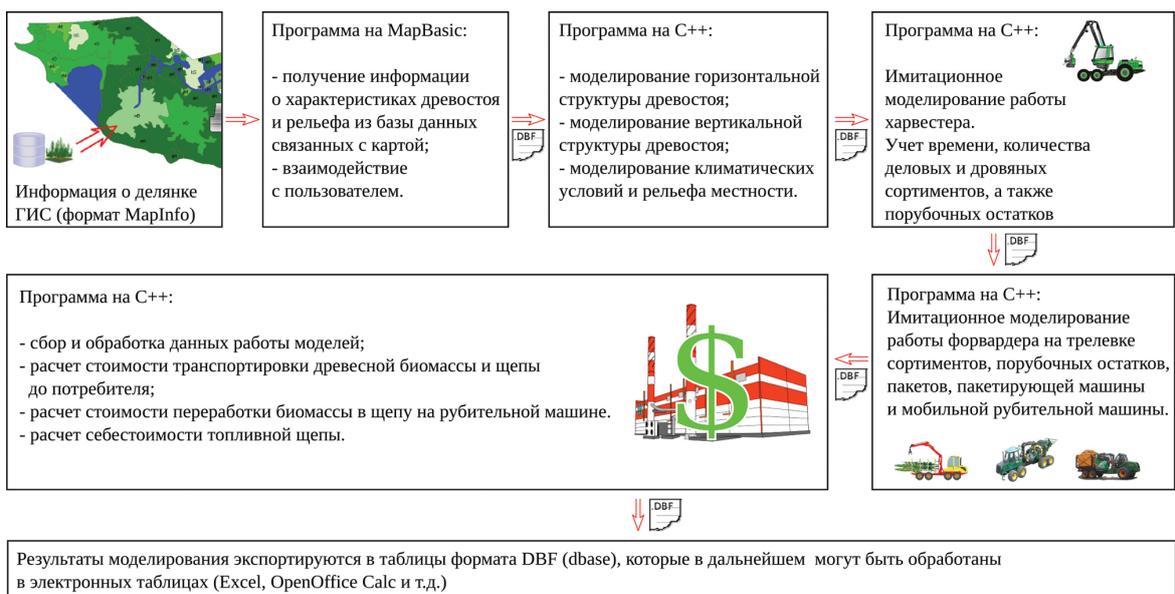


Рис. 2. Структура системы

В зимний период движение лесной машины будет зависеть от характеристик снежного покрова, в первую очередь от его высоты. Высота снежного покрова моделируется в зависимости от месяца проведения работ в лесу. Учитываются климатические особенности региона и разница в высоте снежного покрова на открытой местности и в лесу. В остальное время года, в зависимости от месяца, определяется влажность грунта.

Характеристики рельефа пользователем задаются как перепад высот в метрах и максимальная крутизна склонов в градусах. На основании этих данных строится специальная таблица, по которой, при моделировании работы лесных машин, определяются продольный и поперечный крен.

Модель позволяет моделировать насаждения, состоящие из четырех пород деревьев: сосна, ель, береза, осина. При необходимости моделирования других пород необходима небольшая модификация модели.

По результатам моделирования создается таблица, в которую заносятся характеристики каждого дерева, а также отмечается дерево в рубку. Программа позволяет моделировать как сплошные, так и несплошные рубки.

Имитационные модели лесных машин выполнены на языке C++.

Исходными данными для работы имитационной модели харвестера являются идентификационный номер машины из базы данных по техническим характеристикам и результаты моделирования деланки и окружающей среды. По номеру из базы данных считываются все характеристики харвестера и харвестерной головки, необходимые для моделирования.

Моделирование работы возможно для колесных машин и машин на базе экскаватора. В программе ведется расчет времени по операциям, учет количества сортиментов и их характеристики, расчет объема порубочных остатков. Программа позволяет указывать процент порубочных остатков, которые будут укладываться на укрепление волока,

остальные будут собраны и использованы как сырье для производства топливной щепы.

Моделирование происходит по следующему алгоритму.

Пока все деревья, назначенные в рубку, не будут свалены и обработаны, последовательно в цикле выполняются три подпрограммы:

- Подпрограмма расчета координат следующей технологической остановки рассчитывает оптимальное место остановки.

- Подпрограмма передвижения, учитывающая время, затраченное харвестером на перемещение между технологическими остановками. Дополнительно подпрограмма запоминает количество проходов техники по волоку, рассчитывает глубину колеи (без учета армирования порубочными остатками) и уплотнение почво-грунта.

- Подпрограмма обработки дерева, в которой ведется расчет времени наводки манипулятора, зажима, срезания (с учетом валки), подтаскивания дерева, обрезки сучьев и раскряжевки на сортименты. Также в этой подпрограмме ведется учет срубленных деревьев, сортировка сортиментов по диаметру в верхнем отрезе на группы, расчет объема порубочных остатков. Заполняется таблица с координатами расположения сортиментов и порубочных остатков.

В связи с тем, что алгоритмы работы форвардера, машины для пакетирования порубочных остатков и мобильной рубительной машины с контейнером во многом схожи, то для моделирования работы машин используется одна программа.

Программа позволяет моделировать работу мобильной рубительной машины, пакетизирующей машины и работу форвардера для трех вариантов:

- Сбор сортиментов.
- Сбор порубочных остатков.
- Сбор пакетов с порубочными остатками за пакетизирующей машиной.

В модели учитывается количество проходов техники по волоку и рассчитывается глубина колеи и уплотнение. Если глу-

бина колеи превысит клиренс машины, то моделирование останавливается и делается вывод о недостаточной несущей способности грунта. В этом случае порубочные остатки должны идти на укрепление волока.

Для форвардера, в зависимости от задач моделирования, рассчитываются объемы стрелеванных сортиментов, отходов или пакетов, а также время работы.

При моделировании работы пакетирующей машины рассчитывается количество пакетов, их суммарный объем, координаты расположения пакетов, время работы.

Для мобильной рубительной машины на базе форвардера с контейнером рассчитывается объем нарубленной и вывезенной щепы, а также время работы.

Система позволяет произвести сравнение четырех вышеназванных вариантов и помочь выбрать оптимальный для конкретных природно-производственных условий. В качестве базового рассматривается вариант без сбора лесосечных отходов после проведения сплошнолесосечной заготовки деловой древесины сортиментами. На основе сравнения с базовым вариантом можно принять решение о целесообразности производства топливной щепы для данных условий.

Подпрограмма обработки данных собирает результаты моделирования работы всех машин в цепочке и рассчитывает затраты на их работу по методике расчета эксплуатационных затрат лесосечных машин [5]. На основе дополнительных данных, введенных пользователем, программа рассчитывает затраты на вывозку автомобильным транспортом сортиментов, щепы или пакетов порубочных остатков, а также затраты на производство щепы рубительной машиной. В программе заложена возможность выбора места переработки биомассы в щепу. Это может быть погрузочная площадка у делянки или переработка биомассы в щепу будет производиться у потребителя.

Для каждой машины в технологической цепочке пользователь может задать данные, необходимые для расчета постоянных и переменных затрат. Также пользователь

может назначить цены на лесную продукцию, указать затраты на уборку делянки и на страховку машин. В программе есть возможность гибко определить сортименты, которые будут считаться низкосортными и дровяными и использоваться для переработки в топливную щепу.

Работа выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», тема НИР «Система поддержки принятия решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы и отходов лесозаготовок в биоэнергетике» и в рамках проекта «Технико-экономическая и эколого-социальная оценка перспективности заготовки древесной биомассы для нужд местной энергетики с использованием логистического подхода и ГИС-технологий».

#### Библиографический список

1. Карьялайнен, Т. Поставки древесного топлива в Финляндии / Т. Карьялайнен, Ю. Герасимов // Материалы семинара «Лесная энергия» НИИ леса Финляндии (METLA). Интерлес Карелия. Петрозаводск, 2011. [http://www.infobio.ru/sites/default/files/Karjalainen\\_Gerasimov\\_Interles\\_Karelia\\_2011\\_web\\_presentation\\_0.pdf](http://www.infobio.ru/sites/default/files/Karjalainen_Gerasimov_Interles_Karelia_2011_web_presentation_0.pdf), свободный.
2. Соколов, Д.Л. О развитии рынка биотоплива в России и за рубежом / Д.Л. Соколов, В.С. Холодков // IV региональный Лесной форум. Матер. конф. – Архангельск, 2010. <http://bis-media.ru/dl/forum2010/sokolov.pdf>, свободный.
3. Передерий, С. Щепа как твердое биотопливо в Европе / С. Передерий // ЛесПромИнформ. –2010. – № 5. – С. 132–135.
4. Ууситало, Й. Основы лесной технологии / Й. Ууситало. – Оу FEG. Йозенсуу, 2004. – 228 с.
5. Ананьев, В.А. Промежуточное пользование лесом на Северо-Западе России / В.А. Ананьев, А. Асикайнен, Э. Вяльккю, Ю.Ю.Герасимов и др. – НИИ леса Финляндии. 2005. – 150 с.
6. Hakkila, P. Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999 – 2003 // Tekes Technology Programme Report, 2004. – № 6. – 98 p.
7. Gerasimov, Y., Senkin V., Vддтдинен K. Productivity of single-grip harvesters in clear-cutting operations in the northern European part of Russia // European Journal of Forest Research. 2011. DOI:10.1007/s10342-011-0538-9. 8 p.

## СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕСОЗАГОТОВОК

А.Н. СУХИХ, доц. каф. лесоинженерного дела Братского ГУ, канд. техн. наук

*сухих2005@mail.ru*

Лесопромышленному комплексу необходимы высокопроизводительные, надежные отечественные лесозаготовительные машины, не уступающие зарубежным аналогам, однако более дешевые и доступные. В перспективе важное значение будет иметь развитие лесного машиностроения. Сегодня анализ Российского лесного машиностроения дает основание утверждать, что лесопромышленный комплекс обладает достаточным потенциалом для полного обеспечения потребностей в машиностроительной продукции, в том числе и по мировым стандартам. Весьма актуальной представляются перспективы создания лесозаготовительного комбайна. Совмещение операций, выполняемых одной машиной, дает определенные выгоды. За счет сокращения перемещений предмета труда можно сэкономить немало энергии и времени. Многочисленные перемещения связаны с большими трудозатратами в технологическом процессе, в нем участвует до четырех и более машин различного назначения.

Поэтому автором предлагаются методики оценки использования, оптимизации параметров, режимов работы лесозаготовительных машин и технологий лесозаготовок. Необходимо изменить сложившуюся практику оценки состояния эффективности тех-

нологии лесозаготовок и самой организации производства [1]. Решение данной задачи позволит получить применяемая методика оценки, где коэффициент использования  $K_u$  по отдельным по назначению группам машин и оборудования за определенный период времени (месяц, квартал, год) представляет собой отношение числа машино-дней в работе  $MД_3$  к числу машино-дней пребывания машин и оборудования в хозяйстве

$$K_u = MД_3 / MД_{cn}. \quad (1)$$

Для реализации объективной оценки предлагается изменить сложившуюся методику. Известная зависимость (1) примет следующий вид, уравнение (2)

$$K_u = N_c MД_3 / 24 MД_{cn}. \quad (2)$$

где  $N_c$  – продолжительность работы машины в течение суток;

24 – количество часов в сутках.

Авторская методика (2) позволит на начальном этапе проектирования выстроить эффективную организацию производственного процесса и даст действительную оценку использования машин. По данным существующей и предложенной методики получены коэффициенты использования  $K_u$  за год лесозаготовительных машин для трех различных предприятий. Наглядно видна возможность эффективной эксплуатации лесозаготовитель-

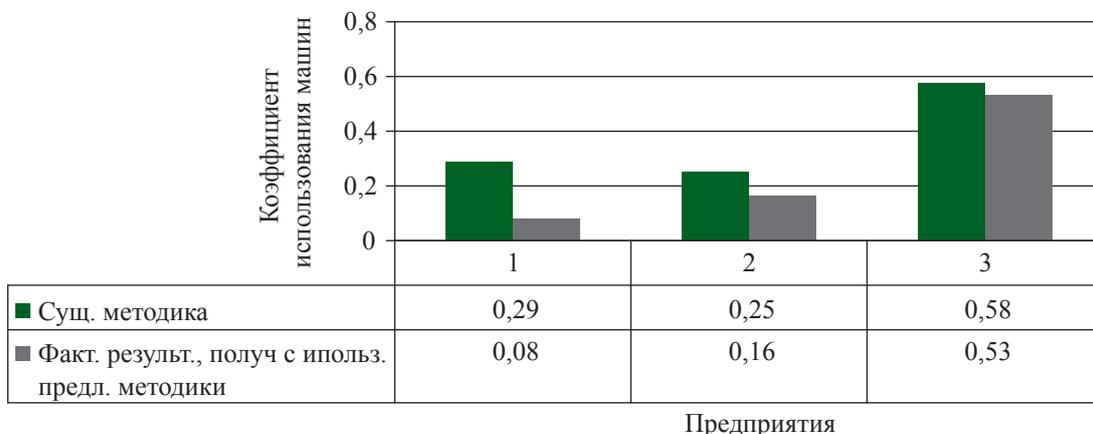


Рис. 1. Значения коэффициента использования календарного времени на примере трех лесозаготовительных машин различных предприятий

Т а б л и ц а 1

**Данные фактических параметров работы машин на экспериментальных предприятиях с применением предлагаемого коэффициента использования календарного времени**

Показатели	Значения показателей					
	4	5	6	7	8	9
Годы эксплуатации						
Факт. эффект. фонд времени, день	137	132	120	125	118	105
Сменность	1	1	1	1	1	1
Продолжительность смены	7	7	7	7	7	7
Возможное к использованию время, час	24	24	24	24	24	24
Календарный фонд времени	365	366	365	365	365	366
Данные расчета с применением предлагаемого коэффициента использования календарного времени	0,109	0,105	0,095	0,099	0,094	0,055

Т а б л и ц а 2

**Данные расчета с применением предлагаемого коэффициента использования календарного времени**

Показатели	Значения показателей				
	1	2	3	4	5
Годы эксплуатации					
Факт. эффективный фонд времени, день	179	151	130	110	91
Сменность	2	2	2	2	2
Продолжительность смены	7	7	7	7	7
Возможное к использованию время, час	24	24	24	24	24
Календарный фонд	366	365	365	365	366
Данные расчета с применением предлагаемого коэффициента использования календарного времени	0,285	0,241	0,207	0,175	0,145

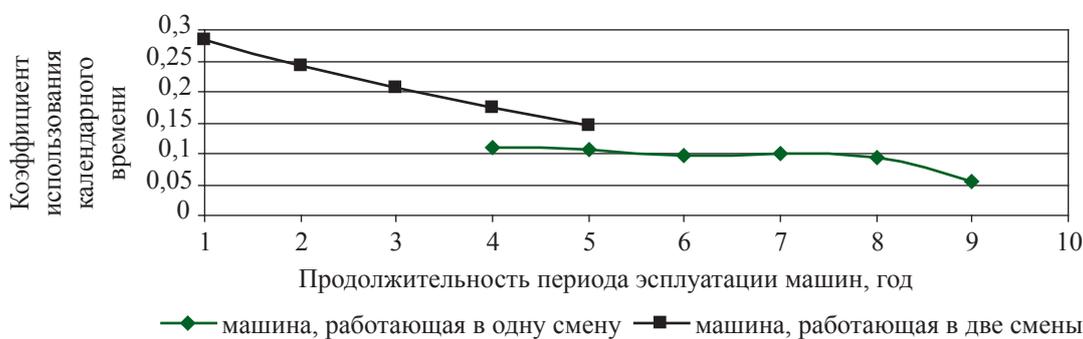


Рис. 2. График зависимости коэффициента использования календарного времени от коэффициента сменности за срок эксплуатации

ных машин на примере третьего предприятия, использующего двухсменный режим работы и 11-часовой рабочий день при соответствующих организационных изменениях. Полученные результаты представлены на рис. 1. По результатам работы за год предложенная методика дает более точную, действительную оценку использования машин, позволяя на начальном этапе выстроить эффективные параметры и режимы производственного процесса. Полученные данные работы лесозаготовительных машин, действующих пред-

приятий Братского и Усть-Илимского районов, предполагают возможность изменения сложившихся на предприятиях режимов работы лесозаготовительных машин и технологии производства. Необходимо отказаться от эксплуатации машин, выработавших ресурс. При этом нужна интенсификация использования машин на производствах.

Полученные результаты в полной мере отражают методы организации производства, применяемые на исследуемых предприятиях. С учетом перечисленного и результатов

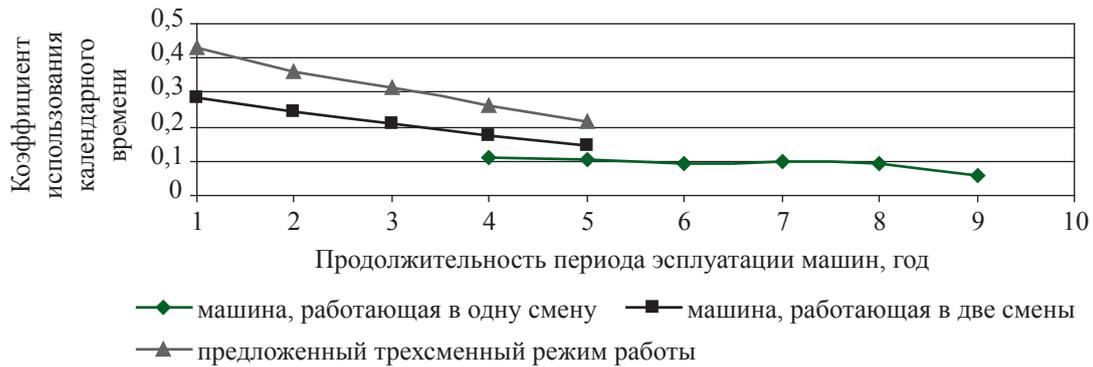


Рис. 3. График зависимости коэффициента использования календарного времени от коэффициента сменности за период эксплуатации с учетом изменений режима работы

выполненных наблюдений и обработки исследуемых данных фактических параметров работы машин на экспериментальных предприятиях с применением предлагаемого коэффициента календарного времени становятся очевидными недостатки в существующем использовании машин. Наглядные примеры в табл. 1, 2 и графиках, рис. 2, 3.

Для наглядности примера выбрана вторая машина, используемая за период эксплуатации в две смены, табл. 2.

На графике совмещенных показателей двух машин, эксплуатируемых в различных режимах, видно относительно успешное использование машин при двухсменном режиме работы.

Полученные результаты дают возможность выбора направлений и способов оптимизации параметров и режимов работы лесозаготовительных машин. Их применение позволяет приблизить коэффициент использования к 0,4, применительно к фактическим режимам работы, рис. 3. Интенсификация использования лесозаготовительных машин повышает коэффициент использования календарного времени в 3–4 раза, рис. 3. Необходимо учитывать полученные результаты в последующем принятии режимов работы при использовании предлагаемых машин. Кардинально решить поставленную задачу оптимизации параметров лесозаготовительных машин позволит разработка моделей универсальных лесозаготовительных машин, отечественный опыт разработки которых положительно себя зарекомендовал. Это даст преимущества при решении проблемы

сопоставимости машин по производительности, а также решит проблемы при малообъемных лесозаготовках, когда неэффективно применение высокопроизводительных комплексов. Предлагаемая автором методика и технология лесосечных работ позволяет установить оптимальные режимы работы универсальных лесозаготовительных машин при выполнении всего комплекса работ на лесосеке.

Полученные данные отражают эффективность разработанной методики, а применение универсальных лесозаготовительных машин с использованием в качестве базы специальных шасси энергонасыщенных тракторов повышенной проходимости и более мощного и надежного гидропривода современных систем управления позволят сократить продолжительность выполнения операций и значительно повысить эффективность лесозаготовок. Авторам для выполнения лесосечных работ предложены валочно-пакетирующая трелевочная машина с универсальным технологическим оборудованием патент на изобретение [2], полезная модель [3] патент № 85796, полезная модель патент № 87069 универсальной лесозаготовительной машины [4]. Полезная модель патент № 87069 универсальной лесозаготовительной машины [4] отличается компактностью, значительной возможностью увеличения вылета стрелы, сочетание арки и стрелы дает возможность применения навесного трелевочного оборудования, принятые конструктивные решения позволяют совмещать нескольких операций в одном навесном технологическом оборудовании, что дает

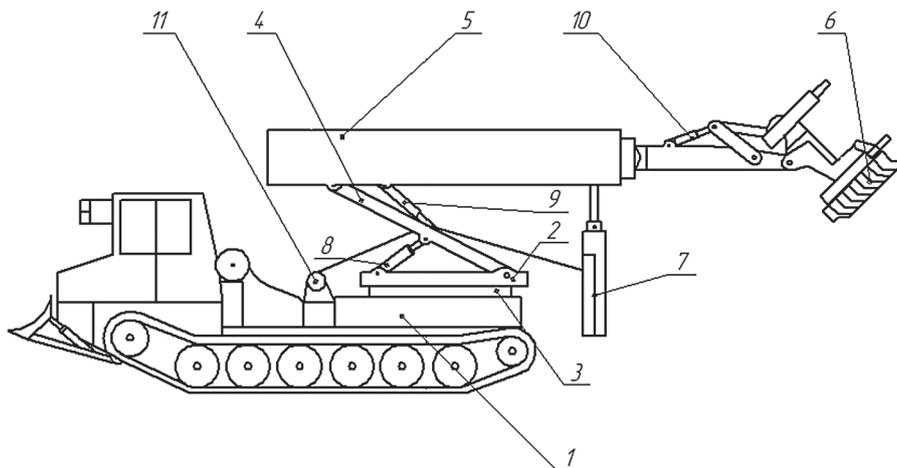


Рис. 4. Универсальная лесозаготовительная машина

возможность выполнять все операции при заготовке леса. Полезная модель поясняется рис. 4, где универсальное шасси 1, технологическое оборудование, установленное на поворотной платформе 2 с опорно-поворотным устройством 3.

Технологическое оборудование состоит из арки на двух опорах 4, коробчатой телескопической стрелы 5 с захватно-срезающим устройством 6, захвата 7. Два гидроцилиндра 8 установлено на стреле, два гидроцилиндра 9 на двухопорной арке, один гидроцилиндр 10 на захватно-срезающем устройстве, 11 лебедка. Предлагаемое оборудование может использоваться на универсальных шасси различных заводов. Машина работает следующим образом, в режиме валки пакетирования коробчатая телескопическая стрела 5 с захватно-срезающим устройством 6 наводится на деревья с использованием поворотной платформы 2, спиливает их, переносит и укладывает в пачку. После окончания цикла валки на одной стоянке машина продолжает двигаться задом по пачке, обеспечивая создание необходимого числа пакетов для полной рейсовой нагрузки при трелевке, после чего выполняется складывание коробчатой телескопической стрелы 5 с захватно-срезающим устройством 6. Для трелевки освобождается захват 7 и начинается работа машины в режиме трелевки с набором пачек деревьев в направлении к погрузочному пункту передом, с применением арки на двух опорах 4 на поворотной платформе 2, которая позволяет

объединять пачки для обеспечения полной рейсовой нагрузки. Опорно-поворотное устройство 3 предназначено для осуществления вращения поворотной платформы 2 с технологическим оборудованием относительно шасси и получения возможности маневрирования. Гидроцилиндры 8, 9, 10 обеспечивают работу соответственно арки на двух опорах, коробчатой телескопической стрелы, захватно-срезающего устройства, лебедка 11 обеспечивает удержание пачки. Универсальность машин позволит применять их при выполнении сплошных рубок и в рубках промежуточного пользования, а при использовании сменного навесного оборудования на рукояти машины могут выполнять весь комплекс лесосечных и лесохозяйственных работ. Благодаря навесным быстросменным узлам машины можно использовать на всех этапах заготовки древесины, начиная со строительства дорог до погрузки леса на подвижной состав, при проведении рубок: строительство – экскаватор; свodka мелких деревьев и кустарников при содействии возобновлению – кусторез; валка, обрезка сучьев и раскряжевка – процессор; погрузка леса в хлыстах и сортиментах – погрузчик.

Предложенные методики позволили установить, что коэффициент использования календарного времени повышает точность оценки от 9 до 29 %. Поэтому в целом разработанное оборудование и предлагаемые методики позволяют решать проблему оптимизации технологического процесса лесоза-

готовок, что повысит эффективность работы лесозаготовительных предприятий.

### Библиографический список

1. Немцов, В.П. Справочник механика лесозаготовительного предприятия / В.П. Немцов, Б.А. Шестаков. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 480 с.
2. Пат. № 2388214 Россия, МПК А01G 23/081 Валочно-пакетирующая трелевочная машина с универсальным технологическим оборудованием/ П.М. Огар, А.М. Долотов, Е.М. Рунова, А.Н. Сухих; заявитель и патентообладатель БрГУ.
3. Пат. на пол. мод. № 85796 Россия, МПК А01G23/081 Валочно-пакетирующая трелевочная машина / А.Н. Сухих, В.А. Иванов, С.М. Сыромаха, М.В. Степанищева и др.; заявитель и патентообладатель БрГУ.– № 2009113311/22; заявл. 09.04.2009, опубл. 20.08.2009. Бюлл. № 23.
4. Пат. на пол. мод. № 87069 Россия, МПК А01G23/00 Универсальная лесозаготовительная машина / А.Н. Сухих; заявитель и патентообладатель БрГУ.– № 2008152957/22; заявл. 31.12.2008, опубл. 27.09.2009. Бюлл. № 27.

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А.С. СУШКОВ, *асп. ВГЛТА*

*dis022@mail.ru*

Экологическое качество лесовозной автомобильной дороги определяется последствиями воздействия ее сооружений и транспортного потока на окружающую среду. При строительстве, реконструкции и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог необходимо решать вопросы охраны окружающей среды.

Процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), алгоритмы и программы анализа, оценки и улучшения экологического качества лесовозной автомобильной дороги, как составная часть ОВОС, основываются на фундаментальных теориях и моделях, действующих нормативных документах и на современных моделях функционирования лесовозных автомобильных дорог как составной части автомобильного транспорта [1]. При анализе экологического качества оценивается воздействие инженерных решений на элементы среды по следующим показателям:

– Загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами отработавших газов автомобильных двигателей.

– Загрязнение почвы вредными веществами.

– Шумовое воздействие транспорта в пределах населенных пунктов и шумовое воздействие на животный мир.

– Загрязнение придорожных территорий пылью и продуктами износа дорожных покрытий и автомобильных шин.

– Загрязнение водной среды вредными веществами поверхностного стока с проезжей части лесовозных автомобильных дорог.

В связи с обширностью проблемы дорожной экологии и с целью выделения общих методологических аспектов в дальнейшем ограничимся анализом процессов загрязнения атмосферного воздуха придорожного пространства вредными веществами отработавших газов автомобилей.

Одна из проблем экологического анализа состоит в том, что в разных регионах действуют как эти, так и другие нормативные документы, дающие несовпадающие показатели ОВОС. Из этого следует:

– во-первых, необходимость вариантов экологического анализа в практической работе;

– во-вторых, необходимость развития теории и методологии процедур ОВОС.

Оценка загрязнения атмосферного воздуха и почвы вредными веществами отработавших газов автомобильных двигателей основана на сравнении концентрации вредных веществ (мг в кубическом метре воздуха) с предельно допустимой концентрацией (ПДК). Фактическая концентрация определяется двумя основными процессами:

– выбросом (эмиссией) вредных веществ с отработавшими газами автомобильных двигателей;

– распределением вредных веществ в придорожном пространстве.

Процессы эмиссии и распределения описываются или упрощенными моделями, или более детальными. Нам представляется, что в практической деятельности при выборе моделей эмиссии и распределения вредных веществ необходимо иметь самые общие сведения о моделях и их различия с целью:

– обоснованного назначения климатических и погодных параметров, интенсивности и состава прогнозируемых транспортных потоков и других данных, необходимых для анализа;

– уверенной интерпретации получаемых результатов.

Выброс вредных веществ (граммы на пикет, на километр дороги) зависит не только от интенсивности и состава транспортного потока, но и от режима движения. Тот или иной режим работы автомобиля и двигателя водитель выбирает, анализируя технический уровень и эксплуатационное состояние дороги на данном участке, что определяет расход топлива, объем отработавших газов, концентрацию вредных веществ в них и т.д. Поэтому анализу и оценке экологического качества лесовозной дороги предшествует анализ дороги по показателям энергетического качества, в частности, по расходу топлива при перевозках. В нормативных практических методиках экологических расчетов, зачастую без достаточного обоснования, выброс вредных веществ рекомендуется находить по зависимостям массового выброса (пробегового выброса). Последние получены моделированием работы двигателей в режимах ездовых циклов, типичных для городских условий с большой продолжительностью холостого и принудительного холостого хода, резких разгонов и торможений. Для типичного ездового цикла выброс оксидов углерода, например, гораздо больше по сравнению с оксидами азота. На загородных дорогах общего пользования режим движения автомобиля существенно отличается от типового городского

ездового цикла, используемая мощность двигателя выше, и поэтому коэффициент избытка воздуха ближе к единице. На загородных дорогах выброс оксидов азота сопоставим с выбросом оксидов углерода и картина загрязнения придорожного пространства существенно отличается от городских условий. Это обстоятельство, а также возможность уменьшить выброс вредных веществ, воздействуя на режимы движения параметрами проектных решений автомобильных дорог и показателями их эксплуатационного состояния, служат основой определенных теоретических и практических предложений по совершенствованию методик дорожного экологического анализа. При таком подходе основой для разработки практических методик расчета выбросов должны быть не статические массовые показатели, а результаты моделирования режимов движения автомобилей с расчетом параметров топливовоздушной смеси и фактического выброса вредных веществ с отработавшими газами автомобилей [3].

Выброс вредных веществ с отработавшими газами определяет мощность источника загрязнения (г/сек) и вместе с климатическими, погодными условиями и характеристиками рельефа служит основой для расчета распределения концентрации вредных веществ в придорожном пространстве.

При расчете концентрации должна быть предварительно определена мощность источника загрязнения по одной из программ моделирования функционирования дороги и моделирования работы двигателя в системе «Водитель–Автомобиль–Дорога–Среда» (В-А-Д-С), например, в системе CAD\_CREDO.

Таким образом, приемлемыми методами экологической экспертизы загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами могут быть следующие процедуры:

– эмиссия – моделированием системы (В-А-Д-С);

– концентрация вредных веществ – по массовому выбросу.

Концентрация вредных веществ рассчитывается по формуле

$$C = \frac{2M}{\sqrt{2\pi\sigma} \cdot V \cdot \sin \varphi + F}, \quad (1)$$

где  $M$  – мощность источника ( $Q_{CO}, Q_{NO}$ ) (мг/ (мс));

$\sigma$  – стандартное отклонение рассеивания Гаусса в вертикальном направлении, зависящее от погодных условий и расстояния от дороги;

$V$  – скорость ветра, м/с;

$\varphi$  – угол между направлением ветра и дороги;

$F$  – фоновая концентрация загрязнения, мг/м<sup>3</sup>.

Для расчета концентрации вредного вещества в атмосферном воздухе в ОНД-86 предложена формула

$$C = A M F m n k / H^2 (V_1 dT)^{-1/3}, \quad (2)$$

где  $M$  – мощность источника выброса, г/с;

$A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

$H$  – высота источника выбросов над поверхностью земли;

$k$  – коэффициент, учитывающий рельеф местности;

$dT$  – разность температур выбрасываемой газовой смеси и окружающего воздуха;

$F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

$m, n$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газов из источника выброса;

$V_1$  – выброс газа, м<sup>3</sup>/с.

Формула (2) не может быть использована непосредственно для расчета концентраций от выбросов автомобильных двигателей по ряду следующих основных причин:

– отработавшие газы автомобильных двигателей быстро и принудительно смешиваются с воздухом в пределах проезжей части дороги;

– выбросы быстро принимают температуру окружающего воздуха;

– автомобильная дорога – линейный объект зачастую сложной конфигурации в плане;

– выбросы обусловлены меняющимися параметрами дороги переменными по ее длине.

Такие особенности автомобильно-дорожного источника выбросов требуют разра-

ботки соответствующих алгоритмов расчета концентраций вредных веществ в придорожном пространстве.

Разность температур  $dT$  близка к нулю и по этой причине выбросы автомобильных двигателей следует отнести к холодным выбросам. Источником выбросов следует считать не выхлопную трубу движущегося автомобиля, а всю проезжую часть, в границах которой формируется некоторый площадной источник, который следует представлять в виде группы равномерно расположенных одиночных точечных источников.

В связи с неравномерностью выбросов по длине дороги в практических расчетах концентрации всю дорогу следует поделить на ряд смежных площадных источников. Мощность каждого источника формируется всей совокупностью автомобилей, входящих в состав транспортного потока, и определяется режимами их движения на данном участке дороги.

При экологическом анализе необходимо знать величину концентрации в некоторой определенной точке придорожного пространства. Поэтому при расчете концентрации следует учитывать вклад каждого источника (участка дороги) в общую концентрацию в данной расчетной точке. При большой длине смежных площадных источников и вследствие их замены точечными картина распределения концентраций может быть сильно искажена.

Для достижения требуемой точности, например, не менее 0,05 ПДК, в алгоритме расчета следует предусмотреть итерационное деление каждого исходного площадного источника на более мелкие с последующим суммированием концентраций от всех источников. Концентрация от каждого мелкого источника рассчитывается в предположении, что этот источник заменен точечным такой же мощности. В каждом источнике ось  $X$  проходит через его центр по направлению ветра, а ось  $Y$  перпендикулярна направлению ветра. Концентрация от каждого источника вычисляется с учетом расстояний от соответствующих осей до расчетной точки.

Алгоритм расчета должен предусматривать поиск такого направления ветра

и его скорости, при которых этот максимум достигается. Конечно, в практических ситуациях может быть актуальной задача расчета концентраций при вполне определенной скорости ветра или по определенному направлению. Не менее важной задачей может стать оценка эффективности различных защитных мер, направленных на снижение уровня концентрации в соответствующих точках придорожного пространства, например, в разных точках населенных пунктов, вблизи которых проходит дорога. Решение этих задач также должно быть обеспечено соответствующими методиками и алгоритмами.

При экологическом анализе необходимо учитывать и пространственное расположение источников выброса, обусловленное конструкцией дороги в плане, и разную мощность источников, обусловленную различными режимами движения автомобилей из-за меняющихся вдоль дороги условий движения. Поэтому наиболее наглядную и полную информацию о загрязнении придорожного пространства может дать картина поверхности поля концентраций, его отображение изолиниями и разрезы поверхности в нужных местах.

Все перечисленные требования делают проблему экологического дорожного анализа достаточно сложной в вычислительной части и комплексной по видам задач (из теории автомобилей и двигателей, теории транспортных потоков, координатной геометрии, метеорологии и т.п.).

Анализу и оценке экологического качества лесовозной дороги предшествует ее анализ по показателям энергетического качества, в частности по расходу топлива при перевозках. Расчет расхода топлива необходим не только при анализе экологического качества лесовозной дороги, но и для оценки важнейших транспортно-эксплуатационных качеств автомобильной дороги по технико-экономическим показателям, для денежной оценки затрат на перевозки.

При моделировании системы (В-А-Д-С) количество (эмиссия) выбрасываемых в придорожное пространство вредных веществ с отработавшими газами автомобильных

двигателей определяется в значительной степени дорожными условиями: продольный и поперечный уклон дороги, план, расстояние видимости, элементы обустройства дороги, тип и состояние покрытия и т.п. Количество вредных веществ зависит от режима работы автомобиля, расхода топлива, режима работы двигателя на данном участке дороги, концентрации конкретного вещества в отработавших газах. Первоочередной задачей при этом следует считать определение расхода топлива.

Расход топлива определяется нагрузкой на двигатель, которая зависит от режима движения, установленного водителем, а значит, от дорожных условий. Поэтому расчету расхода топлива предшествует расчет скорости движения, в процессе которого определяются основные показатели работы автомобиля и двигателя. Расчет расхода топлива основан на закономерностях работы автомобильных двигателей.

Для режима тягового усилия расход топлива (в л на пути м) вычисляют по методу Н.Я. Говорущенко

$$Q = 10^{-5} S (A i_k B i_k^2 V_a C (G_a (f + 1,01U) + 0,077 K_w F V_a^2)) / \eta_i, \quad (3)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – коэффициенты, зависящие от типа двигателя и автомобиля;

$V_a$  – скорость автомобиля, км/час;

$K_w$  – фактор обтекаемости;

$F$  – лобовая площадь, м<sup>2</sup>;

$i_k$  – передаточное число  $k$ -ой передачи;

$\eta_i$  – индикаторный КПД двигателя;

$f$  – коэффициент сопротивления качению;

$U$  – продольный уклон, проценты;

$G_a$  – вес автомобиля, кгс;

$S$  – длина участка, м.

Для режима холостого хода (в основном на спусках) расход топлива также можно вычислить по формуле (3). При этом коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  должны соответствовать холостому ходу, а индикаторный КПД двигателя следует принимать равным 0,32.

Количество вредного вещества (граммов) в отработавших газах вычисляют по следующей формуле, которая приведена здесь исключительно по тем соображениям, что в ней четко отражается сущность физического

**Зависимость коэффициента избытка воздуха от степени использования мощности двигателя  $N\Gamma = N/N_{max}$**

$N\Gamma$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\alpha_{карб}$	0,80	0,84	0,88	0,91	0,95	0,99	1,03	1,06	1,10	1,00	0,9
$\alpha_{оиз}$	5,0	4,6	4,2	3,8	3,4	3,2	2,7	2,2	2,4	1,8	1,6

процесса образования вредных веществ в автомобильном двигателе

$$Q = 1000/22,4 M_x X 0,01 \rho Q_{мон} 15\alpha/1,22, \quad (4)$$

где  $Q_{мон}$  – количество сгоревшего топлива, кг;  
 $1000/22,4$  – количество молей в 1 м (один моль газа занимает 22,4 л при температуре 0 градусов и давлении 0,1 МПа);

$M_x$  – молекулярная масса одного моля (28 для CO– оксида углерода, 31 для  $NO_x$  – оксидов азота, 86 для  $C_xH_y$  – углеводородов);

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха (зависит от нагрузки на двигатель, определяемой дорожными условиями);

$Q_{мон} 15\alpha/1,22$  – выделение газа двигателем (далее), м<sup>3</sup>;

$X$  – концентрация вредных веществ в отработавших газах двигателя, в процентах по объему.

Значения  $X$  зависят от коэффициента избытка воздуха, которым определяется состав топливоздушная смеси, и для карбюраторных двигателей могут быть найдены по формулам

$$X_{CO} = 61,3 + \alpha(53 \alpha - 114), \quad (5)$$

$$X_{CH} = 0,912 + \alpha(0,776 \alpha - 1,667), \quad (6)$$

$$X_{NO} = -3,62 + \alpha(-3,886 \alpha + \alpha + 7,88). \quad (7)$$

В расчетах коэффициента избытка воздуха мощность двигателя, необходимую для преодоления всех сопротивлений движению со скоростью  $v$ , вычисляют по известной формуле

$$N = v(P_D - P_n + P_{xx} + P_g) / K_{HT}, \quad (8)$$

что дает после преобразований

$$N = \frac{v \left( G_a \left( 0,01 \cdot U + f + a \cdot \frac{\delta_k}{g} + \right) + K_w \cdot v^2 \right)}{75 K_{HT}}, \quad (9)$$

где  $P_D$  – сила дорожных сопротивлений,  $G_a(0,01U + f)$ ;

$P_g$  – сопротивление воздушной среды,  $K_w v^2$ ;

$P_n$  – сила инерции при ускорении  $a$ ,  $a G_a \delta_k/g$ ;

$P_{xx}$  – сопротивление трансмиссии на холостом ходу,  $G_a(0,002 + 9 \cdot 10^{-5}v)$ ;

$K_{HT}$  – коэффициент влияния нагрузки (потери в шестернях, карданах);

$v$  – скорость движения, м/с;

$d_k$  – коэффициент учета инерции вращающихся масс автомобиля;

$A$  – ускорение, м/с<sup>2</sup>.

Выброс тетраэтилсвинца карбюраторными двигателями пропорционален расходу топлива

$$Q_{pb} = 0,8 Q_{мон} P_{TЭС}, \quad (10)$$

где  $P_{TЭС}$  – содержание тетраэтилсвинца в бензине, г/кг, (принято 0,37 для легковых автомобилей и 0,17 для грузовых).

Коэффициент 0,8 учитывает выброс тетраэтилсвинца в атмосферу (принято, что 20 % оседает в почве придорожного пространства).

Изменения в различных аспектах деятельности предприятий могут как отрицательным, так и положительным образом сказываться на состоянии окружающей среды, здоровья персонала и населения.

Выводы: организация должна идентифицировать экологические аспекты, принимая во внимание не только процесс производства, но и сырье, материалы, энергию (входные параметры производства), продукцию, услуги (выходные параметры производства), характерные как для существующих, так и для прошлых видов деятельности.

Следует учитывать как нормальное, штатное функционирование предприятия, так и условия пуска и демонтажа (закрытия) производства, вероятные нештатные и аварийные ситуации [2]. При идентификации

экологических аспектов роль играет и оценка требований законодательных и нормативных документов, определяющих природоохранную деятельность предприятия. Не вдаваясь в рассуждения о выполнимости требований, отметим, что организации всегда выигрывают, создавая и обновляя перечень документов федерального, регионального, отраслевого уровней, действие которых на них распространяется.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ ИХ ВЛИЯНИЯ НА РАЗМЕЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

С.И. СУШКОВ, проф. каф. производства, ремонта и эксплуатации машин ВГЛТА, д-р техн. наук  
s.i.sushkov@mail.ru

Транспорт оказывает существенное воздействие на территориальное размещение лесопромышленных предприятий, на процессы специализации и кооперирования производства. Влияние его проявляется в двух направлениях. С одной стороны, транспорт выступает как производственный ресурс (ограничивающий фактор), с другой – расходы транспорта выступают как составляющая затрат и, следовательно, влияют на размещение производства, его специализацию и кооперирование.

В проблеме учета транспортного фактора при планировании выделяются два круга методических вопросов: как оценить существенность транспортного фактора и как формировать нормативную базу по транспорту для задач размещения и развития производства (то есть определить величины транспортных расходов по элементам транспортной сети). Чем меньше требуется дополнительных затрат на транспорт, тем относительно выгоднее возить продукцию дальше. Это создает предпосылки для концентрации и специализации производства. С другой стороны, чем больше требуется затрат на транспорт, тем выгоднее сокращать дальность перевозки (целесообразнее рассредоточивать производство) [1].

Модель оптимального размещения выпуска однородной продукции с учетом минимизации совокупных затрат на производство и транспорт может быть записана в таком виде

### Библиографический список

1. Курьянов, В.К. Оценка транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования / В.К. Курьянов, Ю.А. Поцков, А.В. Скрыпников. – Воронеж: ВГЛТА, 2001. – 149 с.
2. Лэсдон, Л. Оптимизация больших систем / Л. Лэсдон. – М.: Наука, 1975. – 432 с.
3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных выбросов предприятий. ОНД-86. Госкомгидромет. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 93 с.

$$\min Z_{\Sigma} = \min \left( \sum_{i=1}^m f_i(Q_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} Q_{ij} \right) \quad (1)$$

при ограничениях

$$Q_i = \sum_{j=1}^n Q_{ij} \leq M_i^{don}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (2)$$

$$Q^j = \sum_{i=1}^m Q_{ij} \geq P^j, \quad j = \overline{1, n}; \quad (3)$$

$$Q_{ij} \geq 0, \quad (4)$$

где  $i, j$  – индексы возможных пунктов производства и соответственно пунктов потребления продукции;

$Q_i, M_i^{don}$  – объемы производства и соответственно предельно допустимые их величины в  $i$ -ом пункте;

$Q_{ij}$  – интенсивность транспортно-экономической связи между пунктами  $i$  и пунктами  $j$ ;

$f_i(Q_i)$  – функция производственных затрат в  $i$ -ом пункте;

$C_{ij}$  – удельные транспортные затраты на перевозки между пунктами  $i$  и  $j$ ;

$P^j, Q^j$  – необходимый объем потребления и соответственно объем доставляемой в  $j$ -й пункт продукции.

Из анализа модели (1–4) можно установить, что определяющее влияние на размещение производства оказывает не абсолютный уровень транспортных затрат, а дифференциация их по различным связям: чем меньше эта дифференциация, тем слабее

влияние транспорта. При малых или относительно постоянных затратах оптимальный план отыскивается из условия минимума только производственных затрат.

На практике задачи размещения и развития производства решаются при следующих условиях.

1. Пункты и объемы потребления рассматриваемой продукции фиксированы, критерий – минимум приведенных затрат на производство и транспортировку продукции.

2. Оптимизация размещения выполняется по всему предполагаемому объему выпуска продукции (а не только его прирост).

3. В экономико-математических моделях транспортные блоки имеют линейную структуру с постоянными коэффициентами целевой функции – значениями удельных показателей транспортных затрат, не зависящими от объема перевозок.

4. Расчеты выполняются изолированно по отдельным вариантам без непрерывного обмена информацией, поэтому суммарные загрузки транспортных объектов потоками всех родов лесопотоков еще неизвестны.

Показатели транспортных затрат должны отражать лишь дополнительные составляющие, объемов и направлений перевозок грузов и т.д. Затраты в расчетах и в составе используемых показателей транспортных затрат не учитываются.

При решении транспортных оптимизационных задач предполагается, что найденные транспортно-экономические связи на этом этапе и транспортные потоки будут осуществляться в реальных текущих грузопотоках. Возникает проблема модификации исходной информации и процедуры решения с целью снижения отрицательного влияния хозяйственного механизма при реализации решения. Здесь можно выделить три следующих этапа:

а) подготовка информации для решения задачи о размещении;

б) выбор решения по минимуму приведенных затрат;

в) реализация принятого решения (определение рациональных потоков сырья и готовой продукции по минимуму тарифных плат).

Если тарифы совпадают с соответствующими дифференциальными удельными приведенными транспортными затратами, то потери качества решения не происходит.

Таким образом, проблема учета транспортного фактора в рассматриваемых задачах требует не только оптимизационного подхода на основе критериев экономической эффективности, но и учета особенностей, которые вносит в реализацию оптимизационных планов специфика действующего производственного механизма.

Рассмотрим модель размещения пунктов потребления (хранения, переработки) лесопродукции и задачи функционирования лесных предприятий в разных условиях хозяйствования.

Все они преобразуются в блочно-диагональные линейные задачи, если зафиксировать значения некоторых переменных. Рассмотрим проблему в общем сетевом ракурсе.

Минимизировать

$$\{Cx + f(y)\} \quad (1)$$

при ограничениях

$$Ax + F(y) \geq b \quad (2)$$

$$x \geq 0, y \in S, \quad (3)$$

где  $x$  –  $n$ -мерный вектор;

$A$  – постоянная матрица;

$C$  –  $n$ -мерный вектор констант.

Если зафиксировать значение  $y$ , то (1–3) переходят в задачу линейного программирования. Величина  $f(y)$  – функция (возможно нелинейная)  $p$  – мерного вектора  $y$ ,  $F(y)$  – вектор – функция,  $S$  – произвольное подмножество  $E^p$ .

Многие важные в практическом отношении задачи могут быть приведены к виду (1–3). Если  $S$  – множество  $p$ -векторов с неотрицательными целочисленными компонентами, а  $F, f$  – линейны, то (1–3) окажется задачей линейного программирования.

В соответствии с этим алгоритм задачи (1–3) решают в следующей последовательности: вначале фиксируется некоторое значение  $y^* \in S$  и решается задача минимизировать  $Cx$  при ограничениях

$$Ax \geq b - F(y^*). \quad (4)$$

Затем на основе решения двойственной задачи определяется возможность улучшения решения, полученного на первом шаге, и нахо-

дится новое значение вектора  $y$ . Таким образом, полностью используются преимущества частичной линейной задачи, что особенно важно, когда матрица  $A$  имеет специальную структуру (например, блочно-диагональную или транспортного типа). В этом случае задача (4) сравнительно легко решается. Эти преимущества не реализуются при использовании алгоритмов, в которых  $x$  и  $y$  изменяются одновременно [1].

При формулировке задачи используются как дискретные, так и непрерывные переменные (дискретные – строить или не строить предприятие или склад, непрерывные соответствуют объемам производства и поставок продукции). Условия одной из таких задач в сетевой форме представлены на рис. 1. Поясним этот рисунок.

Существующее предприятие  $P_0$  обслуживает потребителей  $C_1 \div C_4$ . Возможно строительство нового предприятия  $P_n$  и склада  $W$ .

Так как новое предприятие и склад можно организовать согласно зависимости (5), то при решении данной задачи необходимо оценить четыре разных варианта. Для каждого варианта определим минимальные суммарные издержки (производственные и транспортные). Если будет осуществляться строительство только одного нового предприятия  $P$  на полную мощность затраты (затраты – 20), то существующее (более «дорогое») предприятие будет выпускать продукции 10 единиц (затраты – 15). Понятно, что если таких вариантов немного, то подобная процедура поиска оптимального решения путем прямого перебора, вероятно, является наиболее эффективной.

Функция текущих затрат, представленная на рис. 2, учитывает хорошо известный факт: с увеличением мощности предприятия возрастают условно-постоянные затраты, однако их увеличение компенсируется снижением условно-переменных затрат, что отражает преимущества крупных предприятий (то есть на таких предприятиях затраты на единицу продукции меньше, чем на мелких предприятиях). Сведение задачи размещения к задаче линейного программирования, представленной в формуле (5), позволяет, как правило, сделать процедуру перебора вариантов более эффективной [2].

Введем обозначения:

$r_j$  – спрос  $j$ -го потребителя;

$C_{ij}$  – удельные транспортные затраты на перевозку единицы груза из пункта  $i$  потребителю  $j$ ;

$x_{ij}$  – объем перевозок из пункта  $i$  в пункт  $j$ ;

$m_{ik}$  – количество продукции, производимой (накапливаемой) предприятием  $i$  (складом  $i$ ) при работе по  $k$ -ому варианту (с затратами на прирост единицы продукта, равными  $S_{ik}$ );

$J_p, J_w, J_c$  – множества номеров пунктов производства, складов и потребителей соответственно.

Переменные  $m_{ik}$  ограничены сверху и снизу и должны удовлетворять дополнительным условиям из-за наличия взаимоисключающих вариантов мощности  $k$ .

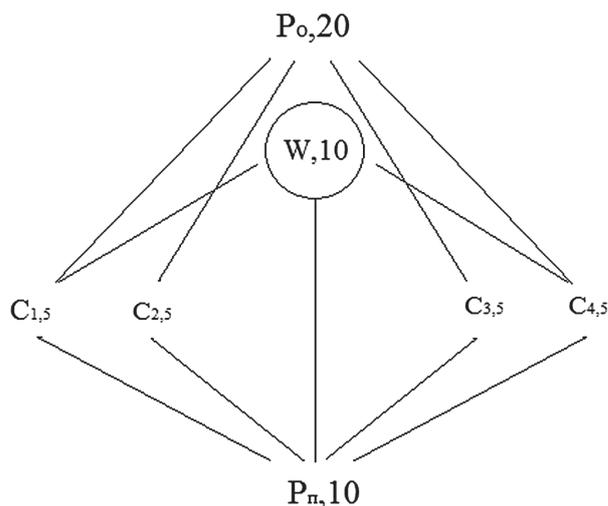


Рис. 1. Сетевая форма условий задачи производства и распределения продукции

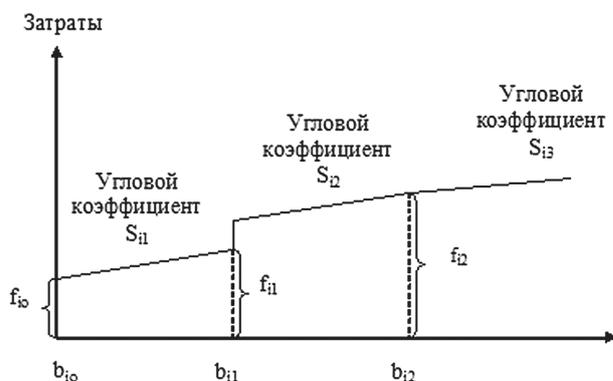


Рис. 2. Характер изменения функции текущих затрат на производство в зависимости от производственной мощности предприятий

Чтобы учесть условия, введем переменные  $y_{ik}$ , принимающие значения нуль или единица (0 или 1), так что

$$y_{ik} = 0 \Rightarrow m_{ik} = 0, \quad (5)$$

$$y_{ik} = 1 \Rightarrow b_{i,k-1} \leq m_{i,k} \leq b_{i,k} \quad (6)$$

и не более чем одна переменная  $y_{ik} = 1$  для каждого пункта производства  $i$ . Соответствующие ограничения можно представить в виде

$$y_{ik} b_{i,k-1} \leq m_{ik} \leq y_{ik} b_{i,k} \quad (7)$$

$$\sum_k y_{ik} = 1, \quad y_{ik} = 0 \text{ или } 1. \quad (8)$$

Так как спрос должен быть удовлетворен полностью, возникают ограничения

$$\sum_i x_{ij} = d_j, \quad j \in J_c. \quad (9)$$

Переменные  $x_{ij}$  и  $m_{ik}$  связаны между собой ограничением

$$\sum_k m_{ik} = \sum_{j \in J_c \cup J_{cw}} x_{ij} \quad (10)$$

или вида

$$\sum_{i \in J_p} x_{ij} = \sum_{k \in J_c} x_{jk}, \quad j \in J_{cw}, \quad (11)$$

(то есть с каждого склада входящие и выходящие потоки продукции равны между собой). Емкость склада ограничена, поэтому должно соблюдаться ограничение

$$\sum_{i \in J_p} x_{ij} \leq d_j, \quad j \in J_w. \quad (12)$$

Общие затраты должны быть минимальными, то есть

$$Z = \sum_{i,j} C_{ij} x_{ij} + \sum_{ik} S_{ik} m_{ik} + \sum_{ik} y_{ik} (f_{i,k-1} - S_{ik} b_{i,k-1}) = \min \quad (13)$$

Первый член этого выражения – транспортные издержки, а второй и третий соответствует затратам на строительство и производство продукции. Выражения (7–13) могут быть приведены к виду (1–3), где  $F$  и  $f$  – линейные функции, а  $S$  – множество возможных значений переменных  $y_{ik}$ . Выражения (7–13) решаются в два приема: вначале фиксируются некоторые значения переменных  $y_{ik}$ , и решается линейная задача. Затем в результате решения целочисленной задачи определяются новые значения  $y_{ik}$ . Оптимальные решения задачи, двойственной к линейной, используются для построения дополнительных ограничений в целочисленной задаче, что уменьшает множество допустимых альтернатив, проверяемых на оптимальность.

Таким образом, эта процедура может быть рассмотрена как схема, «автоматизирующая» перебор вариантов, в которой информация о ранее рассмотренных случаях используется для выделения случаев, которые следует рассматривать далее.

#### Библиографический список

1. Лэсдон, Л. Оптимизация больших систем / Л. Лэсдон. – М.: Наука, 1975. – 432 с.
2. Сушков, С.И. Прогнозно-аналитическое моделирование технико-экономических показателей железнодорожных перевозок лесоматериалов / С.И. Сушков // Вестник МГУЛ– Лесной вестник. – 2005. – № 026. 23.11.05.

## ДИСТАНЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ЛПК

А.Ю. ТЕСОВСКИЙ, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ,

А.С. ЛАПИН, ст. преп. каф. управления автоматизированными производствами лесопромышленного комплекса МГУЛ

**В**настоящий момент парк технологических и транспортных машин в ЛПК (Т и ТМ ЛПК) составляет 17815 штук [1]. Острой проблемой остается организация технического сервиса на местах их эксплуатации, то есть непосредственно на лесосеках. Это связано с уменьшением лесного фонда в европейской части и перемещением лесозаготовительной промышленности в глубь континентальной

части России. К тому же организация объектов технического сервиса в современных экономических условиях связана со значительными капиталовложениями и привлечением квалифицированного персонала.

Потребность в выездном техническом сервисе обусловлена целым рядом факторов. Ключевой из них – высокая стоимость транспортировки техники на стационарный

*caf-tmir@mgul.ac.ru*

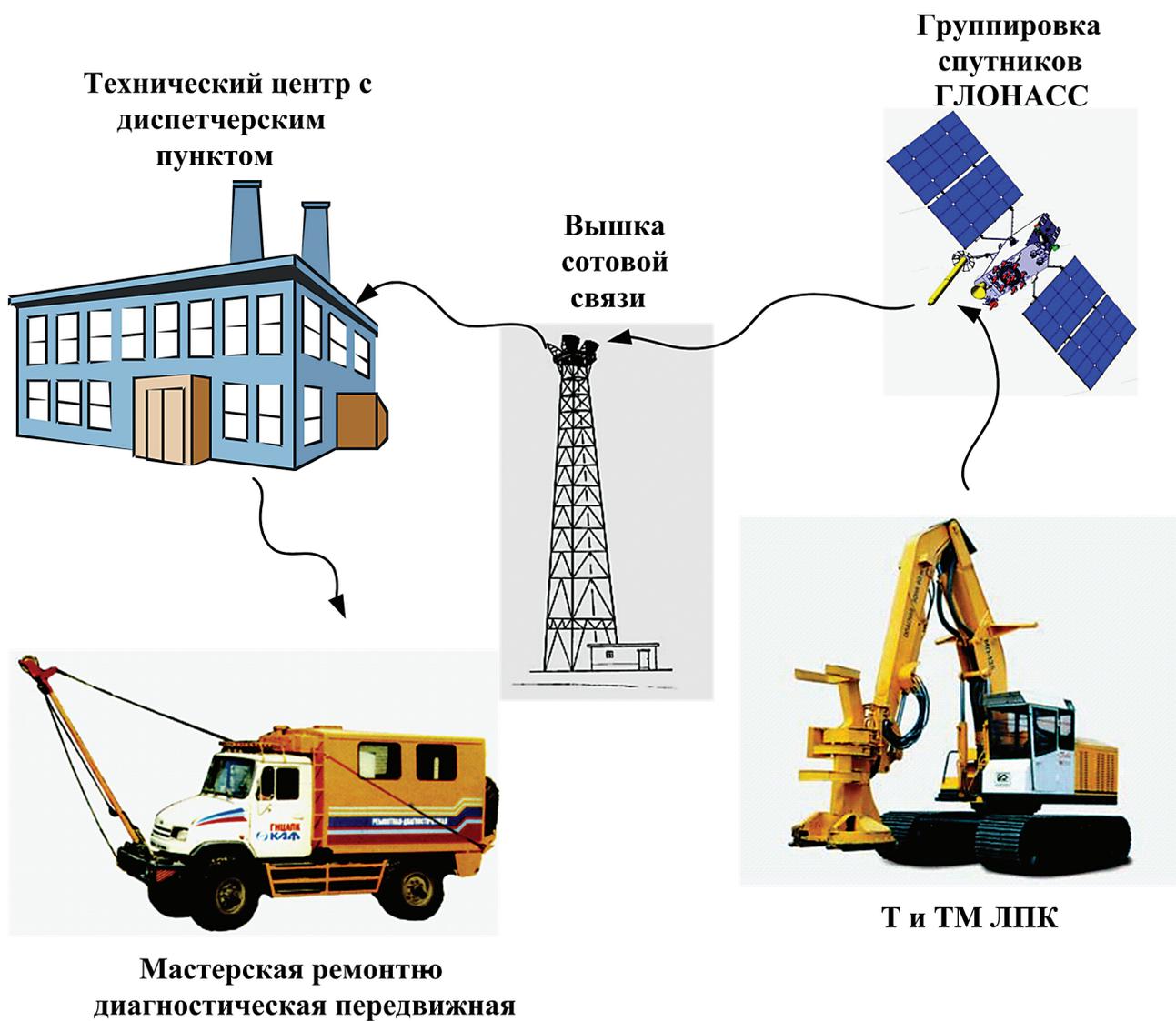


Рис. 1. Схема системы мониторинга технического состояния Т и ТМ ЛПК в реальном времени

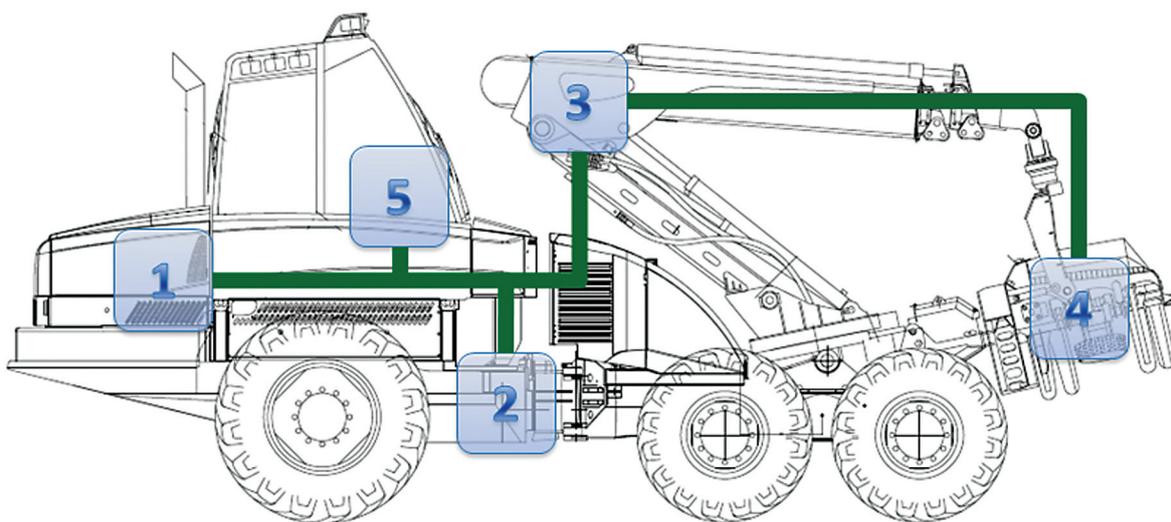


Рис. 2. Структурная схема современной лесной машины

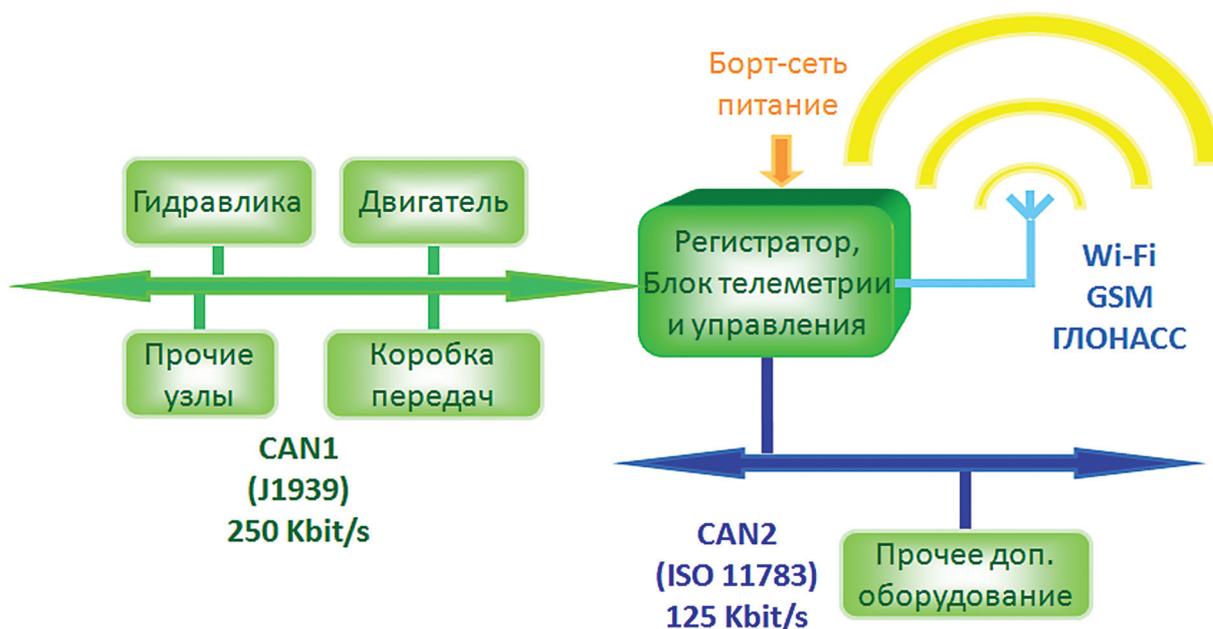


Рис. 3. Структурная схема бортовой информационно-управляющей системы

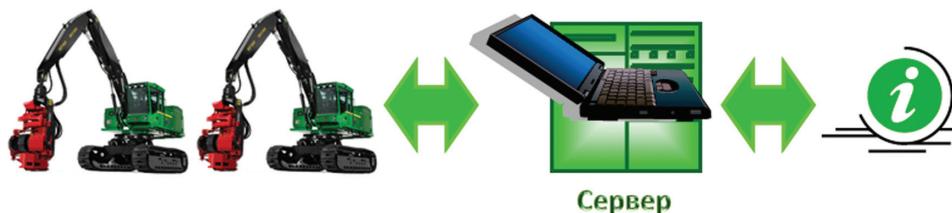
**Контроль за работой механизмов в реальных условиях эксплуатации**



**Контроль наработки и ремонт в условиях лесосеки**



**Контроль наработки и ремонт в условиях сервисного центра**



**Отправка информации на завод-изготовитель через Internet**

Рис. 4. Основные «сценарии» использования аппаратно-программного комплекса

технический сервисный центр. Трелевочный трактор, который работает в пределах 100–150 км от технического сервисного центра, доставлять своим ходом до данного предприятия нецелесообразно, его скорость невысока и на дорогу будет потрачено несколько часов плюс топливо и длительное отсутствие

в производственном цикле. За это время машина ремонтно-диагностическая передвижная (МРДП) успеет дважды преодолеть то же самое расстояние. Для негабаритной и тяжелой техники, например валочно-пакетирующей машины или сучкорезной машины, доставка своим ходом в принципе невозможна,

необходимо заказывать трал и согласовывать перевозку по дорогам общего пользования с ГИБДД. Доставлять машины в технический сервисный центр целесообразно лишь в том случае, если затраты на транспортировку не превышают экономии от сокращения простоев в техническом сервисе.

Организация технического сервиса Т и ТМ ЛПК на местах эксплуатации позволяет решить ряд важнейших вопросов – это скорость обслуживания, качество и стоимость. Данные работы передаются в аутсорсинг на основе долгосрочных договоров на технический сервис, кроме гарантийных случаев.

Оперативность выполнения работ по техническому сервису зависит от своевременно поступающей информации, оперативности выездных бригад и того, насколько развита стационарная сервисная сеть завода-изготовителя Т и ТМ ЛПК в данном регионе. Для организации поступления оперативной информации об отказах Т и ТМ ЛПК необходимо оснащать их системой мониторинга на базе технологий ГЛОНАСС, сигнал от которой поступает в диспетчерскую технического сервисного центра в автоматическом режиме [2]. Далее происходит осуществление обратной связи с оператором лесозаготовительной машины и проведение первичной диагностики. Затем в системе происходит формирование заявки на необходимые запасные части и проводится отгрузка узлов и комплектующих со склада. После этого осуществляется доставка запасных частей и специалистов до места проведения технических воздействий. Система мониторинга технического состояния Т и ТМ ЛПК на базе технологий ГЛОНАСС позволяет в любой момент времени получать оперативную информацию не только по техническому состоянию, но и отслеживать режимы работы машины, а также осуществлять дистанционную диагностику необходимости проведения технического сервиса в гарантийный и послегарантийный периоды работы машин, накапливать статистическую информацию об отказах. Функционирование системы мониторинга Т и ТМ ЛПК осуществляется по следующей схеме (рис. 1).

Система мониторинга технического состояния Т и ТМ ЛПК состоит из двух частей: бортовой и стационарной.

Бортовая часть системы включает навигационно-связное оборудование (абонентский терминал, антенну системы ГЛОНАСС, антенну канала связи GSM, устройство голосовой (громкой) связи, «тревожную» кнопку) и бортовые датчики, подключенные к терминалу, позволяющие контролировать работу машин и оповещать о возникновении ситуации для вмешательства выездных бригад технического сервиса (рис. 2).

Такие модули, как двигатель (1), электрогидравлическая трансмиссия (2), гидравлический манипулятор (3), харвестерная головка (4), система НМІ (5) связываются между собой и другими модулями посредством информационной магистрали лесной машины. В результате управляющая и контрольно-диагностическая информация данных модулей включается в общее информационное пространство лесозаготовительной машины.

Для организации информационной сети в современной технике широко применяется полевая шина (промышленная сеть) CAN. Промышленная сеть CAN (Controller Area Network) была создана в конце 80-х гг. фирмой Bosch как решение для распределенных систем, работающих в режиме реального времени [2].

Одна из первых реализаций CAN применялась в автомобильной электронике, однако сейчас CAN находит применение практически в любых типах машин и промышленных установок, от простейших бытовых приборов до систем управления ускорителями элементарных частиц. В настоящий момент CAN-протокол стандартизован в международном стандарте ISO 11898. Правила обмена и формат передаваемой информации в рамках информационных систем на транспорте регламентируются протоколами CANopen (CAN in Automation) и SAE J1939 (SAE).

Для организации информационного взаимодействия между двигателем, трансмиссией, тормозной системой на большегрузном транспорте и спец. технике в настоящее время наиболее широкое распространение получил стандарт SAE J1939 [3].

Использование данного стандарта подразумевает соответствие применяемых программных и аппаратных средств требованиям, предъявляемым к соединительным линиям и разъемным соединениям, а также протоколу обмена (рис. 3).

Стационарная часть системы мониторинга состояния Т и ТМ ЛПК представляет собой компьютерную систему обработки и хранения данных, блок голосовой связи и специальное диспетчерское программное приложение, разработанное компанией «М2М телематика» специально для мониторинга и управления промышленной техникой [4] (рис. 4).

Основными возможностями программного приложения диспетчерского центра является отображение информации о машинах, удобной для восприятия и дальнейшего анализа формы. Программный комплекс позволяет контролировать в режиме реального времени:

- местоположение, перемещение, скорость и направление движения Т и ТМ ЛПК на цифровой географической карте;
- наработку машины и ее основных агрегатов в мото-часах с начала эксплуатации и за заданный промежуток времени;
- давление масла в системе смазки двигателя и трансмиссии;
- температуру охлаждающей жидкости двигателя, температуру масла в гидросистеме и трансмиссии;
- напряжение бортовой сети;
- засоренность фильтров масла в трансмиссии и гидросистеме.

С помощью предложенной системы можно

- планировать и контролировать сроки проведения регламентных технических воздействий на технический сервис машин в режиме реального времени;
- определять эффективность использования техники на лесосеке, ее текущую загрузку с учетом фактического времени окончания плановых работ;
- следить за суммарным расходом топлива, его остатком на борту, контролировать его качество;

– вести контроль за расходом и наличием запасных частей, узлов и агрегатов на складах технических центров и у выездных бригад, что позволит прогнозировать складские запасы и рассчитать объемы работ технического сервиса соответствующего парка машин;

– осуществлять взаимодействие с электронными техническими руководствами, что позволит уменьшить время поиска необходимых данных на местах эксплуатации Т и ТМ ЛПК [4].

Возможность фильтрации базы данных по системам машин ЛПК, например, тип и модель, ее заводской и государственный регистрационный номер, наименование эксплуатирующей организации и другая сопутствующая информация по созданию классификаторов отказов с учетом разномарочности машин. Передача данных осуществляется по каналам сотовой связи, на сегодняшний день это один из самых дешевых и надежных способов передачи данных. Объем информации, передаваемый абонентским терминалом, как правило, не превышает по объему 15 Мб в месяц, а по стоимости – 100 руб. в месяц за единицу техники. Собранные данные не пропадают, если связь недоступна, а в полном объеме записываются в память абонентского терминала для последующей передачи пользователю системы после восстановления связи (черный ящик) [4].

С применением системы мониторинга технического состояния Т и ТМ ЛПК в реальном времени можно снизить производственные издержки, повысить эффективность использования машин и оперативно устранять отказы в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации техники.

### Библиографический список

1. Кондратюк, Д.В. Перспективы развития конкуренции гусеничных лесозаготовительных машин для заготовки древесины / Д.В. Кондратюк, В.М. Крылов // Технология и оборудование лесопромышленного производства: науч. тр. – Вып. 356. – М.: МГУЛ, 2011. – 190 с.
2. CAN in Automation. <http://www.can-cia.org>
3. SAEa. <http://www.sae.org>
4. <http://www.chetra-im.com>

## СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А.С. ФЕДОРЕНЧИК, проф. каф. лесных машин и технологии лесозаготовок Белорусского ГТУ, канд. техн. наук

*fedor@bstu.unibel.by*

Беларусь – лесная держава. Лесной фонд страны составляет 45,4 % ее территории, или 9432,7 тыс. га. Лесистость территории Республики Беларусь составила на 1.01.2011 г. 38,8 % и является самой высокой за последние 100 лет. Общий запас насаждений достиг 1598,2 млн м<sup>3</sup>, в том числе возможных для эксплуатации – 81,3 %. По прогнозу к 2015 г. он достигнет 1700 млн м<sup>3</sup>. На каждого жителя Беларуси приходится 0,98 га лесов и 166 м<sup>3</sup> древесного запаса, что практически в два раза выше среднеевропейского уровня. По данным официальной статистики, доля лесного комплекса в валовом внутреннем продукте составляет 4,2–4,5 %. В нем занято около 110 тысяч человек (3,0 % от численности занятых в народном хозяйстве), из них около 37 тысяч человек в лесном хозяйстве [1].

Организационную структуру лесного комплекса страны определяют главным образом предприятия Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь (115 лесхозов) и 339 предприятий, входящих в состав Белорусского производственно-торгового концерна лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности (концерн «Беллесбумпром»).

В соответствии с экономическими, экологическими и социальными функциями леса Беларуси разделены на леса первой

(51,4 %) и второй (48,6 %) группы. На долю особо охраняемых природных территорий и особо защитных участков приходится 25,5 %. Основные лесобразующие породы сгруппированы в хозяйства: хвойные – 59,5 %; твердолиственные – 4,1 %; мягколиственные – 36 %. Наибольшие площадь и запас в хвойном хозяйстве приходится на сосновые (4034,8 тыс. га, 50,1 %) и еловые (749,8 тыс. га, 9,3 %) насаждения. Наиболее ценные породы твердолиственного хозяйства – дуб (281,8 тыс. га, 3,5 %) и граб (23,3 тыс. га, 1 %). В мягколиственном хозяйстве 1852,7 тыс. га (23 %) занимают березняки, 171,4 тыс. га (2,1 %) – осинники, 689,4 тыс. га (8,6 %) – ольховые насаждения.

Все леса находятся в собственности государства. Чистые леса занимают 78,3 % от общей площади, леса в I зоне загрязнения радионуклидами (1–5 Ки/км<sup>2</sup>) – 15,1 %; во второй зоне (5–15 Ки/кв.км) – 3,9 %; III и IV зонах – 21,7 %. Средний запас насаждений на 1 га сегодня составляет 199 м<sup>3</sup>, а в спелых и перестойных – 257 м<sup>3</sup>. На долю молодняков приходится 20,2 %, средневозрастных – 48,4 %, приспевающих – 20,7 %, спелых – 10,7 %. Средний возраст лесов равен 52 года, а их средняя полнота – 0,7. Ожидается, что доля спелых лесов в стране к 2020 г. составит 18 % и это значительно увеличит расчетную лесосеку [1].

Т а б л и ц а 1

**Объемы заготовки древесины в лесах лесного фонда Минлесхоза по рубкам главного пользования**

Годы	Расчетная лесосека	Всего	Объем заготовки древесины, тыс. м <sup>3</sup>			% освоения расчетн. лесосеки
			в том числе			
			МЛХ	Концерн	Прочие	
2011	8147,0	7090	2800	3190	1100	87,0
2012	8659,5	7705	2975	3380	1350	89,0
2013	9144,3	8320	3190	3505	1625	91,0
2014	9623,1	8950	3400	3660	1890	93,0
2015	10139,6	9630	3660	3660	2310	95,0

**Эксплуатационные показатели типов местности**

Тип местности	Уровень грунтовых вод, м	Несущая способность, кПа	Сезон разработки
I	2,5 и >	70–200	На протяжении года
II	0,5–2,5	40–70	Лето, зима, сухая осень
III	0,5 и >	30–60	Лето, зима
IV.1	0–1,0	20–30	Сухое лето, зима
IV.2	0–0,5	<20	Зима

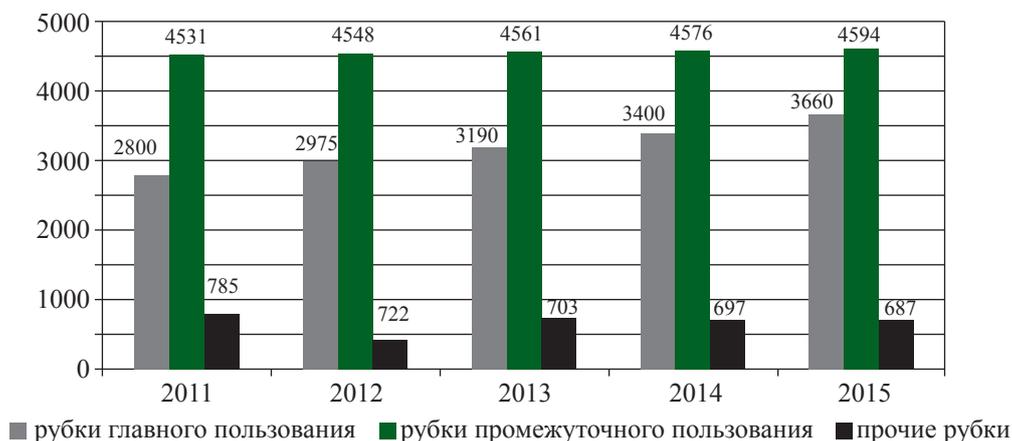


Рис. 1. Прогноз заготовки древесины организациями Минлесхоза

Основным лесфондодержателем в республике является Министерство лесного хозяйства. Объемы заготовки древесины в лесах его лесного фонда по рубкам главного пользования предприятиями Минлесхоза, концерна «Беллесбумпром» и прочими лесозаготовителями приведены в табл. 1. В целом по всем видам рубок заготовка древесины организациями Минлесхоза к 2015 г. прогнозируется на уровне 9000 тыс. м<sup>3</sup> (рис. 1), а всеми предприятиями по стране – свыше 17000 тыс. м<sup>3</sup>. Несплошные рубки к 2015 г. должны составить не менее 19–20 % с преобладанием постепенных рубок.

Для обеспечения имеющихся и строящихся в стране энергоисточников на основе использования местных видов топлива к 2015 г. объем производства топливной щепы составит 500 тыс. т условного топлива, или около 2 млн плотных м<sup>3</sup>. В качестве сырья для производства топливной щепы к 2020 г. планируется использовать до 7 млн м<sup>3</sup> дров, 0,5 млн м<sup>3</sup> отходов лесозаготовок, около 1,5 млн м<sup>3</sup> отходов деревообработки.

В целях организации рационального лесопользования в стране в БГТУ был вы-

полнен анализ условий произрастания насаждений. Выявлено, что леса в составе Государственного лесного фонда на песчаных и супесчаных почвах недостаточного и нормального увлажнения составляют 37,2 % (I тип местности), повышенного увлажнения составляют 38,5 % (II тип местности); леса на суглинистых и глинистых почвах занимают 6,7 % (III тип местности); леса на переувлажненных (глеевых) минеральных и торфяных болотистых почвах, наиболее неблагоприятные для лесозаготовки (IV.1 и IV.2 тип местности), занимают 17,6 %. Учитывая, что доступность разработки заболоченных лесосек ограничивается несущей способностью грунтов, эксплуатационные показатели типов местности представлены в табл. 2 [2].

На основании данных пересчета лесосечного фонда с использованием картографических материалов по крутизне склонов установлено, что ограничений для применения лесозаготовительных машин нет, т.к. холмистая местность с крутизной более 15° составляет 1,3 %. Сдерживает эффективное использование лесозаготовительных машин малая средняя площадь лесосек (4,8 га), отводимых



а



б



в



г

Рис. 2. Лесные машины производства Республики Беларусь: а – харвестер Амкордор-2551; б – форвардер МЛПТ-364; в – рубильная машина МР-40-01; г – фронтальный погрузчик Амкордор-342С-01

в рубку. Так как деревья, у которых средний объем хлыста составляет  $0,46 \text{ м}^3$  и более, составляют в лесосечном фонде страны лишь 2 %, то для выполнения лесосечных работ необходимо ориентироваться на колесные лесные машины на базе тракторов тяговых классов от 0,6 до 4 с максимальными габаритами по ширине не более 3,1 м.

В Беларуси для транспортировки лесных материалов используются лесовозные автопоезда отечественного производства на базе автомобилей МАЗ грузоподъемностью 40 и более тонн. Они позволяют осуществлять вывозку древесины в сортиментах, хлыстах, а также в виде щепы. Анализ состояния действующих лесных дорог показывает, что они не в полной мере отвечают современным требованиям. Сегодня их эксплуатируется 116 тыс. км и около 90 % из них имеют грунтовое покрытие. Для доведения дорожно-транспор-

тной сети страны до требуемых нормативов ( $0,5 \text{ км}/100 \text{ га}$  лесопокрытой площади) необходимо построить более 17 тыс. км лесных дорог круглогодичного действия.

За годы независимости страны благодаря реализации положений «Стратегического плана развития лесного хозяйства Республики Беларусь до 2015 г.» достигнуто:

- рост объемов лесозаготовок составил свыше 30 %;

- разработана и внедрена нормативная база (стандарты, технические кодексы, правила, инструкции и др.) по ведению лесозаготовок с учетом международных требований. Создана Национальная система лесной сертификации, признанная Советом директоров PEFC. 90 лесхозов республики могут использовать сертификационный знак Общеввропейского совета по лесной сертификации. Сертификаты FSC получили

свыше 40 % лесохозяйственных предприятий;

- создана с участием кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок отечественная система колесных лесозаготовительных машин. Ведущими предприятиями по выпуску этих машин являются ОАО «Амкодор», РУП «МТЗ», ОАО «МАЗ», которые освоили серийный выпуск харвестеров, форвардеров, прицепных тележек с гидроманипуляторами, трелевочных и рубильных машин, фронтальных лесопогрузчиков (рис. 2);

- сформирован частный сектор лесозаготовителей;

- создана подотрасль по производству топливной щепы из низкокачественной древесины, отходов заготовки и переработки древесного сырья.

В последние годы наблюдается рост технического потенциала лесной отрасли. Только в лесхозах на начало 2011 г. имелось 2390 колесных тракторов, 94 форвардера, 45 харвестеров, 886 полуприцепов тракторных, оборудованных гидроманипуляторами, свыше 40 рубильных машин и другое оборудование. За 2009–2010 гг. количество лесозаготовительной техники увеличилось на 37 %, в т.ч. сортиментовозов на 62 %, форвардеров на 45 %, тракторных тележек на 24 %.

Вместе с тем, несмотря на положительную динамику, остается низкий технический уровень отечественного лесозаготовительного производства и высокий уровень износа основных промышленно-производственных фондов. Из-за отсутствия опыта в работе операторов и слабой ремонтной базы низкой остается годовая производительность харвестеров и форвардеров. У многих лесопромышленных предприятий ощущается недостаток собственных средств на цели их технического перевооружения и развития. В стране действует жесткая налоговая и кредитная политика, слабо учитывающая специфические особенности лесозаготовительного производства (сезонный характер работы, необходимость постоянного строительства лесовозных дорог и др.), низкий уровень маркетинговой деятельности, неэффективная структура лесного экспорта. Съем древесины с 1 га лесопокрытой площади

составил 1,91 м<sup>3</sup>/га, а использование годовичного прироста 49,3 %.

В соответствии с Государственной программой развития лесного хозяйства до 2015 г. планируется с использованием многооперационной лесозаготовительной техники заготавливать 70–75 % древесины от общего объема заготовки и обеспечить освоение расчетной лесосеки на 95 %. Для этого необходимо закупить 84 харвестера для рубок главного пользования, 121 харвестер для рубок ухода, 410 форвардеров и 180 сортиментовозов для трелевки и вывозки сортиментов.

Среди приоритетных задач развития лесозаготовок, также требующих решения, отметим [3]:

- переход на новые методы лесопользования, заключающиеся в освоении лесных массивов большими площадями (кварталами, блоками кварталов) путем проведения в них комплекса видов рубок, преимущественно несплошных, с утилизацией отходов лесозаготовок;

- внедрение сквозных взаимосвязанных технологий всех видов рубок леса и лесохозяйственных работ, транспорт древесины и комплексной переработки древесного сырья на основе совершенствования организационных форм управления, принципах неистощительного, многоцелевого использования лесосек;

- более полное освоение труднодоступных заболоченных и деконцентрированных лесосек, в том числе в мягколиственных (сероольховых) насаждениях;

- увеличение доли заготовки древесины в лесах, загрязненных радионуклидами, с учетом экологической замкнутости биосистем, а также решение вопросов безопасности и комплексного освоения ветровально-буреломных лесосек;

- переоснащение и развитие машинного парка для лесозаготовительного производства на основе лесоэксплуатационной классификации природно-производственных условий;

- дальнейшее развитие отечественного лесного машиностроения, базирующегося на кооперативном производстве готовых из-

делий внутри страны и также в кооперации с лучшими зарубежными фирмами по закупке технологического оборудования, отдельных узлов и комплектующих; повышение надежности лесных машин;

– создание служб по ремонту и сервисному обслуживанию дорогостоящей лесозаготовительной техники, подготовка операторов многооперационных машин и специалистов по организации их эффективной работы;

– разработка рыночного механизма взаимоотношений предприятий государственного и частного сектора в области лесозаготовок, интенсивное включение в лесозаготовительное производство мелких фирм и заготовителей;

– доведение лесотранспортной сети до требуемых нормативов;

– наращивание объемов различных видов топлива из древесной биомассы (ввод в

эксплуатацию 161 энергоисточника на местных видах топлива с электрической мощностью 47,5 МВт и тепловой мощностью 1025,7 МВт);

– обеспечение высокорентабельного лесозаготовительного производства и устойчивого финансового положения предприятий отрасли.

#### Библиографический список

1. Состояние и использование лесов Республики Беларусь. – Минск: ENPI-FLEG, 2010. – 28 с.
2. Федоренчик, А.С. Типизация лесных территорий Беларуси для разработки требований по организации и проведению лесосечных работ / А.С. Федоренчик, И.В. Соколовский // Труды Бел. гос. технол. ун-та. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – Минск: БГТУ, 1999. – Вып. VII. – С. 8–12.
3. Федоренчик, А.С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / Монография / А.С. Федоренчик, А.В. Ледницкий. – Минск: БГТУ, 2010. – 446 с.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

Е.Н. ЩЕРБАКОВ, доц. МГУЛ канд. техн. наук,

С.П. КАРПАЧЕВ, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук

*scherbakov@mgul.ac.ru, karpachev@mgul.ac.ru*

Древесные ресурсы в виде веток, вершинки и сучьев, образующиеся на лесосеке как побочные продукты деятельности лесозаготовительных предприятий принято называть лесосечными отходами. В России в настоящее время такие дополнительные ресурсы используются недостаточно эффективно. Напротив, в развитых странах, таких как Финляндия и Швеция, лесосечные отходы рассматриваются как важнейший источник для роста лесной биоэнергетики.

Лесохозяйственные требования устойчивого лесопользования предусматривают контроль за образованием лесосечных отходов. Нормы требуют того, чтобы все отходы были собраны и удалены с лесосеки. В крайнем случае, их следует сжечь. Исследования показывают, что если данный вид отходов использовать как древесное топливо для мес-

тных нужд, то очистка лесосек от отходов может быть экономически выгодной. По мнению заинтересованных местных органов исполнительной власти, наибольший эффект может быть достигнут, если передать сбор и переработку отходов малым специализированным предприятиям. В этом случае информация о количестве и качестве лесосечных отходов для малых предприятий становится решающей в их успешной экономической деятельности.

Таким образом, эффективное решение лесохозяйственных и производственных задач использования лесосечных отходов связано с информацией о количестве и качестве этого вида дополнительного древесного сырья. Такая информация должна быть точной и оперативной.

В настоящей статье приведены некоторые экспериментальные исследования од-

ного из методов, применяемого для количественной и качественной оценки лесосечных отходов, образующихся на лесосеке после сортиментной заготовки леса. Скопления ветвей, сучьев и вершинок в виде куч характеризуются малыми концентрациями и большой территорией распространения и представляют собой, с точки зрения их оценки, наиболее сложный тип лесосечных отходов.

Для количественной и качественной оценки лесосечных отходов предлагается использовать статистический метод, основанный на теории линейных пересечений и именуемый в дальнейшем как метод линейных пересечений (далее – МЛП) [1]. Этот метод хорошо зарекомендовал себя на практике [2–5]. Суть данного метода заключается в том, что на территории лесосеки намечают так называемые линии отбора (такие линии, на практике, могут и не проводиться, а учетчик может просто двигаться по выбранному направлению через лесосеку). Все скопления лесосечных отходов, которые пересекаются с линиями отбора, учитываются. Ученные

скопления представляют собой выборку, по которой можно дать количественную и качественную оценку всему скоплению. Например, оценить объем отходов, загрязненность древесины минеральными примесями и т.п. Таким образом, метод линейных пересечений представляет собой один из статистических методов учета. Такие методы учета широко применяются в лесном хозяйстве, например в таксации. Они зарекомендовали себя как достаточно точные и наименее трудоемкие.

В проведенных авторами теоретических исследованиях МЛП скопления лесосечных отходов были представлены в виде куч правильной круговой формы в плане с радиусом  $R$ .

Рассмотрим плоский прямоугольный участок лесосеки размером  $L \times H$ . Пусть на участке находится  $N$  скоплений лесосечных отходов (рис. 1).

Будем считать, что все скопления лесосечных отходов имеют форму круга постоянного радиуса  $R$ . Пусть координаты центров скоплений  $X, Y$  подчиняются равномерному

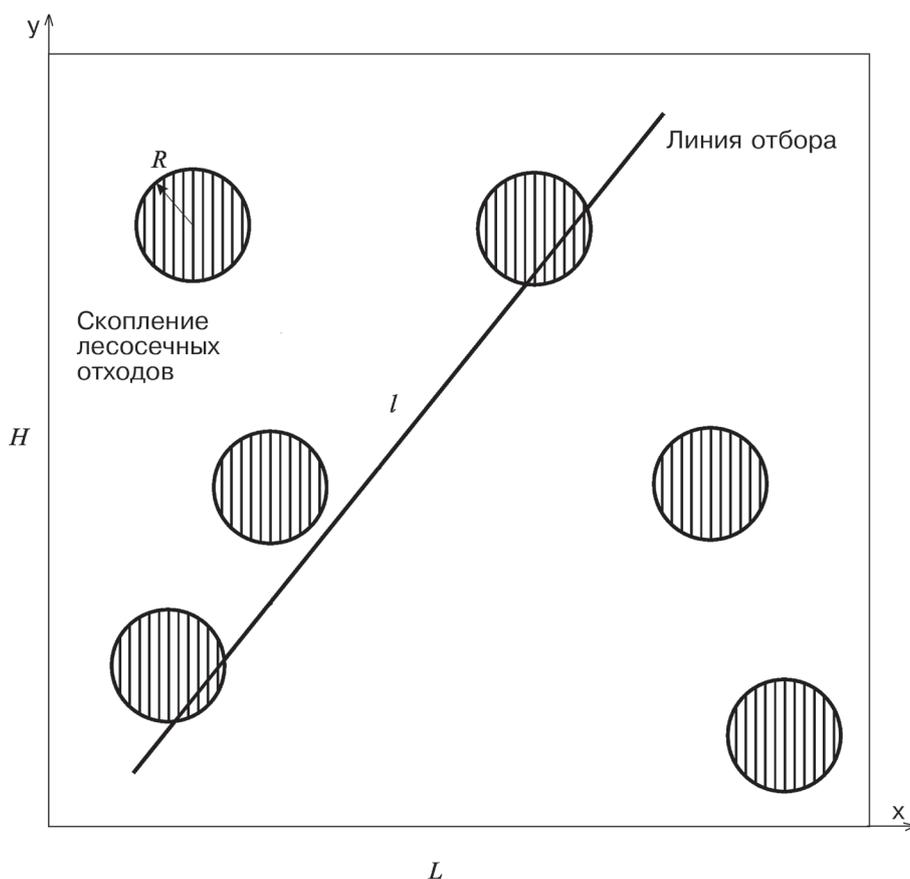


Рис. 1. Схема учета скоплений лесосечных отходов

закону распределения на интервалах  $[0, H]$ ,  $[0, L]$ . Проведем через участок линию отбора длиной  $l$ . Пусть угол ориентации этой линии  $\Phi$  также подчиняется равномерному закону распределения и определен на интервале  $[-\pi/2, +\pi/2]$ . Вероятность того, что произвольно выбранная линия  $l$  пересечет скопление радиусом  $R$ , будет равна

$$p(+|R) = \frac{\Omega_+}{\Omega}, \quad (1)$$

где  $\Omega_+$  – область благоприятных событий (пересечение скопления с линией отбора);

$\Omega$  – полная система событий (всевозможные положения скопления на площадке).

Определим область благоприятных событий (пересечение скопления с линией отбора)  $\Omega_+$ . Будем считать, что

$$l > 2R. \quad (2)$$

Используя теорию геометрических вероятностей, мы получили формулу для оценки количества скоплений лесосечных отходов  $N_{оц.}$  на лесосеке

$$N_{оц.} = \frac{1}{n} \cdot \frac{F}{2 \cdot R} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{l_i}, \quad (3)$$

где  $p$  – вероятность пересечения скопления линией отбора;

$n$  – число линий отбора;

$l_i$  – длина  $i$ -ой линии отбора;

$F$  – площадь лесосеки;

$m_i$  – число скоплений, пересеченных  $i$ -й линией отбора.

Если объем скоплений лесосечных отходов представить, например, в виде цилиндров высотой  $h$ , а линии отбора имеют одинаковую длину  $l$ , то формула (3) преобразуется к виду, удобному для оценки объема отходов, приходящегося на единицу площади лесосеки,  $\text{м}^3/\text{м}^2$

$$\tilde{V}_F = \frac{\pi \cdot K_p \cdot R_{cp.}}{2 \cdot l} \cdot \left( \frac{\sum_{j=1}^k h_j}{n} \right), \quad (4)$$

где  $K_p$  – коэффициент полндревесности куч лесосечных отходов;

$R_{cp.}$  – средний радиус скоплений;

$h_j$  – высота  $j$ -ого скопления лесосечных отходов;

$k$  – число скоплений, пересеченных линиями отбора.

Из формулы (2) легко получить формулы для оценки и других характеристик лесосечных отходов, например, для оценки засоренности их минеральными примесями или влажности древесины, что очень важно при использовании отходов в качестве древесного топлива.

Полученные теоретическим путем формулы для оценки лесосечных отходов решено было опробовать на практике.

Натурные эксперименты проводились на лесном участке Щелковского учебно-опытного лесхоза МГУЛ в 38 квартале Фряновского лесохозяйственного участка в Московской области.

Данный лесной участок в конце июня 2010 г. подвергся удару урагана, приведшего к многочисленным ветровалам [3]. Ураган повалил деревья полосами шириной 50–100 м и длиной сотнями метров. В 2011 г. на этом лесном участке были заготовлены поваленные деревья с использованием харвестера. В результате на лесосеке остались скопления лесосечных отходов в виде куч (рис. 2), количество которых и решено было определить по методике МЛП [4, 5].

Для экспериментов на участке была заложена пробная площадь прямоугольной формы размером 80×200 м (рис. 3). Необходимо отметить, что на данном участке в 2010 г. уже проводилась оценка ветровальной древесины, которая находилась на этом участке ранее [3].

В полевых условиях участок разбивали в соответствии с правилами геодезии с использованием металлической мерной ленты, вешек и нивелира (рис. 4).

Учет кучевых скоплений лесосечных отходов проводился по линиям отбора, которые начинались на одной стороне опытного участка и заканчивались на противоположной стороне, пересекая весь участок по ширине. Координата  $X$  начала каждой линии отбора на одной стороне участка определялась случайным образом (с использованием генератора случайных чисел) и фиксировалась первой вешкой. Вторая вешка устанавливалась на противоположенной стороне участка так, чтобы линия отбора проходила нормально к среднему вектору направления большей стороны участка. Линию отбора ориентировали



Рис. 2. Скопления лесосечных отходов после харвестерной заготовки

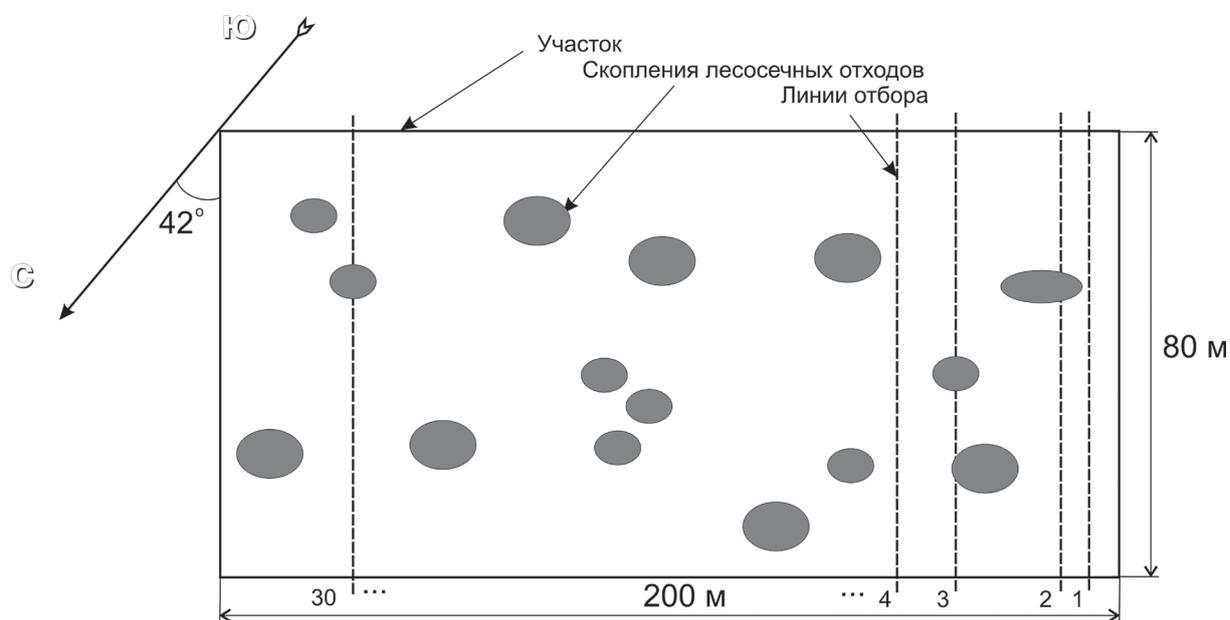


Рис. 3. Схема опытного участка

визуально, без использования каких-либо геодезических угломерных инструментов.

Всего было применено 30 линии отбора. Учитывали все скопления лесосечных отходов, пересеченные каждой линией. У всех

скоплений лесосечных отходов, пересеченных линией отбора, измеряли периметр методом хорд (рис. 5).

В данной статье приводятся результаты оценки только числа скоплений лесосечных



Рис. 4. Разбивка опытного участка

отходов. Для этого достаточно учесть только число скоплений, пересеченных каждой линией отбора, и знать средний радиус скоплений. В экспериментах средний радиус был получен по результатам обработки измерений периметров скоплений, пересеченных линиями отбора.

Результаты обработки данных учета скоплений лесосечных отходов приведены ниже.

- Средний диаметр куч лесосечных отходов, вычисленный по периметрам – 2,76 м.
- Всего кучевых скоплений лесосечных отходов – 47 шт.
- Оценка числа кучевых скоплений на участке по 30 линиям отбора – 51 шт.
- Дисперсия по выборке пересеченных кучевых скоплений лесосечных отходов – 899,31.
- Доверительный интервал выборки пересеченных кучевых скоплений для уровня значимости 5 % –  $\pm 11,2$  шт.
- Отклонение оценки числа кучевых скоплений от истинного –  $-8,5$  %.

Полученные данные были обработаны по правилам математической статистики с использованием формул МЛП, приведенных выше.

Оцененное число скоплений лесосечных отходов на пробном участке, полученное по МЛП, составило 51 шт. Оценка оказалась в пределах доверительного интервала (от 35 до 57 скоплений) для уровня значимости 5 %.

Действительное число скоплений лесосечных отходов, полученное по результатам сплошного перечета, оказалось равным 47 шт. Отклонение оценки числа скоплений методом линейных пересечений от действительного значения составило 8,5 %.

Как уже отмечалось выше, оценка числа скоплений лесосечных отходов проводилась по данным, полученным с 30 линий отбора. Такое число линий оказалось избыточным. Статистическая обработка результатов эксперимента показала, что для уровня значимости 5 % достаточно было бы 15–20 линий отбора для оценки с доверительной ве-



Рис. 5. Измерение периметра скопления лесосечных отходов методом хорд

роятностью 20 % количества всех скоплений лесосечных отходов на пробном участке.

Экспериментальное исследование МЛП для оценки скоплений лесосечных отходов, позволило сделать следующие выводы:

– применение МЛП позволяет с достаточной для практики точностью оценивать скопления лесосечных отходов, образующиеся после харвестерной заготовки леса;

– применение МЛП не требует специальной подготовки, однако сопряжено с определенными трудностями работы в полевых условиях и требует повышенного внимания и соблюдения требований техники безопасности;

– применение МЛП в дальнейшем может иметь большие перспективы при использовании дистанционных методов и современных средств измерений.

### Библиографический список

1. Карпачев, С.П. Оценка объема и качества скопленных бревен в водоемах: монография / С.П. Карпачев. – М.: МГУЛ, 2004. – 89 с.
2. Карпачев, С.П. Теоретические исследования вероятностных характеристик оценки скоплений отходов методом линейных пересечений / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, № 4 (67) – 2009. – С. 97–99.
3. Щербаков, Е.Н. Количественная оценка ветровально-буреломной древесины / Е.Н. Щербаков, С.П. Карпачев // Лесопромышленник, сентябрь–октябрь № 3 (55) – 2010. – С. 8–12.
4. Щербаков, Е.Н. Количественная оценка лесосечных отходов после сортиментной заготовки леса харвестерами / Е.Н. Щербаков, С.П. Карпачев, А.Н.Слинченков // Лесопромышленник, декабрь–январь, № 4 (56) – 2010. – С. 29–31.
5. Карпачев, С.П. Количественная оценка скоплений лесосечных отходов после харвестерной заготовки леса / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков // Лесопромышленник, № 3 (59) 2011. – С. 22–25.
6. Карпачев, С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, А.Н. Комяков, А.Н. Слинченков // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, № 4 (73) – 2010. – С. 70–74.
7. Комяков, А.Н. Применение большегрузных плавучих контейнеров для нужд биоэнергетики / А.Н. Комяков, С.П. Карпачев // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, № 4 (73) – 2010. – С 104–107.
8. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, А.Н. Комяков // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, № 4 (73) – 2010. – С. 107–111.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПО СОСТАВЛЯЮЩИМ ЦИКЛА ПРОДОЛЬНОГО ЛЕСОПИЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

С.Б. ЯКИМОВИЧ, проф. каф. ТОЛП Уральского ГЛТУ, д-р техн. наук,  
Ю.В. ЕФИМОВ, мл. науч. сотр. МарГТУ

*jak.55@mail.ru, yura\_efimov.83@mail.ru*

Технологический процесс лесопиления характеризуется, как отмечается в [1, 2], высокими удельными затратами энергии. Составляющие этих затрат в процессе лесопиления ленточнопильными и круглопильными станками определяются рабочими (собственно пилением) и холостыми возвратными движениями режущего органа или пиловочника, поворотами (кантованием) пиловочника или режущего органа и наличием сучьев в пропиле [3]. Снижение энергопотребления и обеспечение энергоэффективности имеет существенное значение при лесопилении мобильными лесопильными установками в условиях лесосеки вследствие высокой стоимости энергоносителей [4]. Решение подобной задачи требует выделить регулярные амплитудно-частотные составляющие случайного процесса мощности и энергопотребления в цикле лесопиления, а также факторы, изменяющие эти составляющие. В

этой связи определение факторов управления, их значимости и получение на этой основе оптимальных раскроев по критериям энергосбережения представляется актуальным [5].

Оценка доли составляющих мощности при пилении сучковых и бессучковых зон древесины может быть выполнена по анализу совокупности реализаций пропилов, а оценка доли рабочих и возвратных движений и поворотов – по совокупности реализаций циклов продольного пиления пиловочника. Наиболее подходящими для выделения составляющих мощности применительно к лесозаготовкам [6] из известных формализованных способов являются методы спектрального анализа.

Исходя из изложенного, целью работы является повышение эффективности лесопиления на основе экспериментальной оценки распределения мощности по составляющим цикла продольного лесопиления и выделения

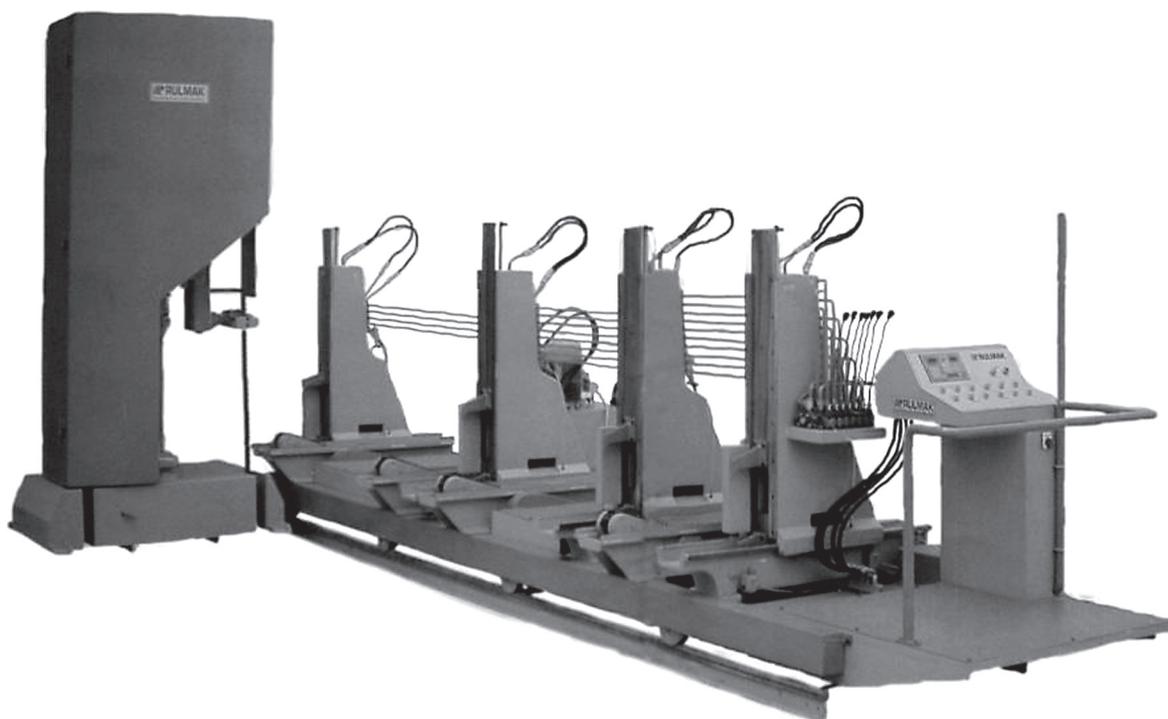


Рис. 1. Ленточнопильный станок RM – 1200 «RULMAK»

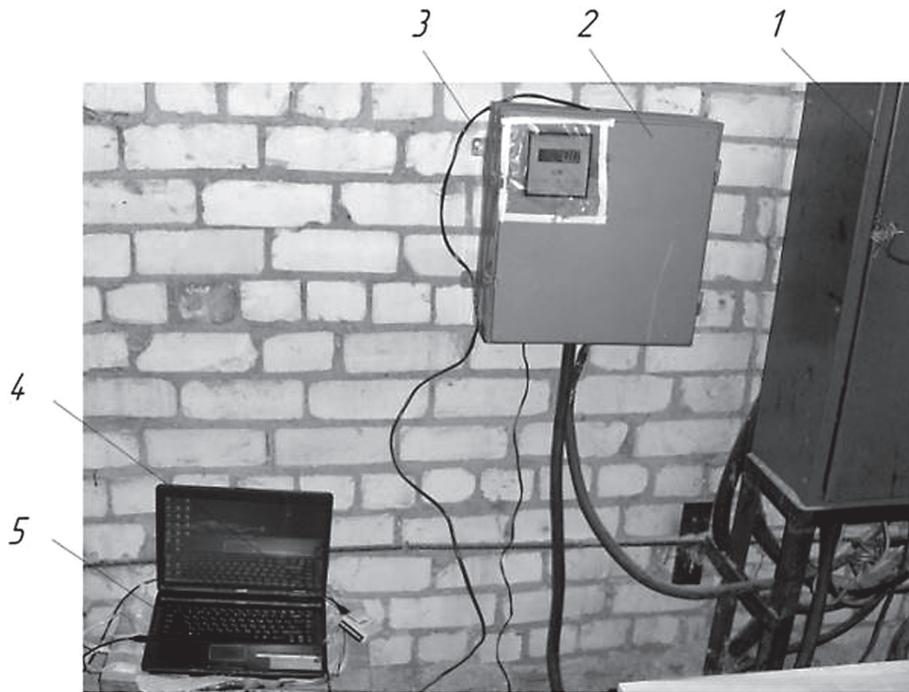


Рис. 2. Измерительный шлейф: 1 – силовой щит ленточнопильной установки; 2 – измерительный щит с цифровым ваттметром ЦП 8506-120; 3 – кабель стабилизированного напряжения 220 В для питания ваттметра; 4 – многофункциональный модуль сбора данных USB 6008; 5 – портативный компьютер

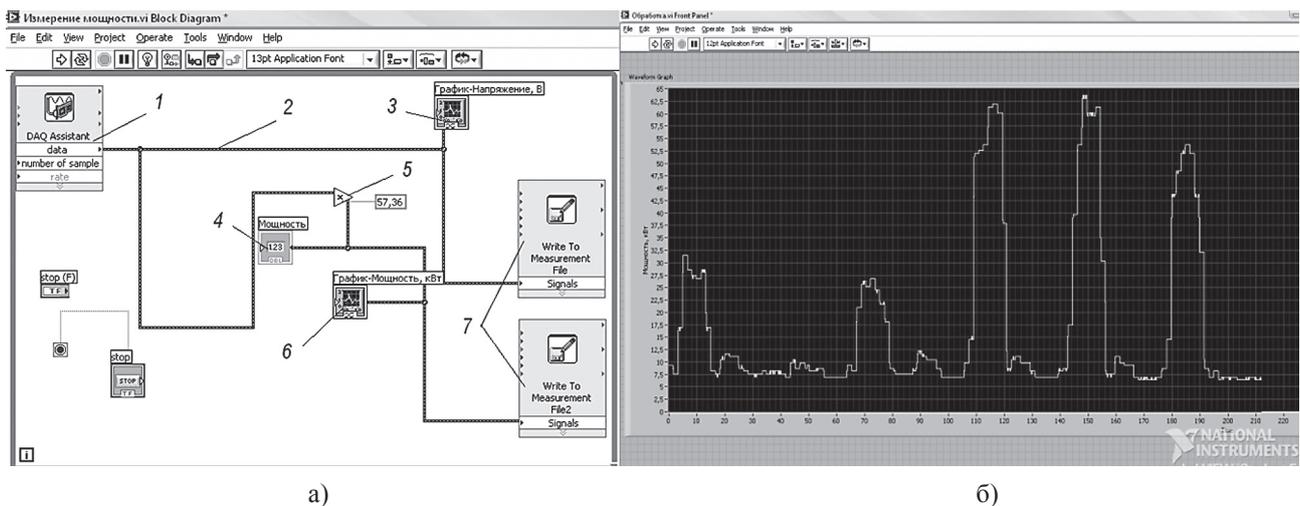


Рис. 3. Прикладная программа сбора данных в среде LabView: а) блок-схема виртуального прибора (ВП) измерения мощности продольного лесопиления: 1 – экспресс ВП сбора данных, 2 – канал передачи сигнала, 3 – терминал графика осциллограммы напряжения, 4 – элемент индикации значения мощности, 5 – функция умножения сигнала на переводной коэффициент, 6 – терминал графика осциллограммы мощности, 7 – экспресс ВП сохранения данных; б) фрагмент записи активной мощности при пилении в окне программы LabView

факторов управления энергопотреблением при прочих равных условиях.

Промышленный эксперимент проведен на предприятии ООО «Лесфорт» в 2009–2010 гг. на ленточнопильном станке *RM – 1200 «RULMAK»*. Общий вид станка представлен на рис. 1. Порода при экспериментальных распиловках – сосна.

Экспериментальные данные фиксировались записью мощности циклов продольного пиления древесины посредством измерительного комплекта, состоящего из цифрового ваттметра активной мощности, модуля сбора данных, портативного компьютера и линий связи (рис. 2). Данные мощности процесса регистрировались в среде графического

программирования LabVIEW посредством программно созданного прикладного прибора фиксирования и преобразования данных. Схема прибора и входящих в него графических модулей представлена на рис. 3.

Для адекватного отображения фиксируемого процесса лесопиления частота дискретизации определялась в соответствии с теоремой Котельникова-Найквиста – частота измеряемого сигнала должна быть вдвое больше его верхней физической частотной компоненты [8]. Минимальная фиксируемая частота при продольной распиловке для оценки составляющих цикла распиловки по мощности – частота встречаемости  $F_c$  сучьев в ходе пропила, которая определила частоту дискретизации по следующей методике.

$$F_c = 1/t_c,$$

где  $t_c = l_{м.с}/v_{cp}$  – среднее время встречаемости сучьев, с;

$l_{м.с}$  – среднее расстояние между сучьями, м;

$$l_{м.с} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{ci}}{n-1},$$

где  $l_{ci}$  – расстояние между соседними сучьями, м;

$n$  – количество сучьев.

Средняя скорость на пропил определяется выражением

$$v_{cp} = l_n/t_n,$$

где  $t_n$  – время на пропил, с;

$l_n$  – длина пиловочника, м.

На основании изложенной методики частота встречаемости сучьев определена равной  $F_c = 0,59$  Гц. С учетом возможности регистрирующей аппаратуры для обеспечения гарантированной достоверности и точности воспроизведения формы сигнала частота дискретизации записи процесса принята равной 10 Гц.

На практике эксперимент планируется таким образом, чтобы анализируемый процесс можно было считать стационарным; так как методы анализа нестационарных процессов отличаются заметно большей сложностью. В лабораторных условиях стационарности процесса можно добиться, обеспечивая неизменность условий эксперимента [7].

В нашем случае стационарный характер данных, при пилении древесины, обеспечивается физической природой процесса лесопиления и постоянностью условий проведения производственного эксперимента. Доказательство стационарности (отсутствие тренда) реализовано на основе совокупности полученных данных записей (ансамбля) циклов процесса продольного пиления древесины посредством оценок математического ожидания и дисперсии мощности по методике, представленной в [8]. Процесс считается стационарным в широком смысле, если отклонение  $m_{откл}$  максимальной мощности от математического ожидания  $\bar{m}_x$  значительно меньше среднеквадратического отклонения  $\sqrt{\bar{D}_x}$  по множеству оценок. Расчетные данные для доказательства, полученные в ходе эксперимента, имеют следующий вид:

$$\bar{m}_x = 15,09 \text{ кВт}, \quad m_{\max} = 16,489 \text{ кВт},$$

$$m_{откл} = |\bar{m}_x - m_{\max}| = |15,099 - 16,489| = 1,39 \text{ кВт},$$

$$\bar{D}_x = 422,108 \text{ кВт}^2, \quad \sqrt{\bar{D}_x} = 20,545 \text{ кВт}^2,$$

$$D_{\max} = 505,416 \text{ кВт}^2,$$

$$D_{откл} = |\bar{D}_x - D_{\max}| =$$

$$= |422,108 - 505,416| = 83,308 \text{ кВт}^2,$$

$$\sqrt{D_{откл}} = 9,127 \text{ кВт}^2.$$

Условие  $m_{откл} \leq \sqrt{\bar{D}_x}$  выполняется, а также выполняется условие  $\sqrt{D_{откл}} \leq \sqrt{\bar{D}_x}$ , отсюда следует, что рассматриваемый случайный процесс в широком смысле является стационарным и к нему применимы стандартные методы спектрального анализа.

Пиломатериалы, полученные в процессе продольной распиловки, характеризуются значительным разнообразием по таким случайным параметрам, как высоты сечений пропилов, количество поворотов на один пропил, диаметры сучьев, расстояния между сучьями в сечении пиломатериала и соответствующей этим факторам мощности на пропил. С целью анализа распределения мощности по составляющим требуется выделение однородных пиломатериалов, близких по группам высот.

Для разбиения на однородные группы высот пропила использован метод кластеризации –  $k$ -средних [9, 10]. На основе класте-

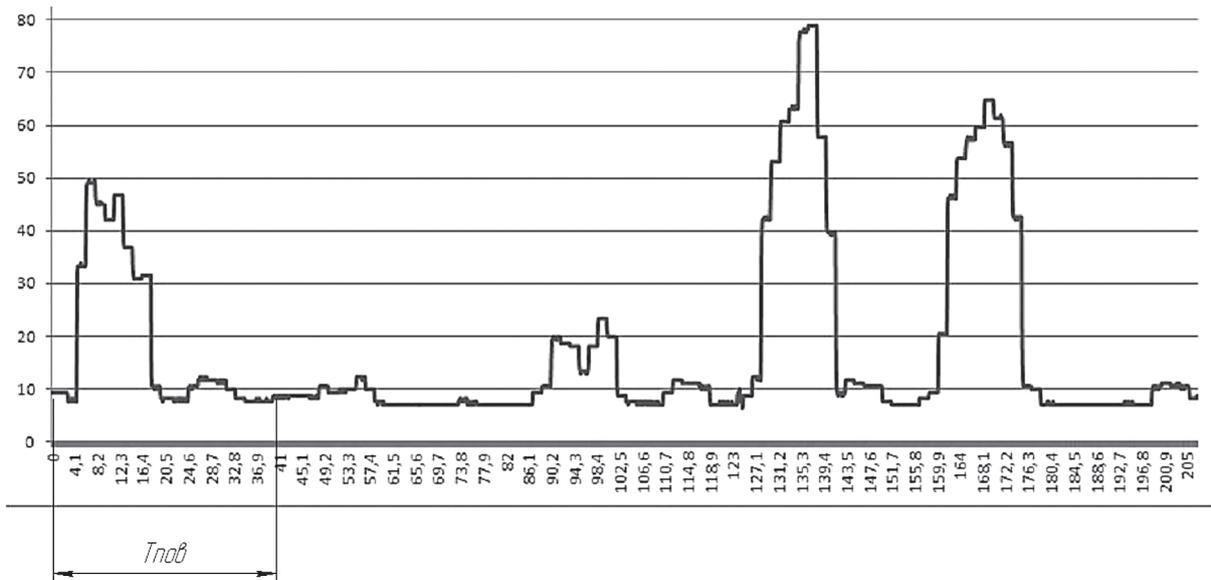


Рис. 4. Выделение составляющей  $T_{\text{пов}}$  в процессе цикла продольного пиления пиловочника

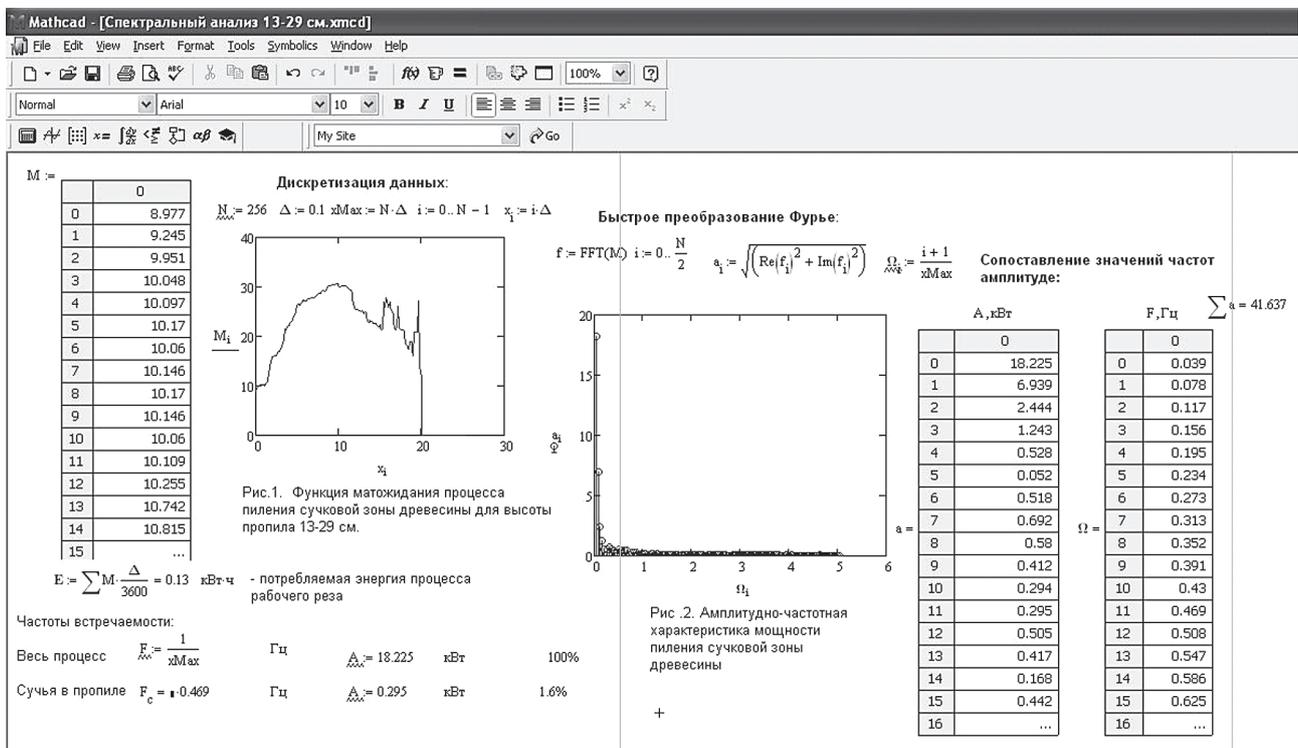


Рис. 5. Фрагмент спектрального анализа пиления сучковой зоны группы по высоте пропила 13–29 см

ризации выделены три кластера (группы) с близкими значениями дисперсии и следующими значениями высоты пропилов:

I группа (13–29 см); II группа (30–40 см); III группа (42–56 см).

По представленным группам определяются оценки математических ожиданий высот сечений пропилов, количества сучьев в пропилах, расстояний между сучьями, диамет-

ров сучьев, мощности, времени на пропилы и холостые возвратные движения, повороты. Далее на основе значений перечисленных параметров вычисляются оценки математических ожиданий частоты встречаемости пропилов и холостых возвратных движений, поворотов пиловочника и сучьев в пропилах с целью определения амплитуд мощности на соответствующих частотах.

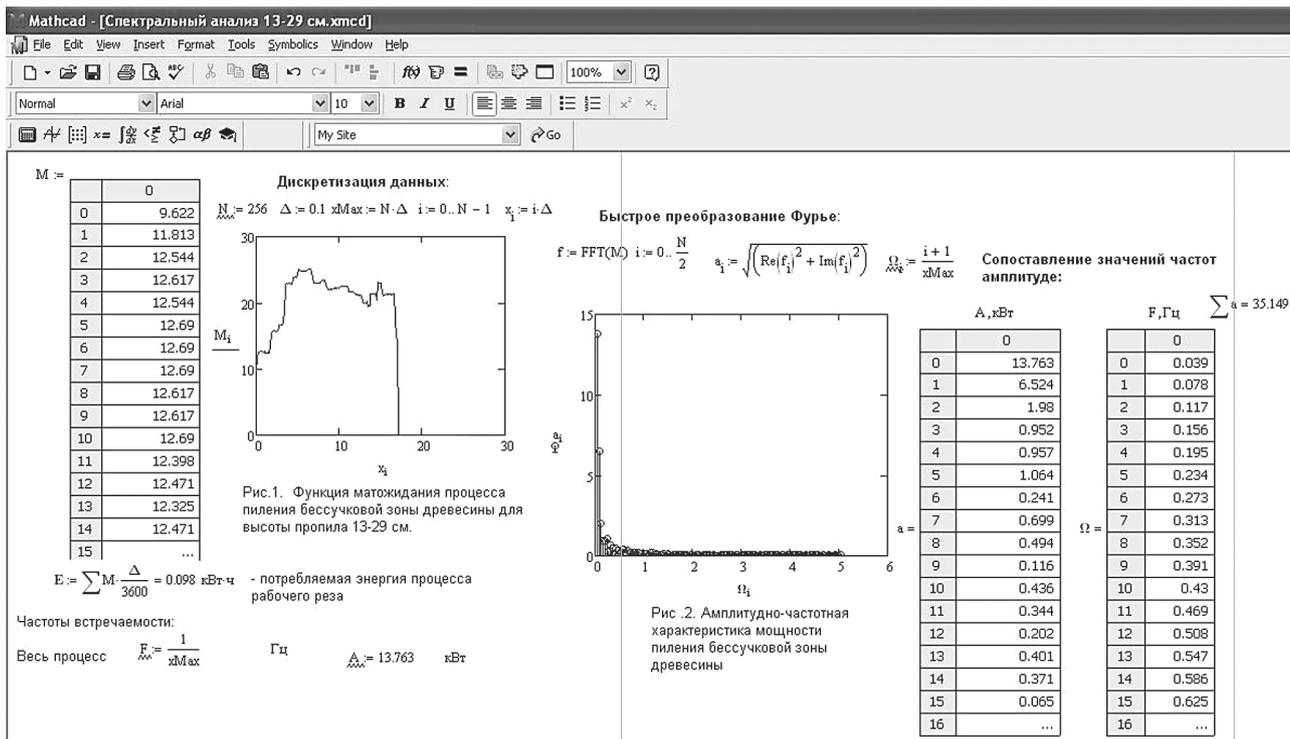


Рис. 6. Фрагмент спектрального анализа пиления бесчучковой зоны группы высот пропила 13–29 см

Средняя частота встречаемости сучьев при их наличии в пропиле определяется выражением

$$F_c = 1/t_c,$$

где  $t_c = l_{m.c} / v_{cp}$  – среднее время встречаемости сучьев, с;

$l_{m.c}$  – среднее расстояние между сучьями, м;

$v_{cp}$  – средняя скорость на пропил, м/с.

$$v_{cp} = l_n / t_n,$$

где  $l_n$  – длина пиловочника, м;

$t_n$  – время на пропил, с.

Время между поворотами определяется циклом от момента начала процесса пиления до момента поворота –  $T_{нов}$ , (рис. 4). Частота встречаемости поворота –  $F_{нов} = 1/T_{нов}$ .

Средняя частота пропилов по кластерам, Гц;  $F_n = 1/t_n$ . Средняя частота холостых возвратных движений по кластерам, Гц;  $F_x = 1/t_x$ , где  $t_x$  – время холостого возвратного движения режущего органа.

Оценка доли составляющих мощности продольного лесопиления реализована на основе быстрого преобразования Фурье в среде MathCad посредством функции FFT с построением амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). На основе АЧХ для перечисленных ра-

нее кластеров и соответствующих частот определены составляющие мощности рабочего хода (на пропил), холостых возвратных движений пиловочника, поворотов (кантования) пиловочника и пиления сучьев в пропиле.

Например, АЧХ на рис. 5 представляет процесс пиления сучковой зоны древесины для I группы высот пропила (13–29 см). Амплитуда мощности рабочего хода (на пропил) сучковой зоны древесины составила 18,225 кВт. Доля мощности в этом процессе на распиловку сучьев определяется следующим образом. Оценка математического ожидания времени на пропил – 20 с. Средняя скорость на пропил:  $v_{cp} = l_n / t_n = 6,1 / 20 = 0,31$  м/с. Среднее время встречаемости сучьев:  $t_c = l_{m.c} / v_{cp} = 0,64 / 0,31 = 2,1$  с. Средняя частота встречаемости сучьев:  $F_c = 1/t_c = 1/2,1 = 0,476$  Гц. Средний диаметр сучьев в пропиле 0,04 м. Среднее количество сучьев в пропиле 8 шт. По рис.5 на частоте встречаемости сучьев 0,476 Гц значение амплитуды мощности составило 0,295 кВт. Доля мощности на пиление среднего сучка составила 1,6 % мощности на пропил. Доля мощности на распиловку сучьев в пропиле – 12,8 %. Оценка значения мощности распиловки сучьев в пропиле 2,36 кВт.

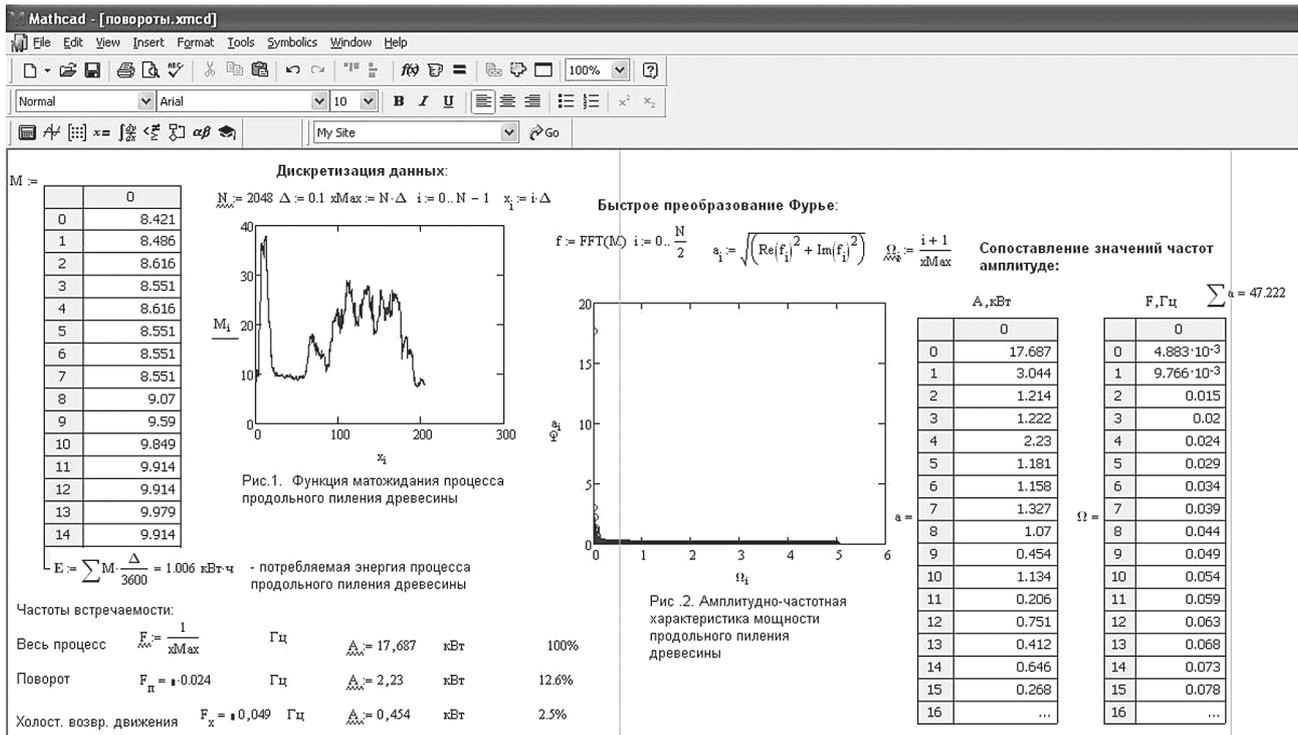


Рис. 7. Фрагмент спектрального анализа ансамбля реализаций циклов продольной распиловки древесины

Оценка распределения мощности пиления бессучковых зон выполнена на основе спектрального анализа I, II и III групп высот пропила. При этом определялась также предполагаемая частота встречаемости сучьев по результатам пиления сучковых зон I, II и III групп высот. На основании сопоставления предполагаемых частот встречаемости сучьев для сучковых зон с амплитудными значениями мощности пиления бессучковых зон определяется наличие значений мощности, потребляемой на распиловку предполагаемого появления сучьев в пропиле. Например, для АЧХ процесса пиления бессучковой зоны древесины I группы высот пропила (13–29 см), представленной на рис. 6, определены следующие параметры.

Оценка математического ожидания времени пиления бессучковой зоны – 17 с. Средняя скорость на пропилах:  $v_{cp} = l_n / t_n = 6,1 / 17 = 0,36$  м/с. Среднее время встречаемости сучьев:  $t_c = l_{\text{м.с}} / v_{cp} = 0,64 / 0,36 = 1,78$  с. Средняя частота встречаемости сучьев:  $F_c = 1 / t_c = 1 / 1,78 = 0,561$  Гц. На полученной частоте значений амплитуд мощности при пиление бессучковых зон не обнаружено, что подтверждает вывод о существенной доли вклада сучьев в потребление мощности при пиление сучковых зон.

Определение частотных составляющих и оценка распределения мощности на повороты пиловочника и холостые возвратные движения в цикле продольного лесопиления выполнено на основе усреднения реализаций (получения оценки функции математического ожидания ансамбля реализаций) процессов с одинаковыми раскроями пиловочного сырья. По результатам обработки получены следующие значения. Среднее время встречаемости поворота при продольном пиление составляет 41,5 с. Средняя частота встречаемости поворота:  $F_{\text{пов}} = 1 / T_{\text{пов}} = 1 / 41,5 = 0,024$  Гц. Среднее время холостого возвратного движения – 20,2 с. Средняя частота встречаемости холостого возвратного движения:  $F_x = 1 / t_x = 1 / 20,2 = 0,049$  Гц.

Спектральный анализ на основе АЧХ (рис. 7) определил составляющие мощности на повороты пиловочника и холостые возвратные движения. При частоте встречаемости поворотов пиловочника, равной 0,024 Гц, значение амплитуды мощности составило 2,23 кВт, оценка доли мощности поворота в цикле продольного пиления составила 12,6 %.

При частоте встречаемости холостого возвратного движения 0,049 Гц значение амплитуды мощности составило 0,454 кВт, оценка доли мощности холостого возвратного движения в цикле продольного пиления составила 2,5 %.

литуды мощности составило 0,454 кВт, оценка доли холостого возвратного движения в цикле продольного пиления составила 2,5 %. Поскольку среднее число холостых возвратных движений в цикле равно четырем, то, соответственно, значение и доля мощности в цикле составит 1,816 кВт (10 %).

### Выводы

1. На основе кластеризации выделены 3 группы высот пропилов со следующими значениями: I группа – 13–29 см; II группа – 30–40 см; III группа – 42–56 см.

2. Распределение значений мощности относительно мощности рабочего хода для I группы высот составляет: на пиление сучьев в пропиле – 12,8 % (2,36 кВт); на поворот пиловочника – 12,2 %; на холостое возвратное движение – 9,96 %.

3. Распределение значений мощности относительно рабочего хода для II группы высот составляет: на пиление сучьев в пропиле – 7,1 % (2,19 кВт), на поворот пиловочника – 7,3 %, на холостое возвратное движение – 6 %.

4. Распределение значений мощности относительно рабочего хода для III группы высот составляет: на пиление сучьев в пропиле – 3,7 % (1,91 кВт), на поворот пиловочника – 5,4 %, на холостое возвратное движение – 4,4 %.

5. Доля вклада мощности поворотов на цикл продольного пиления пиловочника составляет 12,6 % (2,23 кВт).

6. Доля вклада мощности холостых возвратных движений на цикл продольного пиления пиловочника составляет 10 % (1,816 кВт).

7. При сопоставлении предполагаемых частот встречаемости сучьев с амплитудными значениями мощности при пилении бессучковых зон значений мощности на данных частотах не обнаружено, что подтверждает вывод о существенной доле вклада сучьев в потребление мощности при пилении сучковых зон.

8. Вследствие значимости факторов потребляемой мощности на пиление сучьев и повороты пиловочника целесообразна раз-

работка энергоэффективных схем раскроя с минимизацией количества и площади сечений сучьев в пропиле, а также пути поворотов пиловочника при распиловке в условиях лесосеки.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. по мероприятию 1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук в области создания и управления новыми видами транспортных систем».

### Библиографический список

1. Рыкунин, С.Н. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств. Учеб. пособие для студентов вузов по специальности 260200 Технология деревообработки /С.Н. Рыкунин, Ю.П. Тюкина, В.С. Шалаев.– М.: МГУЛ, 2003. – 224 с.
2. Калитеевский, Р.Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент: монография / Р.Е. Калитеевский. –М.: ПрофиКС, 2008. – 504 с.
3. Якимович, С.Б. Оптимизация раскроев на сортаменты и пиломатериалы в условиях лесосеки / С.Б. Якимович, Ю.В. Ефимов // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, 2008. – № 6. – С. 125–128.
4. Якимович, С.Б. Где производить конечный продукт лесозаготовок – на лесосеке или лесопромышленном складе? / С.Б. Якимович // Лесная пром-сть, 2003. – № 4. – С. 16–19.
5. Якимович, С.Б. Синхронизация обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины: монография / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. – 201 с.
6. Якимович, С.Б. Теория синтеза оптимальных процессов: проектирование систем заготовки и обработки древесины и управление ими: монография / С.Б. Якимович. – Пермь: ПермГСХА, 2006. – 247 с.
7. Дженкинс, Г. Спектральный анализ и его приложение Пер. с англ./ Г. Дженкинс, Д. Ваттс. – М.: Мир, 1971. – Вып.1. – 316 с.
8. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных/ Дж. Бендат, А. Пирсол – М.: Мир, 1989. – 540 с.
9. Ким, Дж.-О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др. // Под ред. И. С. Енюкова – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
10. Якимович, С.Б. Выбор систем заготовки древесины в условиях неопределенности / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина //Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2008.– № 185. – С. 263–268.

## ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОГО СПОСОБА ЗАГОТОВКИ СОРТИМЕНТОВ

С.Б. ЯКИМОВИЧ, проф. каф. ТОЛП Уральского ГЛТУ, д-р техн. наук,  
М.А. ТЕТЕРИНА, доц. каф. ТОЛП Уральского ГЛТУ, канд. техн. наук,  
В.В. ГРУЗДЕВ, научн. сотр. Уральского ГЛТУ

*jak.55@mail.ru, tetatet-marya@mail.ru*

Согласование по производительности (синхронизация) [1] машин в системах заготовки сортиментов выполняется в настоящее время, в большей части, на основе обоснования состава систем по количеству машин и изменения коэффициента сменности работы машин. При использовании таких подходов в связи с целочисленностью управляемых переменных возникают зоны неэффективности, определяемые скачками целевой функции при дискретном изменении количества машин или коэффициента сменности. Кроме того, все современные дорогостоящие лесозаготовительные комплексы функционируют полные сутки, что исключает возможность управления коэффициентом сменности. Имеются методики, предполагающие использование дополнительного оборудования, простаивающего вне пиков производства.

Сохранение продуктивности лесной среды при выборе лесозаготовительных систем обеспечивается посредством снижения площади и интенсивности уплотнения лесных почво-грунтов и сохранения биологического разнообразия лесных экосистем [2]. Снижение интенсивности уплотнения почв обеспечивается посредством укрепления волоков порубочными остатками, а также на основе ограничений на технические характеристики машин (грузоподъемность, массу, удельное давление на грунт и т.п.). Эффективность укрепления волоков определяется схемами и приемами работы машин в системе, которые также обеспечивают снижение площади уплотнения почв и сохранение имеющегося на лесосеке подроста. Кроме того, управление режимами (траекториями, схемами, приемами) работы машин в системах заготовки древесины определяет их производительность [3–5]. Однако методы, обеспечивающие одновременно как сохранение продуктивности лесных экосистем, так и синхронизацию машин, отсутствуют.

Таким образом, для синхронизации систем машин заготовки сортиментов при условии сохранения продуктивности лесной среды необходим метод управления нецелочисленными параметрами, а также схемами и приемами работы систем.

С целью разработки такого метода выполнена сравнительная экспериментальная оценка двух способов заготовки сортиментов – традиционного и патентно защищенного [6]. На основе анализа результатов опытно-промышленной заготовки сортиментов определены такие показатели эффективности системы машин при работе по указанным способам, как сохранение подроста, интенсивность укрепления волоков порубочными остатками, процент времени простоев машин.

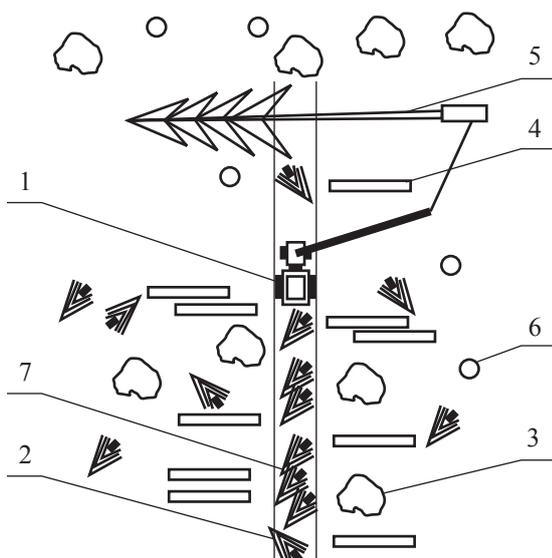


Рис. 1. Технологическая схема заготовки сортиментов традиционным способом: 1 – харвестер; 2 – волок; 3 – стоящие деревья; 4 – сортименты; 5 – поваленное дерево; 6 – подрост; 7 – порубочные остатки

**Условия и методика проведения  
опытно-промышленной заготовки  
сортиментов**

Эксперимент проведен в июле 2011 г. на территории Акчимского участкового лесничества ГКУ «Вайское лесничество» на базе арендуемых лесных участков (квартал 240, делянка № 5, выдел 7, площадь 24,4 га) и парка машин (харвестер John Deer 1270, форвардер John Deer 1410, операторы с опытом работы 3 года) ООО «Красновишерск Лес» (дочернего предприятия ОАО «Соликамскбумпром») в следующих природно-производственных условиях: способ рубки – сплошная, вид рубки – главное пользование, способ трелевки – в сортиментах, состав древостоя 4Е1П2Е2П1Б+К, запас 150 м<sup>3</sup>/га, уклон 5°, ширина волоков 5 м. Заготовка сортиментов выполнялась традиционным (рис. 1) и патентно защищенным способами (рис. 2).

При заготовке сортиментов традиционным способом поваленное дерево размещалось в направлении, перпендикулярном оси волока. При этом порубочные остатки располагались как на волоке, так и на пасеке в зоне размещения кроны поваленного дерева. За-

готовка сортиментов патентно защищенным способом осуществлялась следующим образом. Харвестер 1 выполнял валку стоящих деревьев 3 вперед или назад под углом к волоку 2 (рис. 2,а), обеспечивающим направленную валку вершиной на волок. Кроме того, при валке комлевая часть дерева не приземлялась и поднималась над землей манипулятором 4 харвестера. После валки поднятая над землей комлевая часть поваленного дерева 5 переносилась к волоку (рис. 2, б) таким образом, чтобы обеспечить компактное расположение сортиментов в пачках 7 за пределами куртин подроста 6. В том случае если переноса комлевой части поваленного дерева по направлению к волоку было недостаточно для соблюдения указанных условий, осуществлялся переезд харвестера и подтаскивание дерева вдоль волока. Затем выполнялась обрезка сучьев и раскряжевка. При этом оставляемые на волоке сучья и вершины 8 располагались на волоке (рис. 2, б).

С целью количественной оценки эффективности мер по сохранению подроста при заготовке сортиментов описанными способами выполнено обследование естественного возобновления леса под пологом и после

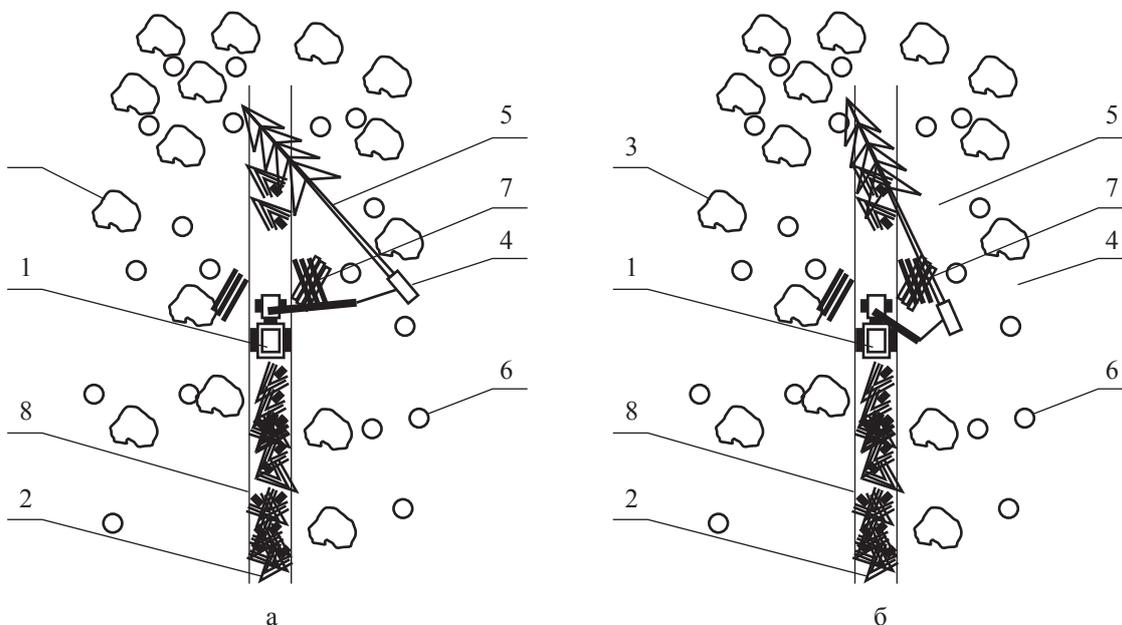


Рис. 2. Технологическая схема заготовки сортиментов патентно защищенным способом (а – валка стоящего дерева, б – обрезка сучьев и раскряжевка поваленного дерева): 1 – харвестер; 2 – пасечный волок; 3 – стоящие деревья; 4 – манипулятор; 5 – поваленное дерево; 6 – куртины подроста; 7 – пачки сортиментов

рубки [7]. Учет естественного возобновления проводился выборочно-перечислительным методом. Обследование проводилось на прямоугольных пробных площадках размером 20 м<sup>2</sup> (длина 5 м, ширина 4 м). Под пологом леса учет выполнен на 32 пробных площадках, после рубки по традиционному способу – на 30 площадках, по патентно защищенному – на 28. В связи с тем, что сохранение подроста на волоках невозможно, также выполнена оценка количества и сохранности подроста отдельно, на пасаках. Данные переречетных ведомостей естественного возобновления леса представлены в [8].

Исследование синхронизации системы при работе по указанным способам реализовано по методике активного эксперимента. В качестве факторов рассматривались расстояние трелевки  $L$ , м и рейсовая нагрузка форвардера  $Q$ , шт., в качестве отклика – процент простоев системы  $P$ . Для анализа зависимости между откликом и факторами использована модель второго порядка и соответствующий центральный ротатбельный композиционный план [8]. Фиксирование соответствующих случайных параметров технологического процесса выполнено на основе показаний информационной системы Timbermatic харвестера и ТМС форвардера.

### Результаты опытно-промышленной заготовки сортиментов

Результаты обследования подроста под пологом леса позволяют сделать вывод о среднем по густоте [7] возобновлении хвойных пород (4969 шт./га) и редком возобновлении березы (1109 шт./га). При оценке без учета породы возобновление под пологом леса классифицируется как густое (6078 шт./га).

Сравнительный анализ сохранности подроста после заготовки сортиментов традиционным способом и по патенту свидетельствует, что патентно защищенный способ обеспечивает повышение сохранности подроста, а именно:

– сохранность подроста всех пород на всей площади вырубki повышается на 25 % (при использовании традиционного способа сохраняется 42 % подроста в количестве 2550

шт./га, при использовании патентно защищенного способа – 67 % в количестве 4089 шт./га);

– сохранность хвойного подроста на всей площади вырубki повышается на 35 % (при использовании традиционного способа сохраняется 42 % подроста в количестве 2083 шт./га, при использовании патентно защищенного способа – 77 % в количестве 3857 шт./га);

– сохранность подроста всех пород на пасаках повышается на 28 % (при использовании традиционного способа сохраняется 55 % подроста в количестве 3326 шт./га, при использовании патентно защищенного способа – 83 % в количестве 5024 шт./га);

– сохранность хвойного подроста на пасаках повышается на 41 % (при использовании традиционного способа сохраняется 55 % подроста в количестве 2717 шт./га, при использовании патентно защищенного способа – 96 % в количестве 4762 шт./га).

Сохранность подроста березы при использовании патентно защищенного способа снижается на 19 %, что обеспечивает улучшение породного состава лесовозобновления. Количество подроста березы под пологом леса составляет 18 % (1109 шт./га), после рубки по традиционному способу также 18 % (467 шт./га), а после рубки по патентно защищенному способу – 6 % (232 шт./га).

Доля жизнеспособного подроста [7] в общем количестве хвойного подроста под пологом леса составила 71 % (3531 шт./га жизнеспособного хвойного подроста при количестве хвойного подроста 4969 шт./га). После рубки по традиционной технологии сохранилось 36 % жизнеспособного хвойного подроста (1267 шт./га), после рубки по патентно защищенному способу – 78 % (2750 шт./га).

Валка вершиной на волок и перенос комлевой части поваленного дерева к волоку при заготовке сортиментов патентно защищенным способом обеспечили концентрацию всех порубочных остатков на волоках, что позволило снизить уплотнение почвы на них и исключить ее застойное переувлажнение. В то же время валка вершиной на пасеку по традиционному способу определила снижение

Результаты экспериментального исследования синхронизации системы

№ опыта	Q, шт.	L, м	P	
			Традиционный способ	Способ по патенту
1	70	200	0,384	0,269
2	70	600	0,596	0,521
3	120	200	0,308	0,159
4	120	600	0,485	0,389
5	60	400	0,545	0,459
6	130	400	0,396	0,283
7	95	117	0,275	0,124
8	95	683	0,56	0,477
9(С)	95	400	0,452	0,350
10(С)	95	400	0,455	0,353

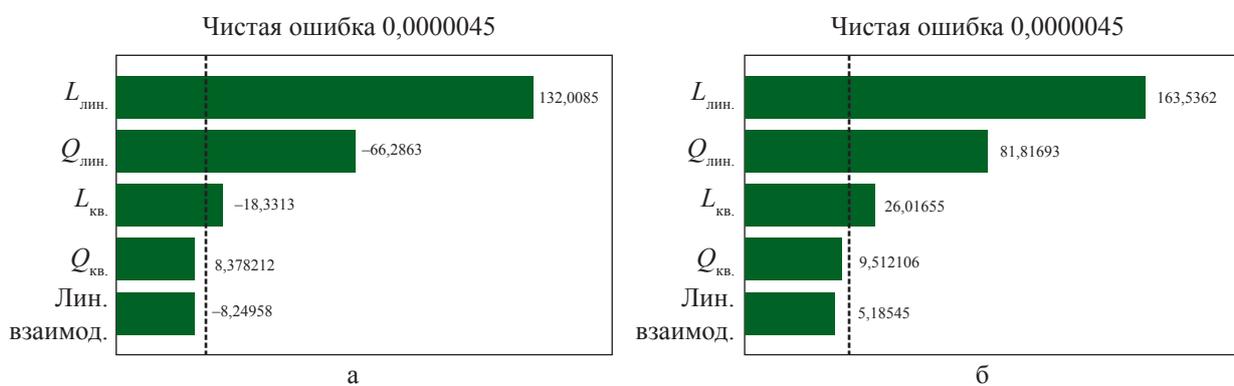


Рис. 3. Карта Парето эффектов факторов эксперимента по синхронизации при заготовке сортиментов традиционным способом (а) и по патенту (б)

концентрации порубочных остатков на волоках и привела к значительному уплотнению и переувлажнению почвы на их площади.

Анализ результатов исследования синхронизации системы (табл.1) при работе по указанным способам выполнен на модели второго порядка с оценкой главных эффектов и эффектов взаимодействия. Адекватность выбранной модели установлена по результатам дисперсионного анализа (рис. 3) [8] свидетельствующим, что статистически значимыми являются линейные эффекты расстояния транспортировки и рейсовой нагрузки форвардера и квадратичный эффект расстояния транспортировки.

По итогам статистической обработки экспериментальных данных также установлено, что средняя продолжительность получения одного сортимента харвестером при работе по традиционному способу составила 22,60 с, а при работе по патентно защищенному способу – 26,82 с.

Проверка всех полученных экспериментальных данных на аномальность выполнена по критерию Греббса при доверительной вероятности  $p = 0,95$ . Средняя величина относительной ошибки определения статистических оценок при доверительной вероятности  $p = 0,95$  составила 7,49 % [8].

Таким образом, снижение производительности харвестера при работе по патентно защищенному способу сравнительно с традиционным составило 16 %, что связано с более тщательным выполнением оператором приемов заготовки сортиментов и отсутствием навыка работы по данному способу, а также со снижением ширины пасаки до 16–17 м вместо 18–19 м.

**Выводы**

1. Валка вершиной на волок без приземления комлевой части дерева, а также компактное размещение сортиментов с учетом расположения куртин хвойного подроста при

заготовке сортиментов патентно защищенным способом обеспечили практически полное (96 %) сохранение хвойного подроста на пасаках. Валка вершиной на пасеку при заготовке сортиментов традиционным способом привела к повреждению значительной части (45 %) хвойного подроста на пасаках при обрезке сучьев и раскряжевке, в ходе которых крона поваленного дерева перемещается по площади пасеки.

2. В соответствии с Правилами лесовосстановления для условий Северо-Уральского района характеристика сохраненного подроста после заготовки сортиментов по патентно защищенному способу (количество жизнеспособного подроста ели и пихты при оценке с учетом коэффициентов пересчета мелкого и среднего подроста в крупный – 2213 шт./га) обеспечивает естественное лесовосстановление путем мероприятий по сохранению подроста. После заготовки сортиментов по традиционному способу требуется естественное лесовосстановление путем минерализации почвы или комбинированное лесовосстановление (количество жизнеспособного подроста ели и пихты при оценке с учетом коэффициентов пересчета мелкого и среднего подроста в крупный – 1129 шт./га).

3. При работе по традиционному способу харвестер простаивает в среднем 45 % времени по причине асинхронности системы и полной загрузки форвардера. Снижение производительности харвестера на 16 % при работе по новому способу обеспечивает повышение загрузки системы и снижает простои харвестера до 34 % с одновременным сохранением подроста до уровня мер содействия естественному лесовозобновлению.

Результаты получены при выполнении поисковой научно-исследовательской работы в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

### Библиографический список

1. Якимович, С.Б. Синхронизация обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины: монография / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина – Йошкар-Ола, 2011. – 201 с.
2. Герц, Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / Э.Ф. Герц – Екатеринбург, 2003. – 120 с.
3. Якимович, С.Б. Определение характеристик потока деревьев при непрерывном режиме работы валочно-пакетирующих машин / С.Б. Якимович, С.Л. Шулепов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1990. – № 6. – С. 49–52.
4. Якимович, С.Б. Обоснование скоростных режимов валочно-пакетирующих машин с совмещенными функциями / С.Б. Якимович, О.А. Шулепова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1992. – № 3. – С. 33–37.
5. Якимович, С.Б. Управление схемами работы машин в обрабатывающе-транспортных лесозаготовительных системах / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Вестник МГУЛ–Лесной Вестник, 2010. – № 5. – С. 78–82.
6. Пат. 2365093 РФ. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа / С.Б. Якимович, В.В. Груздев, В.Н. Крюков, М.А. Тетерина; заявитель и патентообладатель Мар. гос. техн. ун-т. – № 2008107195/12; заявл. 26.02.2008; опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24. – 9 с.: 4 ил.
7. Правила лесовосстановления (Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти от 1 октября 2007 г. № 40): утв. приказом МПР РФ от 16 июля 2007 г. N 183: введ в действие с 10.10.2007. – М., 2007.
8. Оптимально функциональные синхронизированные транспортно-обрабатывающие системы и управление ими: отчет о НИР (промежуточный, 2 этап) / МарГТУ; рук. Якимович С.Б.; исп. К.С. Якимович, М.А. Тетерина, В.В. Груздев и др. – Йошкар-Ола, 2011. – 124 с.

**Абузов А.В. ТЕХНИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ АЭРОСТАТНО-КАНАТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ.**

Рассмотрен принцип работы аэростатно-канатной системы в режиме радиодистанционного управления. Дано описание конструкции аэростатного носителя, лебедки, грузовой подвески и других элементов конструкции. Приведена схема АКС. Описан процесс применения чокерной и грейферной систем захвата груза. Приведен пример системы расчета по определению координат расположения груза.

Ключевые слова: аэростатная трелевка, гибкий амортизатор, радиодистанционное управление, синтетические канаты.

**Abuzov A.V. TECHNICAL AND DESIGN FEATURES OF THE DLYA MODERN AEROSTATELY ROPE SYSTEM OF DELIVERY OF WOOD.**

The principle of work balloon logging systems in a mode of radio of remote control is considered. The description of a design balloon the carrier, winch, a cargo suspension bracket and other elements of a design is given. Circuit balloon is resulted. Process of application choker and грейферной systems of capture of a cargo is described. The example of system of calculation by definition of coordinates of an arrangement of a cargo is resulted.

Key words: balloon logging, flexible shock-absorber, radio remote control, synthetic ropes.

**Беленький Ю.И., Куницкая О.А., Бурмистрова С.С. МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ РАСКРОЯ ХЛЫСТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ СОРТИМЕНТОВ.**

Статья посвящена повышению эффективности лесозаготовительного производства путем оптимизации раскроя хлыстов на целевые сортименты. Разработана математическая модель, позволяющая оптимизировать процесс раскряжки хлыстов как в условиях лесосеки, так и в условиях лесопромышленного склада.

Ключевые слова: лесозаготовительное производство, раскрой хлыстов, математическая модель.

**Belenky U.I., Kunitskaya O.A., Burmistrova S.S. OPTIMIZATION METHOD OF WOOD PROCESSING FOR TARGET ASSORTMENTS.**

The article is devoted to improving the efficiency of timber production, by optimization of wood processing for target assortments. The developed mathematical model allows optimizing the process of cross-cutting wood, directly at the stump, and in a timber warehouse.

Key words: timber production, cross-cutting wood, mathematical model.

**Болотов О.В. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСОВ.**

В данной статье автор попытался на основе моделирования динамики лесного фонда и математической модели оптимизировать величину расчетной лесосеки с учетом экономической доступности ресурсов древесины и соблюдения принципа непрерывного, неистощительного пользования лесом. При этом решается задача автоматизированного проектирования транспортной схемы освоения лесных ресурсов.

Ключевые слова: устойчивое управление лесами, непрерывное, неистощительное пользование лесом, планирование экономически эффективного освоения лесов.

**Bolotov O.V. PROBLEMS OF DESIGNING OF FOREST CUTTING AND CLEARANCE IN THE RESERVOIR FLOORS HPS OF SIBERIA.**

In this article, the authors attempted to synthesize vast theoretical and practical capacity of the information accumulated over the years of research the problem. Source material served as a huge bank of data collected from field surveys have been built and created reservoirs, experience in designing and conducting work on preparation reservoir floors to flooding.

Key words: reservoir floor, forest cutting, forest clearance, problems.

**Борозна А.А., Салминен Э.О., Пушков Д.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ.**

В статье приводится технология ремонта и восстановления трущихся поверхностей машин с целью снижения энергоемкости и повышения их надежности.

Ключевые слова: нанотехнологии, энергоемкость, надежность, работоспособность.

**Borozna A.A., Salminen E.O., Pushkov D.V. USE OF NANOTECHNOLOGIES FOR DECREASE IN POWER CONSUMPTION AND INCREASE OF RELIABILITY OF OPERATION OF CARS AND THE EQUIPMENT IN TIMBER PROCESSING COMPLEX.**

The technology of repair and restoration of rubbing surfaces of cars is given in article for the purpose of decrease in power consumption and increase of their reliability.

Key words: nanotechnologies, power consumption, reliability, working capacity.

**Бурмистрова О.Н., Воронина М.А. РАСЧЕТ НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАГРУЗОК.**

В статье приведен расчет нежесткой дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги Ухта – Троицко-Печорск от воздействия нагрузок А-3. Статья преследует цель произвести расчет нежестких дорожных одежд на прочность, а также расчет по допускаемому упругому прогибу.

В статье определены следующие показатели: требуемые коэффициенты уплотнения  $K_y$  для щебеночных и для песчаных слоев – не менее 0,98; минимальная величина нахлеста полотен георешеток – 30 см.

В расчетах конструкций на прочность и морозоустойчивость учтен эффект армирования, характеризующий работу георешеток Геоком Б-450 в конструкциях дорожных одежд. В статье определено, что требуемую рабочую отметку продольного профиля автомобильной дороги следует достигать увеличением толщины слоя щебня.

Ключевые слова: дорожная одежда, георешетка, армирование, деформация, несущая способность.

**Burmistrova O.N., Voronina M.A. CALCULATION OF NONRIGID PAVEMENT FORESTRY ROAD FROM EXPOSURE TO LOAD.**

The paper presents a calculation of the non-rigid pavement road hauling Ukhta – Troitsko-Pechorsk from exposure to stress A-3. Article aims to calculate the non-rigid pavement strength, as well as calculation of the extent permitted by the elastic deflection.

In this paper, the following indicators: the required compaction ratios for Cu and gravel to sand layers – not less than 0,98 the minimum value of overlapping fabric geogrids – 30 cm.

In the calculation of structures for durability and frost resistance into account the effect of reinforcement, characterizing geogrid Geokom B-450 in the construction of road pavements. The article states that required working mark the longitudinal profile of the road should be achieved by increasing the thickness of the layer of gravel.

Key words: road pavement, geogrid, reinforcement, deformation, load-bearing capacity.

**Бурмистрова О.Н., Король С.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ИЗ УСЛОВИЯ МИНИМИЗАЦИИ РАСХОДА ТОПЛИВА.**

В статье изложен алгоритм определения оптимальных скоростных режимов лесовозных автопоездов и среднего расхода топлива, позволяющий планировать работу лесозаготовительных предприятий на вывозке лесоматериалов. Статья преследует цель определить оптимальные скоростные режимы лесовозных автопоездов.

В статье определяются значения удельного сопротивления качению для лесных дорог Республики Коми с асфальтобетонным покрытием, в зависимости от ровности дорожного покрытия: для участков с ровностью менее 660 см/км – 120 Н/т, для участков с ровностью 660 – 860 см/км – 125 Н/т, для

участков с ровностью 860 см/км – 130 Н/т. Представлен алгоритм экспериментальных исследований и их результаты, которые сопровождаются графиками зависимости среднего расхода топлива от ровности дорожного покрытия.

Ключевые слова: лесовозный автопоезд, удельный расход топлива, удельное сопротивление качению, средний расход топлива, оптимальный скоростной режим.

**Burmistrova O.N., Korol S.A. OPTIMAL SPEED TRAFFIC CONDITIONS OF FORESTRY TRUCKS AND TRAILERS MINIMIZE FUEL CONSUMPTION.**

The article describes an algorithm for determining optimal speeds of logging trucks and average fuel consumption, which helps you work for logging companies hauling timber. Become seeks to determine the optimum speed modes of logging trucks.

The paper determines the values of the resistivity of rolling forest roads for the Komi Republic with asphalt, depending on the evenness of pavement: for areas with less than 660 cm/km – 120 N/t for sections with evenness of 660 – 860 cm/km – 125 N/t for plots with evenness of 860 cm/km – 130 N/t. An algorithm for experimental studies and their results, which are accompanied by graphs of the average fuel consumption of the evenness of the pavement.

Key words: forestry truck, fuel consumption, the resistivity of the rolling average fuel consumption, the optimal speed limits.

**Войтко П.Ф., Гайсин И.Г. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЫГРУЗКИ ПЛОСКИХ СПЛОТЧНЫХ ЕДИНИЦ С ВОДЫ НА РЕЙДАХ ПРИПЛАВА.**

Разработаны новая технология выгрузки плоских сплоточных единиц с воды на рейдах приплава и эффективное грузозахватное устройство. Предложен способ расчета рекомендуемого грузозахватного устройства на прочность.

Ключевые слова: рейды приплава, плоская сплоточная единица, выгрузка с воды, грузозахватное устройство.

**Voitko P.F., Gaisin I.G. DEVELOPMENT THE UNLOADING OF FLAT RAFTS OUT OF WATER ON LOG RECEIVING PORTS**

Developed a new technology unloading of flat rafts out of water on log receiving ports and efficient hoisting device. Proposal method for calculating the recommended hoisting device for strength.

Key words: log receiving ports, flat rafts, unloading out of water, hoisting device.

**Войтко П.Ф., Рощина М.М. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ТОРЦЕВЫРАВНИВАТЕЛЯ К-142.**

Разработана модернизированная конструкция грузовых балок переносного торцевывравнивателя К-142 гравитационного типа для выравнивания торцов пачки круглых лесоматериалов при выгрузке лесных грузов с воды на транспортные средства лесопромышленных предприятий.

Ключевые слова: лесные грузы, торцевывравниватели, лесовозный транспорт, формирование лесных грузов.

**Voitko P.F., Roschina M.M. DEVELOPMENT CONSTRUCTION OF GRAVITATION END-LEVERATORS K-142.**

The modernized construction of loading beams of portable K-142 of gravitation mode for smoothing the end grain pack of round forest products at unloading of wood cargoes from water to the logging vehicles of the forest industry enterprises is developed.

Key words: wood cargoes, end-leverators, vehicle, formation of wood cargoes.

**Волосунов М.В. ОЦЕНКА ЭНЕРГОЕМКОСТИ МЕХАНИЗМОВ ПОВОРОТА МОДУЛЬНЫХ СОЧЛЕНЕННЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН.**

В статье приведен расчет прогрессивного механизма поворота модульной сочлененной лесотранспортной машины в условиях поворота нагруженной машины в колее. Статья преследует цель

сравнить энергозатраты сочлененной лесотранспортной машины на поворот в режиме грузового хода с применением прогрессивной и применяемой в настоящее время схемы механизмов поворота с образованием колеи на грунтах различной категории.

Определены следующие показатели: требуемые значения давлений «Р» гидрожидкости для применяемой и прогрессивной схем механизмов поворота с учетом образования колеи соответствующей глубины на грунтах с различной несущей способностью.

Расчеты сопровождаются графиками зависимости энергоемкости поворота по критерию давления в сервоприводе механизмов поворота от глубины колеи.

Ключевые слова: энергоемкость, механизм поворота, модульные машины.

#### **Volosunov M.V. EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION Swing MODULAR FOREST ARTICULATED VEHICLES.**

The paper presents a calculation of progressive modular mechanism for turning articulated forest vehicles in turn loaded the machine in a rut. The article aims to compare the energy consumption of articulated vehicles to turn forest vehicles mode of freight move with progressive and currently used schemes rotation mechanisms with the formation of ruts in the soil of different categories.

Identified the following indicators: the required values of the pressure «P» for the hydraulic oil used and the mechanisms of progressive schemes for rotation with the respective Chet rutting depth in soils with different load-carrying capacity.

The calculations are accompanied by graphs based energy by turning the pressure in the servo mechanism of rotation of the depth gauge.

Key words: Energy, the mechanism of rotation, modular machines.

#### **Голубев М.И. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛЕСНЫХ МАШИН ОТ КОРРОЗИИ.**

В статье показана необходимость противокоррозионных мероприятий при хранении лесных машин. Предложены новые консервационные материалы. Показаны возможности применения отходов производства растительных масел для защиты лесных машин от коррозии.

Ключевые слова: лесные машины, хранение, коррозия, консервационные составы, отходы производства растительных масел.

#### **Golubev M.I. NEW MATERIALS TO PROTECT FOREST MACHINERY FROM CORROSION.**

The article shows the necessary anti-corrosion measures to be taken during forest machinery storage. We propose new preservative compositions. The possibility of using waste vegetable oil to protect the forest machinery from corrosion during storage are being discussed.

Key words: forestry machinery, storage, corrosion, preservative compositions, waste production of waste vegetable oils.

#### **Голякевич С.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ХАРВЕСТЕРОВ НА ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ.**

Представлена пространственная математическая модель для оценки динамической нагруженности специализированных колесных харвестеров 4К4 и 6К6. Учтены характеристики жесткости и демпфирования элементов шасси, манипулятора и механизма крепления харвестерной головки Проведена оценка адекватности модели для транспортных и технологических операций.

Ключевые слова: математическая модель, харвестер, манипулятор.

#### **Golyakewitsh S.A. MODELLING LOADING BEARING DESIGNS HARVESTER ON TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL OPERATIONS.**

The spatial mathematical model for an estimation dynamic loads specialised wheel harvesters 4x4 and 6x6 is presented. Characteristics of rigidity are considered elements of the chassis, the manipulator and the fastening devices harvester heads the estimation of adequacy of model for transport and technological operations is lead.

Key words: mathematical model, harvester, manipulator.

**Григорьев И.В., Никифорова А.И., Хахина А.М. НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ.**

В статье рассмотрен ряд запатентованных научно-технических решений в области техники и технологии лесосечных работ, созданных сотрудниками кафедры технологии лесозаготовительных производств лесоинженерного факультета СПбГЛТУ.

Ключевые слова: труднодоступные лесосеки, трелевка, погрузка древесины.

**Grigoriev I.V., Nikiforov A.I., Nahina A.M. NEW TECHNICAL SOLUTIONS THAT ALLOWS IMPROVING THE EFFICIENCY OF LOGGING OPERATIONS.**

This article describes a number of patented scientific and technical solutions in the field of engineering and technology of logging operations, created by the department of logging enterprises' technologies, Forest Engineering Faculty SPbGLTU.

Key words: remote woods, wood delivery, wood loading.

**Дербин В.М., Дербин М.В. ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ЛЕСОСЕК С УЧЕТОМ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ СОХРАНЕНИЯ НЕЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПЛОЩАДЕЙ.**

Приведены причины, оказывающие влияние на развитие добровольной лесной сертификации. Указаны возможные элементы биоразнообразия, которые необходимо сохранять в соответствии со стандартом лесной сертификации. Определено влияние сохранения элементов биоразнообразия на технологию разработки делянки на примере сохранения неэксплуатационных площадей.

Ключевые слова: добровольная лесная сертификация, неэксплуатационная площадь, лесопогрузочный пункт, делянка, трелевка.

**Derbin V.M., Derbin M.V. TECHNOLOGY OF DEVELOPMENT OF CUTTING AREAS TAKING INTO ACCOUNT CERTIFICATION REQUIREMENTS OF MAINTENANCE OF UNOPERATING AREAS.**

Reasons over are brought, having influence on development of voluntarily forest certification. Possible elements of biodiversity are indicated that must be saved in accordance with the standard of forest certification. Influence of maintenance of elements of biodiversity is certain on technology of development of lot of land on the example of maintenance of unoperating areas.

Key words: voluntarily forest certification, unoperating area, timber-loading point, lot of land, skidding.

**Дербин М.В., Дербин В.М. ОХЛАЖДАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ АЭРОСТАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЯЮЩИХ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ПИЛ.**

Приведены причины исследования новых путей охлаждения пил при пилении древесины. Описан ход процесса экспериментального исследования. Построены графики охлаждения материала в естественных условиях и на аэростатической опоре. Сделан вывод о более интенсивном охлаждении образца на аэростатической опоре, чем в естественных условиях, и о необходимости проведения исследований в данном направлении.

Ключевые слова: аэростатическая опора, охлаждение, круглая пила, устойчивость.

**Derbin M.V., Derbin V.M. COOLING ABILITY AEROSTATICS DIRECTING WOOD SAWING DRANK.**

Reasons over of research of new ways of cooling are brought drank at sawing of wood. Motion of process of experimental research is described. The charts of cooling of material are built in the wild and on aerostatics support. Drawn conclusion about more intensive cooling of standard on aerostatics support, what in the wild and about the necessity of realization of researches for this direction.

Key words: aerostatic support, cooling, ring saw, stability.

**Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Солдатова Е.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОСВОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ЛОЖЕ ВОДОХРАНИЛИЩ.**

В статье приводятся результаты моделирования технологического процесса сбора и освоения сведенной на ложе водохранилища древесины.

Ключевые слова: моделирование, математическая модель, технология, древесина, GPSSW.

**Karpachev S.P., Sherbakov E.N., Soldatova E.V. MODELLING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF DEVELOPMENT OF WOOD ON THE BOX OF WATER BASINS.**

Results of modelling of technological process of development of wood on a box of a water basin are presented.

Key words: Modeling, technological processes, wood, GPSSW.

**Коваленко Т.В. К ВОПРОСУ ОБ УЧЕТЕ СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСОВ.**

В статье рассматриваются вопросы оптимизации транспортного освоения лесных массивов на основе использования скоростных параметров лесовозных автопоездов.

Ключевые слова: дорожная сеть, климат, лесные дороги, оптимизация.

**Kovalenko T.V. TO THE QUESTION OF THE ACCOUNTING OF HIGH-SPEED PARAMETERS IN SYSTEM OF OPTIMIZATION OF TRANSPORT DEVELOPMENT OF THE FORESTS.**

In article questions of optimization of transport development of forests on the basis of use of high-speed parameters of trucks are considered.

Key words: road network, climate, wood roads, optimization.

**Коломинова М.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГО- И ТРУДОЗАТРАТ ПРИ РАБОТЕ ХАРВЕСТЕРОВ И ФОРВАРДЕРОВ.**

Лесозаготовки являются довольно энергоемким и трудоемким процессом. В статье рассматривается методика расчета удельных энергозатрат и трудозатрат для технологического процесса заготовки круглых лесоматериалов при работе харвестеров и форвардеров. Автором даются рекомендации для расчета данных показателей при применении других технологий.

Ключевые слова: лесозаготовки, удельные энергозатраты, удельные трудозатраты, харвестер, форвардер.

**Kolominova M.V. DEFINITION OF THE SPECIFIC POWER INPUTS AND EXPENDITURES OF LABOUR AT WORK HARVESTERS AND FORWARDERS.**

Timber cutting are power-intensive enough and labor-intensive process. In article the design procedure specific power inputs and expenditures of labor for technological of process of preparation of round forest products is considered at work harvesters and forwarders. The author makes recommendations for calculation of the given indicators at application of other technologies.

Key words: timber cutting, specific power inputs, specific expenditure of labour, harvester, forwarder.

**Копейкин А.М., Задраускайте Н.О. О МОДЕЛИРОВАНИИ РАКРОЯ ДОСОК НА ЗАГОТОВКИ.**

Сделан краткий анализ исследовательских работ, посвященных встречаемости пиломатериалов с различными пороками древесины.

Ключевые слова: заготовка, пиломатериал, встречаемость пороков.

**Kopeikin A.M., Zadrauskaite N.O. ABOUT SIMULATING OF CUTTING BOARDS INTO STOCKS.**

It was made a brief analysis of research on the occurrence of sawn timber with various defects.

Key words: stock, lumber.

**Копейкин А.М., Корельская М.А. ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ В СПЕЦИФИКАЦИЯХ ТОВАРНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОЭКСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.**

Дана оценка изменений в спецификациях товарных пиломатериалов на лесозаготовительных предприятиях за последнее десятилетие. Рассмотрены вопросы специализации лесопильных заводов по размерам поперечного сечения вырабатываемых пиломатериалов и по рынкам сбыта.

Ключевые слова: специализация, спецификация пиломатериалов, рынок сбыта.

**Kopeikin A.M., Korelskaya M.A. ABOUT CHANGES IN SPECIFICATIONS OF COMMODITY LUMBER ON THE EXAMPLE OF SAWMILLS FOR EXPORT.**

The estimation of changes in specifications of commodity lumber on the example of sawmills for export in the past decade is given. Problems concerning of specialization of sawmills for dimensions of cross-section produced lumber and on sales markets are considered.

Key words: specialization, specification of lumber, sales market

**Корпачев В.П., Гайдуков Г.А., Пережилин А.И., Андрияс А.А. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ ВОЛН НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ ЖЕСТКИМИ ВОЛНОГАСИТЕЛЯМИ.**

В настоящей статье представлены данные, позволяющие дать оценку абразионных процессов (размыв берегов от ветроволновых нагрузок), наблюдаемых при формировании лож водохранилищ, обоснование необходимости диссипации волновой нагрузки, а также изложены некоторые результаты экспериментальных исследований диссипации энергии волн жесткими волногасителями.

Ключевые слова: ложе водохранилища, абразионные процессы, размыв берегов, волна, диссипация энергии волн.

**Korpachyov V.P., Gaydukov G.A., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH ON WAVE ENERGY DISSIPATION ON RESERVOIRS OF HARD WAVE ABSORBERS.**

This article presents data to assess the abrasion processes (erosion of the coasts of wind and wave loads), observed in the formation of the reservoir floors, rationale for dissipation of wave loads and presents some of the results of experimental research of wave energy dissipation of hard wave absorbers.

Key words: reservoir floor, abrasion processes, erosion of the coast, wave, dissipation of wave energy.

**Котенко В.Д., Абраумов В.В., Сапожников И.В., Романенков В.А., Кузнецова Л.Н., Терехин А.И. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕПРЕГОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПОЛИМЕРА.**

Излагаются теоретические основы технологии получения препрегов с высоким содержанием полимера методом вакуумной пропитки и сушки.

Ключевые слова: кремнеземная ткань, кремнеземно-капроновая ткань, пористость, связующее, бакелитовый лак, пропитка под вакуумом, вакуумная сушка.

**Kotenko V.D., Abrazumov V.V., Sapognikov I.V., Romanenkov V.A., Kuznetsova L.N., Terekhin A.I. THE TECHNOLOGY OF OBTAINING PREPREGS WITH A HIGH CONTENT OF POLYMER.**

Stating the theoretical basics of pre-pregs receiving technology with high contains the polymer from vacuum impregnation and drying method.

Key words: silica fabric, silica of nylon fabric, porosity, binder, bakelit varnish, impregnation under vacuum, vacuum drying.

**Куницкая О.А. СКВОЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ХОЛДИНГОВ, ВКЛЮЧАЮЩИХ МАЧТОПРОПИТОЧНЫЕ ЗАВОДЫ.**

В статье рассмотрена оптимизация процесса заготовки сырья для производства деревянных опор. В результате предлагается методика и математическая модель, позволяющая территориально вы-

делить в арендной базе холдинга участки леса, на которых заготовка сырья для деревянных опор будет наиболее экономически целесообразной.

Ключевые слова: мачтопропиточные заводы, сырье, пропитка древесины, сквозные процессы.

**Kunitskaya O.A. THROUGH PROCESSES OF TIMBER PRODUCTION FOR FOREST HOLDINGS WHICH INCLUDE MASTSOAKING PLANTS.**

The article considers the optimization of raw materials harvesting for future production of wooden poles. As a result, the technique and mathematical model are proposed. They allow geographically allocate areas of the forest in which harvesting of raw materials for the wooden poles would be the most economically feasible.

Key words: plants on impregnation of masts, raw materials, wood impregnation, through processes.

**Лаптев А.В. ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ПОЗИЦИИ МНОГООПЕРАЦИОННОЙ МАШИНЫ МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА.**

В статье изложены теоретические исследования влияния угловых и линейных перемещений манипулятора многооперационной машины на ее устойчивость во время выполнения основных технологических операций. Приведены рекомендации по определению коэффициентов использования вылета манипулятора, позволяющих аналитически определять основные характеристики реализуемой рабочей зоны лесосечной машины.

Ключевые слова: устойчивость, реализуемая рабочая зона манипулятора.

**Laptev A.V. PARAMETERS OF A WORKING LINE ITEM OF THE MULTIOPERATIONAL MACHINE OF HANDLING TYPE.**

In this article were stated the theoretical researches of influence of angular and linear relocation of the pointing device of the multioperational machine on its stability in runtime of the main technological operations are explained. Recommendations about determination of utilization coefficients of embarkation of the pointing device are provided, allowing analytically to define the main characteristics of an implementable working zone of the harvester.

Key words: stability, an implementable working zone of handler.

**Левушкин Д.М. ИСПЫТАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ.**

В статье приведены результаты испытаний асфальтового бетона, приготовленного на активированном и не активированном фусами битуме. Даны физико-механические свойства асфальтобетонных смесей.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, минеральный порошок, битум, фусы, испытания.

**Levushkin D.M. TESTS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES.**

The results of testing of asphalt concrete, prepared by activated and not activated bitumen. Given the physical and mechanical properties of asphalt mixes.

Key words: asphalt concrete mixture, mineral powder, bitumen, testing.

**Ледницкий А.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ.**

В данной статье сформированы на базе разработанных методических подходов и преимущественно отечественной техники перспективные системы машин для производства топливной щепы из низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок. Данные системы машин предназначены для удовлетворения потребностей в древесном топливе энергетических объектов малой, средней и большой мощности Министерства жилищно-коммунального хозяйства, Министерства образования, Министерства здравоохранения, Министерства энергетики и др. Выполнена комп-

лексная оценка экономической эффективности систем машин, результаты которой позволяют: ранжировать системы машин и оборудования; определять область использования систем машин и предельные с экономической точки зрения условия их эксплуатации; принимать адекватные управленческие решения, касающиеся эффективности применения оборудования на конкретном предприятии.

Ключевые слова: топливная щепка, энергетические объекты.

#### **Lednizkij A.V. COMPARATIVE ANALYSIS SYSTEMS OF MACHINES FOR WOOD CHIPS PRODUCTION.**

In this article the perspective systems of machines for wood chips production from low-quality wood and a waste of timber cuttings are based on the developed methodological approaches and mainly national technics. These systems of machines are designed to satisfact the needs of wood-burning fuel for energetical objects of small, medium and large capacity of the Ministry of Housing and communal services, the Ministry of Education, the Ministry of Health, the Ministry of Energy, etc. There was given a comprehensive assessment of the economic efficiency of machines, the results of which allow to rank the systems of machines and equipment, to determine the area of their use and the conditions of their operation from an economic point of view; to make appropriate management decisions which connected with the effectiveness of the equipment use at the enterprise.

Key words: wood chips, energetical objects.

#### **Макаренко А.В. ПРОГРАММНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ.**

В статье рассмотрены вопросы компьютерного программного проектирования трелевочных волоков на лесосеке. Представлены результаты расчетов средней и суммарной протяженности волоков в зависимости от их углов наклона.

Ключевые слова: лесосека, трелевочный волок, программное проектирование, однородный участок.

#### **Makarenko A.V. SOFTWARE DESIGN SKIDDING TRAILS ON THE CUTTING AREA.**

The questions of computer software design skid trails on the cutting area. The results of calculations of average and total length of the trail, depending on their angles.

Key words: cutting area, skidding portage, designing software, a homogeneous area.

#### **Макуев В.А., Комаров Н.А., Хватов Е.А. ГЕОМЕТРИЯ УСТАНОВКИ АГРЕГАТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КРОНЫ ДЕРЕВЬЕВ.**

В статье рассказывается об агрегате для формирования крон деревьев. Машина позволяет формировать крону дерева из одного базового положения при помощи опорно-поворотного блока, используемого в агрегате. В статье рассматриваются варианты сочленения агрегата и трактора. Приведены уравнения, определяющие погрешность при установке агрегата относительно ствола дерева. Уравнения могут быть использованы при составлении алгоритма работы автоматизированной системы базирования агрегата.

Ключевые слова: формирование кроны дерева, механизированная обрезка, машина для садово-паркового хозяйства, погрешность установки.

#### **Makuyev V.A., Komarov N.A., Khvatov E.A. GEOMETRY OF INSTALLATION OF FOR THE UNIT OF FORMATION CROWNS.**

The article describes the unit for the formation of tree crowns. The machine allows you to create the crown of the tree from one basic position by slewing unit used in the aggregate. The article discusses options for joint assembly and the tractor. The equations defining the error when installing the unit on the trunk of a tree. The equations can be used in the preparation of an algorithm-based automated system for the unit.

Key words: the formation of the crown of the tree, mechanized cutting machine for landscape management, installation errors.

**Матросов А.В., Быковский М.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН.**

В статье приведена методика построения имитационного алгоритма работы и оценки эффективности функционирования системы лесосечных машин при сортиментной технологии. Рассмотрены вопросы реализации алгоритма при разработке комплекса программ на компьютере.

Ключевые слова: модель, моделирование, имитационный алгоритм, система лесосечных машин, сортиментная технология.

**Matrosov A.V., Bykovskiy M.A. MODELLING OF WORK AND EVALUATIONS OF EFFECTIVENESS OF THE SYSTEM OF LOGGING MACHINES.**

The article deals with the methods of creating imitation algorithm of functioning logging machines at sorting technology. The problems of carrying out this algorithm while working out this complex of computer programmes are considered.

Key words: model, modelling, imitation algorithm, system of logging machines, sorting technology.

**Матюшкина О.Н., Быковский М.А. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАРУБЕЖНОЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С КАНАТНО-ЧОКЕРНОЙ ОСНАСТКОЙ НА ВЫБОРОЧНЫХ РУБКАХ.**

В условиях переувлажненных почв и холмистой местности России затрудняется внедрение новых технологий, что повышает трудоемкость заготовки древесины и себестоимость вывозки древесины.

Наибольшее влияние на увеличение трудоемкости лесозаготовок оказывают способы рубок.

В ведущих европейских странах предложены и внедрены в жизнь технологические процессы на основе современной канатной техники.

Ключевые слова: новые технологии, канатная техника.

**Matyushkina O.N., Bykovskiy M.A. ANALYSIS OF FOREIGN MULTI-FUNCTIONAL EQUIPMENT TO THE CABLE SNAP ON SELECTIVE LOGGING.**

In wetland soils and hilly terrain hampered the introduction of new Russian technology, which increases the complexity and cost of timber hauling wood.

The greatest influence on increasing the complexity of providing timber harvesting methods.

The leading European countries proposed and implemented in the life processes based on modern cable technology.

Key words: new technology, cable technology.

**Пискунов М.А. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ НА ЛЕСОСЕКАХ.**

В статье представлены исследования, посвященные закономерностям образования лесосечных отходов на лесосеках. Рассмотрены 6 систем машин, для этих систем машин определены: места преимущественного скопления отходов, особенности образования отходов, средняя плотность отходов на 1 кв. м площади лесосеки в местах скопления. Распределение отходов по лесосеке смоделировано в ГИС, представлены фрагменты размещения отходов.

Ключевые слова: лесосечные отходы, система машин, плотность, места образования.

**Piskunov M.A. REGULARITIES OF THE LOGGING RESIDUES FORMATION ON THE CUTTING AREAS.**

Regularities of the logging residues formation on the cutting areas are presented. Six system machines for logging are analyzed. There were determined the main technical characteristics of the logging formation: place of the basic accumulation of the logging residues (places on the cutting area, where the volume of the logging residues is at least 90 % of the total amount); the average density of the logging residues per unit area (cubic meter residues per one square meter area). Distribution of the logging residues throughout a cutting area is simulated in GIS. Examples of the simulation are presented.

Key words: wood waste, system of cars, density, education places.

**Питухин А.В., Скобцов И.Г. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ КАБИН ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ.**

В статье рассмотрена математическая модель напряженно-деформированного состояния защитного устройства кабины колесного трелевочного трактора при опрокидывании. В основу заложены метод конечных элементов и метод переменных параметров упругости. Определена величина поглощенной энергии деформирования, соответствующая достижению конструкцией предельного состояния. Проведены экспериментальные исследования макетных образцов защитных устройств. Результаты экспериментальных исследований подтверждают адекватность математической модели.

Ключевые слова: устройство защиты при опрокидывании, объем ограничения деформации, колесный трелевочный трактор, математическая модель, экспериментальные исследования, метод конечных элементов.

**Pitukhin A.V., Skobtsov I.G. THE MATHEMATICAL MODEL OF FOREST MACHINE'S CABIN CONSTRUCTION'S STRESS-STRAIN STATE WITH PLASTIC DEFORMATIONS.**

This paper deals with the mathematical model of wheeled skidder's roll-over protective structure deflected mode. Finite elements method and method of variable parameters of elasticity are taken as a principle of this work. The quantity of strain energy was defined according with running the construction to the point of deflection-limiting volume. The experimental research was made by the scale model samples of roll-over protective structures. The results of experimental research confirms the adequacy of mathematical model.

Key words: roll-over protective structure, deflection-limiting volume, wheeled skidder, mathematical model, experimental research, finite elements method.

**Прохоров В.Ю. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.**

В статье рассматривается технология получения и термообработки углеродных материалов для подшипников скольжения технологического оборудования. Одним из факторов, влияющих на различные свойства УУКМ, является структура армирующего каркаса в материале и параметры процесса осаждения углерода из газовой фазы. Кроме того, в данной статье рассматриваются вопросы прочности углерод-углеродных композиционных материалов.

Ключевые слова: углерод-углеродный композиционный материал, волокна, матрица.

**Prohoroff V.J. TECHNOLOGY OF RECEIVING CARBON ANTIFRICTIONAL MATERIALS FOR BEARINGS OF SLIDING OF PROCESSING EQUIPMENT.**

In article is considered the technology of reception and heat treatment carbon materials for bearings of sliding of the process equipment. One of the factors influencing on the various properties CCCM is the structure of a reinforcing skeleton in a material and parameters of processing of sedimentation carbon from a gas phase. Besides, in this article are considered questions of durability carbon-carbon of composite materials. Besides in given article questions of durability of the carbon – carbon of composit materials are considered.

Key words: carbon-carbon of composit materials, fibers, matrix.

**Рябухин П.Б., Казаков Н.В., Абузов А.В. МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА СИСТЕМ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ.**

В статье предлагается метод формализации и математического моделирования связей, процессов и элементов лесопользования с учетом лесорастительных характеристик местности, технологий и технических параметров лесозаготовительных машин, который позволяет определять степень применимости существующих и перспективных систем лесозаготовительных машин для конкретных природно-производственных условий.

Ключевые слова: лесопользование, анализ, моделирование, метод, алгоритм.

**Rjabuchin P.B., Kazakov N.V., Abuzov A.V. INTEGRATED ANALYSIS METHOD OF STEADY TIMBER EXPLOITATION SYSTEM.**

The article deals with the method of formalization and mathematical simulation of timber exploitation links, processes and elements. Taking into consideration characteristics of the area, technologies and technical parameters of logging machines this method allows to determine the degree of using up-to-date and perspective logging machinery systems for specific production and natural conditions.

Key words: timber exploitation, analysis, simulation, method, algorithm.

**Салминен Э.О., Борозна А.А. ЛОГИСТИЧЕСКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА.**

Статья посвящена исследованию проблемы управления транспортно-технологическими операциями в лесном комплексе. Приводится блок-схема функционирования интегрированной производственно-транспортной коммерческой системы лесопромышленного комплекса, позволяющая найти оптимальные решения в процессе управления деятельностью вертикально-интегрированной структуры. Информационное обеспечение логистической системы обеспечивает подтверждение законности рубок и сертификации лесопроductии на всех этапах от места произрастания до конечного потребителя. Представленная схема позволяет решать задачи как тактического, так и стратегического уровня.

Ключевые слова: логистическо-математическое моделирование, лесопромышленный комплекс.

**Salminen E.O., Borozna A.A. THE LOGISTIC – MATHEMATICAL MODELLING OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL PROCESS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX.**

The article is devoted to the study of problems of management of transport-technological operations in the forestry sector. There is the block scheme of functioning of the integrated production and transport commercial system of the timber industry complex, which allows to find optimum decisions in the management of the activities of the vertically – integrated structure. Mathematical conditions for the macro logistic system functioning are presented in the form of the sum of the costs for the functioning of the subsystems and restrictions which connect the subsystem. Information support of logistic system ensures the confirmation of the legality of the logging and certification of forest products at all stages, from the place of growth to the end user. The presented scheme allows to solve the problems both tactical and strategic levels.

Key words: logistic – mathematical modelling, timber processing complex.

**Свойкин Ф.В., Григорьев И.В. МОБИЛЬНАЯ КАНАТНО-РЕЛЬСОВАЯ ТРЕЛЕВОЧНАЯ УСТАНОВКА (МКРТУ).**

Живой напочвенный покров создает условия для жизни многих организмов, являясь основой для существования всего лесного фитоценоза, и поэтому является важным экологическим фактором. МКРТУ обеспечивает меньшее давление на грунт, что позволит осуществлять заготовку древесины на слабонесущих переувлажненных грунтах.

Ключевые слова: преувлажненные заболоченные почвогрунты, канатно-рельсовая трелевка.

**Svoykin F.V., Grigoriev I.V. MOBILE CABLE-ROAD SKIDDING SYSTEM (MCRSS).**

Ground cover creates specific life conditions for many organisms. It is base of forest phytocenosis. That's why ground cover is a very important ecological factor. MCRSS exert less pressure upon a soil. It permit to harvest timber on loose backlogs (wetland) soils.

Key words: backlogs (wetland) soils, cable-road skidding.

**Селиванов К.В. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ НА БИОТОПЛИВЕ.**

В статье рассматриваются требования приспособленности к техническому диагностированию лесозаготовительных машин. Описаны принципы диагностирования и возможные пути развития

приспособленности. Приведены современные способы диагностики дизелей лесозаготовительных машин.

Ключевые слова: диагностика, дизель, лесозаготовительные машины, топливная аппаратура, приспособленность к техническому диагностированию.

**Selivanov K.V. DIAGNOSTICATION OF DIESELS IN FOREST MACHINES WORKING ON BIOFUEL.**

The article studies requirements of suitability to the technical diagnostics of forest logging machines. The article describes principles of diagnostics and possible ways of suitability development. The article states modern ways of diagnostics of diesels in forest logging machines.

Key words: diagnostics, diesel, forest logging machines, fuel equipment, suitability to technical diagnostication.

**Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю. СИСТЕМА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ЛОГИСТИКИ ДЛЯ СОРТИМЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАГОТОВКИ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ.**

Статья посвящена использованию новых информационных технологий и математических методов для обеспечения управления процессами лесозаготовительной логистики для сортиментной технологии с учетом возможности заготовки топливной древесины. Описываются поставленные задачи, использованные методы и средства, а также полученные результаты апробации разработанной системы.

Ключевые слова: лесосечные работы, логистика, технология лесозаготовок, географические информационные системы, имитационное моделирование, математическое программирование.

**Sokolov A.P., Gerasimov Y.Y. A LOGISTIC SYSTEM FOR CTL HARVESTING WITH POSSIBILITY OF FUEL WOOD PRODUCTION.**

The topic of this article is the use of novel informational technologies and mathematical methods for the improvement of wood fuel production and logistics. The task, methods, used tools and results is described aiming to support of bioenergy development in Russia.

Key words: wood harvesting, GIS, simulation, optimization, woody biomass, wood fuels, bioenergy.

**Сорокин М.А. УСТОЙЧИВОСТЬ НА СДВИГ МЯГКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НАПОЛНЯЕМОГО ТИПА.**

В статье изложены методика расчета и способы повышения устойчивости на сдвиг мягких гидротехнических сооружений наполняемого типа .

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, плотины, коэффициент устойчивости сдвигу.

**Sorokin M.A. STABILITY ON SHIFT OF SOFT HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTIONS OF FILLED TYPE.**

In article the design procedure and ways of increase of stability on shift of soft hydraulic engineering constructions of filled type are stated.

Keywords: hydraulic engineering constructions, dams, factor of stability to shift.

**Суханов Ю.В. СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК С УЧЕТОМ ПОТРЕБНОСТЕЙ БИОЭНЕРГЕТИКИ.**

В статье приведено описание системы поддержки принятия решения, позволяющей подобрать технологию и систему машин для получения топливной щепы из порубочных остатков и низко-сортной (в том числе и дровяной) древесины при сплошнолесосечной заготовке древесины в сортиментах.

Ключевые слова: дровяная древесина, порубочные остатки, топливная щепа, система поддержки принятия решения, имитационное моделирование.

#### **Suhanov Y.V. COMPUTERSIMULATION OF WOOD HARVESTING WITH CONSIDERATION OF BIOENERGY.**

In paper described decision support system which allows to choose the technology and the machines systems for production of fuel chips from woody biomass in clear-cutting harvesting by cut-to-lengths.

Key words: firewood, logging residues, fuel chips, decision support system, simulation.

#### **Сухих А.Н. СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕСОЗАГОТОВОК.**

Динамично развивающееся лесопромышленное производство определяет требования к современной науке по созданию высокоэффективных и производительных лесозаготовительных машин, при этом должны выполняться условия эксплуатации и эффективной технологии заготовки лесных ресурсов.

Ключевые слова: технология, универсальная лесозаготовительная машина, методика, режимы работы, эффективность.

#### **Sukhih A.N. MODERN ASPECTS OF EFFICIENCY HARVESTING TECHNOLOGY.**

Dynamic timber production defines the requirements deriving by the modern science to create a highly efficient and productive governmental harvesting machines must comply with the conditions of exploitation and efficient harvesting technology of forest resources.

Key words: technology, a universal cut wood machines, technique, modes of work, the effectiveness of.

#### **Сушков А.С. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.**

В данной статье рассматривается процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), алгоритмы и программы анализа, расчет расхода топлива, количество вредного веществ в отработавших газах, работы двигателя в системе «Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда», оценки улучшения экологического качества лесовозной автомобильной дороги как составная часть ОВОС.

Ключевые слова: окружающая среда, лесовозная дорога, загрязнение, анализ, алгоритмы, оценка, режим работы.

#### **Sushkov A.S. METHODS FOR ASSESSING ENVIRONMENTAL AND ENERGY QUALITY OF LOGGING AUTOMOBILE ROADS.**

This article discusses the procedures for assessing the environmental impact assessment (OVOS), algorithms and analysis program, the calculation of fuel consumption, the amount of harmful substances in exhaust gases, engine operation in the system «Driver – Car – Road – Environ», evaluation and improve of ecological quality of logging automobile roads, as part of OVOS.

Key words: environment, logging roads, pollution, operation, analysis, algorithms, evaluation.

#### **Сушков С.И. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФАКТОРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ ИХ ВЛИЯНИЯ НА РАЗМЕЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА.**

В данной статье рассматриваются вопросы территориального размещения лесопромышленных предприятий, которое влияет на процессы специализации и кооперирования производства.

Проблема учета транспортного фактора в рассматриваемых задачах требует не только оптимизационного подхода на основе критериев экономической эффективности, но и учета особенностей, которые вносит в реализацию оптимизационных планов специфика действующего производственного механизма, существующее различие критериев оптимизации.

Ключевые слова: анализ, планирование, учет, затраты, показатели, затраты, оптимизация, критерии, транспорт, система, модель, объем, размещение, производство.

### **Sushkov S.I. IMPROVEMENT FACTORS OF DISTRIBUTION AND TRANSPORTATION PRODUCTS INCLUDING THEIR INFLUENCE ON LOCATION OF PRODUCTION.**

This article examines the spatial distribution of forest industry enterprises, which affects the processes of specialization and cooperation.

Problem of the transport factor considered in this problems requires not only optimization approach based on the criteria of economic efficiency, but also taking into account the features that contributes to the implementation of specific plans for optimization of the existing production machinery, there are differences of optimization criteria.

Key words: analysis, planning, accounting, cost, performance, cost, optimization criteria, transport system, model, size, placement and production.

### **Тесовский А.Ю., Лапин А.С. ДИСТАНЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ЛПК.**

Оперативность выполнения работ по техническому сервису зависит от своевременно поступающей информации, оперативности выездных бригад и развитости стационарной сервисной сети завода-изготовителя Т и ТМ ЛПК в данном регионе. Для организации поступления оперативной информации об отказах Т и ТМ ЛПК необходимо оснащать их системой мониторинга на базе навигационной технологии ГЛОНАСС и сотовой связи GSM, сигнал от которой поступает в диспетчерскую технического сервисного центра в автоматическом режиме.

В данной статье рассмотрены основные вопросы по организации дистанционной системы мониторинга состояния Т и ТМ ЛПК, приведены возможности предлагаемой системы.

Ключевые слова: Т и ТМ ЛПК, система мониторинга, ГЛОНАСС.

### **Tesovsky A.Y., Lapin A.S. AUTOMATED REMOTE PERFORMANCE MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR THE FOREST INDUSTRY VEHICLES.**

This article is devoted to a basic overview of the automated remote performance monitoring and control system for the forest industry vehicles and its capabilities.

Proper maintenance procedures require up to date information on the vehicle's performance state. Vehicle maintenance highly depends on that information for managing the supplies and dispatching the units within the local service infrastructure.

One of the ways for achieving this goal is to deploy a GSM/GLONASS/INTERNET-based global automated remote performance monitoring and control system.

Key word: the forest industry vehicles, system monitoring, GLONASS.

### **Федоренчик А.С. СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.**

Приведено состояние и перспективы лесозаготовок, проанализированы условия лесозаготовки. Показана роль «Стратегического плана развития лесного хозяйства Республики Беларусь до 2015 года» для становления отечественного лесного машиностроения и лесного комплекса. Сформулированы приоритетные задачи развития лесозаготовок.

Ключевые слова: Беларусь, лесозаготовка.

### **Fedorenchik A.S. THE STATE AND THE DEVELOPMENT OF LOGGING IN THE REPUBLIC OF BELARUS.**

The state and prospects for timber harvesting are given, forest exploitation conditions are analyzed. The role of the «Strategic Plan for Forestry Development of the Republic of Belarus until 2015» for the development of national forest engineering and forest industry is shown. The priorities for the development of logging are formulated.

Key words: Belarus, timber cutting.

**Щербаков Е.Н., Карпачев С.П. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ.**

Представлены теоретические основы метода линейных пересечений и экспериментальные результаты оценки лесосечных отходов. Метод оценивает не отдельные куски древесных частиц, а скопления лесосечных отходов, образующиеся после харвестерных заготовок леса.

Ключевые слова: метод линейных пересечений, оценка лесосечных отходов, вероятность.

**Sherbakov E.N., Karpachev S.P. EXPERIMENTAL RESEARCHES OF QUANTITATIVE ESTIMATION OF THE HEAPS OF THE FOREST RESIDUALS BY THE LINEAR INTERSECTION METHOD.**

Theoretical bases of a line intersect method and experimental results of an estimation of forest residuals are presented. The method estimates not separate pieces wood particles, and congestions forest residuals, formed after harvester wood preparations.

Key words: linear intersection method, estimation of the forest residuals, probability.

**Якимович С.Б., Ефимов Ю.В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПО СОСТАВЛЯЮЩИМ ЦИКЛА ПРОДОЛЬНОГО ЛЕСОПИЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.**

Приводятся результаты выделения частотных составляющих мощности продольного лесопиления сучковых и бессучковых зон древесины, холостых возвратных движений и поворотов.

Ключевые слова: продольное лесопиление, промышленный эксперимент, кластеризация, амплитудно-частотная характеристика.

**Yakimovich S.B., Efimov Y.V. EXPERIMENTAL ESTIMATION OF THE POWER DISTRIBUTION BY COMPONENTS CYCLE BASED ON LENGTH CUTTING AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS.**

The results of allocation of frequency components of capacity of length cutting by branch and branch-free wood areas, outhauls and rotations are given.

Key words: length cutting, full-scale experiment, clustering, amplitude-frequency characteristics.

**Якимович С.Б., Тетерина М.А., Груздев В.В. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОГО СПОСОБА ЗАГОТОВКИ СОРТИМЕНТОВ.**

Представлены методика и результаты сравнительной экспериментальной промышленной оценки традиционного и патентно защищенного способов заготовки сортиментов, выполненных с целью разработки метода синхронизации машин в системах заготовки древесины при условии сохранения продуктивности лесной среды. Полученные результаты включают оценку эффективности мер по сохранению подроста и снижению интенсивности уплотнения лесных почв, а также исследование синхронизации машин в системе.

Ключевые слова: системы машин для заготовки сортиментов, продуктивность лесной среды, сохранение подроста, укрепление пасечных волоков, синхронизация.

**Yakimovich S.B., Teterina M.A., Gruzdev V.V. EXPERIMENTAL-INDUSTRIAL ESTIMATION OF NEW ROUND TIMBER LOGGING METHOD EFFICIENCY.**

The methodic and results of fulfilled for forest harvesting systems machines synchronization subject to forest environment productivity conservation method development experimental industry estimation of patent protected round timber logging method in comparison with traditional method are presented. Derived results include assessment of effectiveness of actions to undergrowth conservation and decrease in intensity of forest soils compaction, as well as machines in system synchronization research.

Key words: round timber logging machines systems, forest environment productivity, undergrowth conservation, sawmill apiary portage fortification, synchronization.