

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени С.М. Кирова»**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ИНСТИТУТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСПОРТА ЛЕСА
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ПО ИТОГАМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ 2017 года**

26 января – 2 февраля 2018 г.

Санкт-Петербург

2018 г.

Рекомендовано к изданию
Научно-техническим советом Санкт-Петербургского государственного
лесотехнического университета

Редакционная коллегия:

В.А. Соколова, кандидат технических наук, ответственный редактор

И.В. Бачериков, кандидат технических наук, редактор

В.В. Орлов, кандидат технических наук, редактор

В сборнике представлены материалы докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ 2017 года, которая проходила с 26 января по 2 февраля 2018 года в Институте технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета. Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов лесопромышленного комплекса. Сборник предназначен для работников лесной и деревообрабатывающей промышленности, аспирантов, студентов и преподавателей ВУЗов.

Опубликовано в редакции авторов с незначительными техническими правками. Сборник не рецензируемый.

Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2017 / отв. ред. В.А. Соколова – СПб: СПбГЛТУ, 2018. – 330 с.
DOI: 10.21266/SPBFTU.2018.NTK.1

УДК 630*

ISBN 978-5-9239-1032-2

© СПбГЛТУ, 2018

Содержание

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	6
<i>Кучер С.В., Тепноев А.В., Чураков А.В.</i> Реологическая модель древесины при затухающих необратимых деформациях.....	6
<i>Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Дурманов М.Я., Тарадин Г.С.</i> Оптимизация параметров моторно-трансмиссионной установки лесопромышленных тракторов	14
<i>Назарук А.В.</i> Разработка методики расчета элементов машин, механизмов и сооружений лесного комплекса на динамические нагрузки	25
<i>Скачек Д.А., Салминен Э.О., Борозна А.А., Лопухин А.С.</i> Повышение надежности и снижение энергоемкости машин и оборудования в лесном комплексе	29
2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ	35
<i>Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Локитанов Б.М., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Новикова М.А., Сотникова М.А., Голубева А.С.</i> Заготовка древесины, поврежденной энтомофредами	35
<i>Супонина Н.Ю., Фурин А.И.</i> Максимальная сила при поперечном ударе цилиндрического деревянного тела по жесткой конструкции.....	41
<i>Шифрин Б.М., Елисеев И.В.</i> Оптимизация параметров технологического процесса сушки стружки при производстве древесностружечных плит	45
<i>Елисеев И.В., Шифрин Б.М.</i> Оптимизация процесса раскроя необрезных пиломатериалов	53
3. ЛЕСОСЕЧНЫЕ РАБОТЫ	59
<i>Андронов А.В., Пегов В.Ю.</i> Анализ влияния стажа работы оператора на производительность харвестера	59
<i>Гуцин И.Д., Локитанов Б.М., Бирман А.Р., Кривоногова А.С.</i> Производство топливной щепы из лесосечных отходов при сортиментном способе лесозаготовки.....	66
<i>Казаков Д.П., Песков В.Б., Лухминский В.А., Чураков А.В.</i> Формулы для расчета осадки штампа при вдавливании в кусочно-неоднородную среду	72
<i>Лухминский В.А., Песков В.Б., Казаков Д.П.</i> Комбинированная реологическая модель лесного почвогрунта.....	78
<i>Лухминский В.А., Песков В.Б., Казаков Д.П.</i> Особенности обработки опытных данных при оценке реологических параметров лесного почвогрунта	86
<i>Мазилова О.А., Локитанов Б.М., Бирман А.Р., Неслухов В.В.</i> Технологии лесозаготовок с промежуточным складом	92
4. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ЛЕСА.....	103
<i>Андронов А.В., Широкова Д.Л.</i> Анализ факторов, оказывающих влияние на производительность лесотранспортных машин в Северо-Западном регионе РФ.....	103
<i>Диева Л.Н., Матвейчикова Е.А.</i> Исследование параметров структуры терминальных сетей	112

<i>Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Кутузов Д.А.</i> Перспективы увеличения объемов лесозаготовок в РФ и пути решения на примере увеличения объемов плотового лесосплава в Сибирском ФО	115
<i>Добрынин Ю.А.</i> Моделирование процесса использования передаточных чисел механической трансмиссии трелёвочного трактора.....	124
<i>Артемов В.В., Вальдер М.А.</i> Выявление проблемных участков лесной дорожной сети на основе данных ГСП	129
<i>Зубова О.В., Артемов В.В., Ефимов В.И., Гудебский А.Н.</i> Исследование физико-механических свойств дорожно-строительного материала на основе смеси песчаного грунта и нефелинового шлама.....	133
<i>Коваленко Т.В.</i> Использование климатической информации для определения расчетных параметров при проектировании лесных дорог.....	140
<i>Луговых В.К., Башикиров К.Г., Вальдер М.А., Кулик Д.М., Бессараб Г.А.</i> Металлургический шлак в смесях с местными грунтами – материал прочных дорожных одежд лесных регионов Северо–Запада РФ.....	144
<i>Моисеева К.С., Тюрин Н.А.</i> Совершенствование структуры лесотранспортной сети Усть-Илимского ЛПК	152
<i>Антонова Т.С., Фомина Д.В.</i> Формирование оптимальных грузопотоков в лесопромышленном комплексе	164
5. МАШИНОСТРОЕНИЕ.....	167
<i>Пегов В.Ю., Дурманов М.Я.</i> Перспективы создания колесного харвестера на базе сельскохозяйственного трактора «Кировец»	167
<i>Дурманов М.Я., Михайлов О.А., Спиридонов С.В.</i> Оценка динамической нагруженности силовой передачи лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на стадии проектирования.....	174
<i>Кизилев А.Б.</i> Перспективы внедрения технических мышц в машины и оборудование лесного комплекса	184
6. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ.....	191
<i>Локитанов Б.М., Орлов В.В., Парфенопуло Г.К., Неслухов В.В.</i> Повышение характеристик топливной цепи в условиях лесосеки.....	191
<i>Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Локитанов Б.М., Соколова В.А., Тепноев А.В., Алексеева Е.А., Зотова Е.А.</i> Исследование параметров древесины, определяющих качество древесного угля.....	201
<i>Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Локитанов Б.М., Соколова В.А., Черных Л.Г., Валиева К.Л., Кривоногова А.С.</i> К вопросу о напольных покрытиях из древесины.....	212
<i>Иванова И.В., Шеменев Ю.Е.</i> Анализ технических решений по технологическим процессам термохимической переработке биомассы	221
<i>Куликов А.А., Иванова И.В., Дюкова И.Н.</i> Изменение потенциальной энергии несжимаемой жидкости в центробежном насосе и при дросселировании.....	234
<i>Сидоренков Н.В., Мартынов Б.Г., Борозна А.А.</i> Повышение эффективности деятельности малых лесозаготовительных предприятий.....	243

<i>Парфенопуло Г.К.</i> Система сертификации как модель повышения качества машиностроительного производства.....	252
<i>Парфенопуло Г.К., Соколова В.А., Теппоев А.В., Марков В.А.</i> Современные проблемы метрологии и пути их решения	256
<i>Теппоев А.В., Хитров Е.Г., Сафонова Н.Ю.</i> Личностные особенности студентов ВУЗа лесного профиля	259
<i>Тюрин Н.А., Мохамед Ахмед Халед, Потапов Е.М.</i> Оптимизация состава дорожно-строительного комплекса методом динамического программирования.....	264
<i>Хрусталева И.В.</i> Влияние технологических факторов на процесс деформирования древесины	269
<i>Хрусталева И.В.</i> Анализ условия самозатягивания при прокатке древесины	274
<i>Тюрин Н.А., Громская Л.Я., Антонова Т.С.</i> Комплексная оценка транспортной освоенности лесов методами геоанализа.....	278
<i>Соколова В.А., Ладиков И.С., Андреев К.И.</i> Исследование процесса пленкообразования на основе водно-дисперсионных лакокрасочных материалов	287
<i>Каманен И.А.</i> Диагностирование автомобилей и проектирование станций технического обслуживания.....	293
<i>Огромный Д.С.</i> Проектирование участка для технического обслуживания и ремонта автомобилей	298
<i>Пушков Ю.Л., Коряковский И.А.</i> Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора.....	303
<i>Насковец М.Т., Борозна А.А.</i> Инновационные способы повышения работоспособности конструкций лесных автомобильных дорог.....	308
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р.</i> Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля	314
<i>Зубова О.В., Пигарев В.Е., Мячиков Е.Я.</i> Исследование дорожно-строительного материала для лесных дорог с использованием осадка промывных вод ГУП «Водоканал СПб», укрепленного вяжущими	321

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Реологическая модель древесины при затухающих необратимых деформациях

Кучер С.В., Теппоев А.В., Чураков А.В.

Введение

Математические модели, описывающие процессы обработки древесины, строятся с учетом реологии обрабатываемого материала [1], [2], [3]. В статье [4] приводятся результаты экспериментов, показывающие, что при прессовании древесины, одновременно с обратимыми (эластическими), развиваются и пластические (необратимые) деформации. При этом скорость развития деформаций равна. Традиционно для описания реологии древесины при прессовании пользуются моделью Бюргерса, однако при неограниченном времени воздействия общая относительная деформация тела Бюргерса не ограничена [5], что противоречит экспериментам. Теоретическое описание отмеченных явлений требует дальнейшей проработки.

Цель работы

Разработать формулы для расчета относительной деформации древесины при прессовании, учитывающие одновременное развитие эластических и необратимых деформаций, затухающих по времени.

Методы исследования

Методы теории деформируемого твердого тела, математический анализ.

Результаты исследования и выводы

Вначале подробно рассмотрим реологическую модель древесины как тела Бюргерса (рисунок 1) [5], промежуточные выкладки понадобятся нам далее.

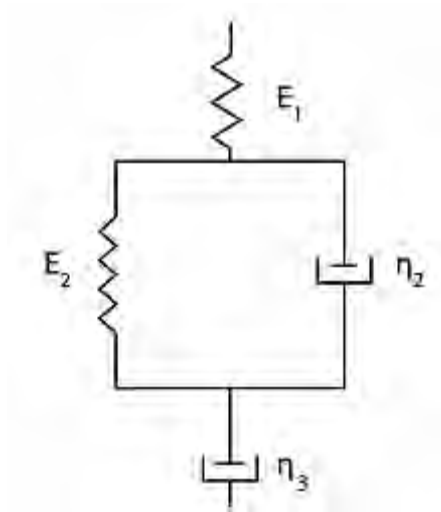


Рисунок 1 – Реологическая модель древесины как тела Бюргера
 Базовые уравнения, описывающие поведение материала, следующие:

$$\sigma = \varepsilon_1 E_1 \quad (1)$$

$$\sigma = E_2 \varepsilon_2 + \eta_2 \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (2)$$

$$\sigma = \eta_3 \frac{d\varepsilon_3}{dt} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (4)$$

где E_i – модуля деформации, η_i – вязкости, ε_i – относительные деформации элементов модели, σ – напряжение.

Дважды дифференцируем формулы (1), (4) по t , однократно – формулы (2), (3), объединяем полученные уравнения с формулами (1) – (4) в систему, тогда:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_1 \varepsilon_1 = \sigma \\ E_1 \frac{d\varepsilon_1}{dt} = \frac{d\sigma}{dt} \\ E_1 \frac{d^2\varepsilon_1}{dt^2} = \frac{d^2\sigma}{dt^2} \\ E_2 \varepsilon_2 + \eta_2 \frac{d\varepsilon_2}{dt} = \sigma \\ E_2 \frac{d\varepsilon_2}{dt} + \eta_2 \frac{d^2\varepsilon_2}{dt^2} = \frac{d\sigma}{dt} \\ \eta_3 \frac{d\varepsilon_3}{dt} = \sigma \\ \eta_3 \frac{d^2\varepsilon_3}{dt^2} = \frac{d\sigma}{dt} \\ \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = \varepsilon \\ \frac{d^2\varepsilon_1}{dt^2} + \frac{d^2\varepsilon_2}{dt^2} + \frac{d^2\varepsilon_3}{dt^2} = \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} \end{array} \right. \quad (5)$$

Представим систему уравнений в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} E_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & E_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E_1 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 & 0 & \eta_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E_2 & 0 & 0 & \eta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \eta_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \eta_3 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \frac{d\varepsilon_1}{dt} \\ \frac{d\varepsilon_2}{dt} \\ \frac{d\varepsilon_3}{dt} \\ \frac{d^2\varepsilon_1}{dt^2} \\ \frac{d^2\varepsilon_2}{dt^2} \\ \frac{d^2\varepsilon_3}{dt^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma \\ \frac{d\sigma}{dt} \\ \frac{d^2\sigma}{dt^2} \\ \sigma \\ \frac{d\sigma}{dt} \\ \sigma \\ \frac{d\sigma}{dt} \\ \sigma \\ \frac{d\sigma}{dt} \\ \varepsilon \\ \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Тогда решение найдем из матричного уравнения:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \frac{d\varepsilon_1}{dt} \\ \frac{d\varepsilon_2}{dt} \\ \frac{d\varepsilon_3}{dt} \\ \frac{d^2\varepsilon_1}{dt^2} \\ \frac{d^2\varepsilon_2}{dt^2} \\ \frac{d^2\varepsilon_3}{dt^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & E_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E_1 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 & 0 & \eta_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E_2 & 0 & 0 & \eta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \eta_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \eta_3 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \sigma \\ \frac{d\sigma}{dt} \\ \frac{d^2\sigma}{dt^2} \\ \sigma \\ \frac{d\sigma}{dt} \\ \frac{d^2\sigma}{dt^2} \\ \sigma \\ \frac{d\sigma}{dt} \\ \frac{d^2\sigma}{dt^2} \\ \varepsilon \\ \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Уравнение реологии материала составим, воспользовавшись соотношением, не вошедшим в систему (6):

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\varepsilon_1}{dt} + \frac{d\varepsilon_2}{dt} + \frac{d\varepsilon_3}{dt} \quad (8)$$

Производные деформаций по времени, как следует из решения (7), определяются по формулам:

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt} = \frac{1}{E_1} \frac{d\sigma}{dt} \quad (9)$$

$$\frac{d\varepsilon_2}{dt} = \frac{\eta_2}{E_1 E_2} \frac{d^2\sigma}{dt^2} + \frac{\eta_2 + \eta_3}{E_2 \eta_3} \frac{d\sigma}{dt} - \frac{\eta_2}{E_2} \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} \quad (10)$$

$$\frac{d\varepsilon_3}{dt} = \frac{1}{\eta_3} \sigma \quad (11)$$

После подстановки выражений (9) – (11) в уравнение (8) и сокращений, получим:

$$\frac{d^2\sigma}{dt^2} + \frac{E_1 \eta_2 + E_1 \eta_3 + E_2 \eta_3}{\eta_2 \eta_3} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_1 E_2}{\eta_2 \eta_3} \sigma = E_1 \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + \frac{E_1 E_2}{\eta_2} \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (12)$$

Начальные условия к решению уравнения (12) следующие:

$$\varepsilon(0) = 0, \frac{d\varepsilon(0)}{dt} = \frac{\eta_2 + \eta_3}{\eta_2 \eta_3} \sigma \quad (13)$$

Формулы (12) – (13) представляют собой классическую форму записи уравнения реологии тела Бюргерса.

Дальнейшее решение зависит от вида функции σ , например, при постоянном напряжении получим:

$$\varepsilon = \left(\frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2} + \frac{t}{\eta_3} - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \right) \sigma \quad (14)$$

Заметим, что деформация ε_2 затухает по времени, соответственно, ее скорость стремится к нулю. Скорость деформации ε_3 определяется вязкостью η_3 . Если вязкость $\eta_3 = \text{const}$, то скорость постоянна и деформация ε_3 не ограничена по времени. Если же скорости равны:

$$\frac{d\varepsilon_2}{dt} = \frac{d\varepsilon_3}{dt} \quad (15)$$

то деформация ε_3 имеет предел, таким образом, для учета явлений, наблюдавшихся экспериментально, следует принять, что вязкость η_3 переменна по времени.

После подстановки выражения (14) в формулу (10), учитывая уравнение (11), запишем:

$$\frac{1}{\eta_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \sigma = \frac{1}{\eta_3} \sigma \quad (16)$$

Откуда найдем η_3 :

$$\eta_3 = \eta_2 \exp\left(\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \quad (17)$$

При вязкости η_3 по формуле (17) получим деформацию ε_3 , затухающую по времени воздействия.

На рисунке 2 представлен пример решения реологического уравнения (12) при начальных условиях (13) с учетом (17), полученного при ступенчатой функции напряжения:

$$\sigma = \sigma_0 \text{Heaviside}(\tau - t) \quad (18)$$

где σ_0 – начальное напряжение, τ – время прессования.

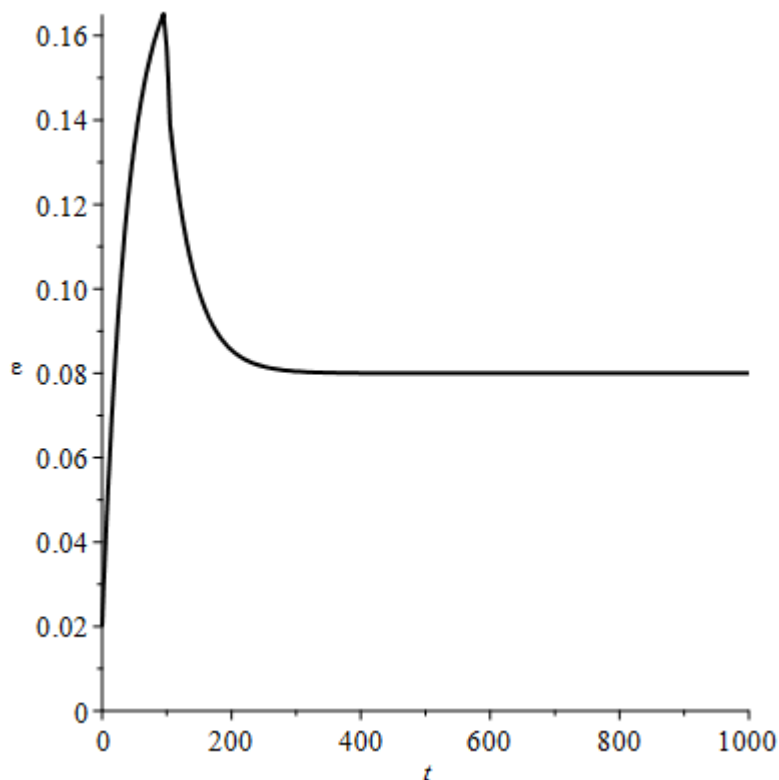


Рисунок 2 – Поведение предлагаемой реологической модели древесины при прессовании

Как видно из графика, использование модели тела Бюргера при переменной вязкости одного из элементов, позволяет учесть затухающий характер общей деформации древесины при прессовании.

Библиографический список

1. Бирман А.Р., Сергеевичев В.В., Власов Ю.Н., Хитров Е.Г. Пути совершенствования технологии и оборудования раскряжевки круглых лесоматериалов. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. № 198. С. 110-118.
2. Куницкая О.А., Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А. Уплотнение древесных материалов под действием ударной нагрузки. Научное обозрение. 2012. № 4. С. 121-127.
3. Коршак А.В., Бирман А.Р., Онегин В.И., Хитров Е.Г. Брикетирование опилок на прессах ударного типа. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2011. № 197. С. 175-181.
4. Курицын В.Н., Тюленева Е.М. Экспериментальное уточнение реологической модели древесины. ИВУЗ. «Лесной журнал». 2009. № 5. С. 104 – 109.

5. Бленд Д.Р. Теория линейной вязкоупругости. М.: Мир, 1965, 390 с.

Сведения об авторах

ФИО	Кучер С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	suroga.kucher@gmail.com
ФИО	Теппоев А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	suroga.kucher@gmail.com
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	Sheff2_01@mail.ru

Ключевые слова: уплотнение древесины, эластические деформации, необратимые деформации; wood pressing, elastic deformations, irreversible deformations

УДК 674.02

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.05

Аннотация

В статье предложены формулы для расчета относительной деформации древесины при прессовании с учетом одновременного развития эластических и необратимых деформаций. Основой для получения формул является модель тела Бюргерса. С использованием методов теории деформируемого твердого

тела и математического анализа получены новые уравнения, учитывающие переменную вязкость древесины в процессе деформирования. Введение переменной вязкости в реологическую модель позволило учесть затухающий характер необратимых деформаций древесины при прессовании. Приводится пример численного решения предлагаемых дифференциальных реологических уравнений.

Оптимизация параметров моторно-трансмиссионной установки лесопромышленных тракторов

Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Дурманов М.Я., Тарадин Г.С.

Введение. Специфика и особенности работы различных лесосечных машин значительно отличаются от условий работы сельскохозяйственных и промышленных тракторов.

Условия работы лесопромышленных тракторов (ЛПТ) связаны со значительными колебаниями касательной силы тяги (относительно средней загрузки). Эти колебания для многих видов работ достигают 35% и более, что приводит к постоянной работе дизеля на регуляторном участке скоростной характеристики, то есть в зоне высоких удельных расходов топлива. Это обстоятельство так же вызывает относительно частое переключение передач, что привело к замене механических ступенчатых трансмиссий (МТ) прогрессивными трансмиссиями (гидродинамическими и гидростатическими).

Отечественные ЛПТ оснащены дизельными двигателями с низкими коэффициентами запаса по крутящему моменту \hat{E}_ζ . В 1948 г. Харитончиком Е.М. для дизеля С-80 трактора ЧТЗ С-64 был разработан и испытан корректор, обеспечивающий обогащенную цикловую подачу топлива. Это позволило повысить \hat{E}_ζ до 1,6. Такой дизель назван двигателем постоянной мощности (ДПМ). Эта идея получила развитие в 70-80-х г. с развитием турбонаддува и с появлением систем электронного впрыска.

Цели и задачи. Целью данной работы является исследование особенностей взаимодействия ДПМ с гидродинамическими трансмиссиями.

Методика исследования. Использование ДПМ с МТ на трелевочных тракторах ОТЗ позволило значительно повысить транспортную производительность на грузовом ходу, улучшить топливную экономичность, сократить количество передач в трансмиссии и уменьшить потери на буксование [1]. Влияние \hat{E}_ζ на скорость грузового хода (V) и транспортную производительность (\dot{I}_δ) ЛПТ описывают следующие уравнения регрессии, полученные по результатам 5 циклов испытаний тракторов ОТЗ с различными моторно-трансмиссионными установками:

$$V = 9,426 - 27,680\psi + 26,1 \times 10^{-3} \hat{E}_\zeta N_{\text{ái}} - 15,2 \times 10^{-3} Q^2;$$

$$\dot{I}_\delta = -17,63 + 13,72Q + 0,18 \hat{E}_\zeta N_{\text{eí}} + 30,34Q\psi - 0,29Q^2,$$

где Q – рейсовая нагрузка, м³; N_{e1} – номинальная мощность двигателя, кВт; Ψ – суммарное сопротивление движению.

Кроме того, применение ЛПТ с ДПМ и МТ дает улучшение тяговых и разгонных качеств, проходимости и маневренности в сложных условиях движения машины, благодаря значительным диапазонам бесступенчатого и автоматического регулирования тягового усилия и скорости движения. Еще большую эффективность можно получить при взаимодействии ДПМ с гидромеханическими трансмиссиями, а именно - с гидротрансформаторами (ГТР). Анализ параметров моторно-трансмиссионных установок современных ЛПТ показал, что в последнее время появились дизели с высокими значениями \hat{E}_ζ , в то время как параметры ГТР, и в первую очередь их нагружающие свойства остались неизменны (табл. 1). Однако такие нагружающие характеристики не соответствуют изменившимся параметрам дизелей (увеличенные \hat{E}_ζ). Проиллюстрируем это на конкретных параметрах двух дизелей – Д-260.9 с $\hat{E}_\zeta = 1,15$ и Д-260.9S2 с $\hat{E}_\zeta = 1,3$, применяемых на ЛПТ "Амкодор", полная безразмерная характеристика их ГТР приведена в табл. 2, и двух зарубежных дизелей CAT 3300 с $\hat{E}_\zeta = 1,2$ и CAT 3304 с $\hat{E}_\zeta = 1,49$, полная безразмерная характеристика их ГТР приведена в табл. 3.

На графиках (рис. 1, а,б) приведены совместные работы данных установок с исходными малопрозрачными ГТР.

Анализ выходных характеристик показывает, что увеличение \hat{E}_ζ (как от 1,15 до 1,3, так и от 1,2 до 1,49) практически не приводит к увеличению выходной мощности. Это объясняется тем, что режимы работы малопрозрачного ГТР с данными дизелями лежат в узком диапазоне частоты вращения коленчатого вала (КВ), в зоне максимальной мощности дизеля (см. рис. 1,а,б). Такой характер совместной работы не позволяет реализовывать увеличенный крутящий момент этих дизелей и поэтому не может реализовать их «полку» по мощности. Отсюда следует, что для реализации полной характеристики

Таблица 1 - Моторно-трансмиссионные установки современных лесных скиддеров

Фирма/ модель	Двигатель	N_{e1} , кВт	n_{e1} , мин ⁻¹ при N_{e1}	$M_{e\max}$ Н × м	n_{e1} , мин ⁻¹ при $M_{e\max}$	Коэффициент		Тип трансмиссии	КП вп/н аз	ГТР	Прозрачность
						запас а, \hat{E}_{ζ}	оборот ов α				
Caterpillar 517	3304DIT	70	220 0	572	1200	1,47	0,54	ГМТ	3/3	T6 1300- 400 MS	1,25
Caterpillar 527	3304DIT A	112	220 0	738	1200	1,49	0,54	ГМТ	3/3	E3610	1,3
Caterpillar 525C	C7ACER T	136	180 0	896	1400	1,24	0,77	ГМТ	5/3	-	
Caterpillar 535C	C7ACER T	152	180 0	957	1400	1,18	0,77	ГМТ	5/3		
КМС 1400, 1500,1600	Cummins 4 BTA	97	250 0	452	1500	1,22	0,6	ГМТ	3/3	TwinDi sc	1,5
КМС 2400,2500,2 600	Cummins 6BTA5.9	123	220 0	694	1500	1,3	0,68	ГМТ	4/4		1,5
Онежец- 300,320,330	Д- 245.2S2	90	220 0	501	1600	1,28	0,7272	ГТР	3/1	НАТИ 390	1,712
Амкодор 2243	Д-260.1	114	210 0	622	1400	1,21	0,66	ГМТ	4/4	ГМП У35615	1,38
LKT82	Iveco 45 MNTX 20.00	92	220 0	525	1250	1,31	0,56	ГМТ	6/4	-	1,3
John Deere 540G-	JD Power	96	220 0	537	1400	1,33	0,636	МТ	8/7	-	

Фирма/ модель	Двигатель	N_{ei} , кВт	$n_{e, \text{мин}^{-1}}$ при N_{ei}	$M_{e \text{max}}$ Н $\times \text{м}$	$n_{e, \text{мин}^{-1}}$ при $M_{e \text{max}}$	Коэффициент		Тип трансмиссии	КП вп/наз	ГТР	Прозрачность
						запас а, \hat{E}_{ζ}	оборот ов α				
III/548G-III	TechPlus 6068										
John Deere 640H/648H	JD Power TechPlus 6068	128	220 0	768	1400	1,38	0,636	МТ	8/7		
John Deere 848H	JD Power TechPlus 6068	149	220 0	817	1400	1,26	0,636	ГМТ	6/3	Clark	1,35
Кировец К-703М	ЯМЗ- 8423	184	190 0	1110	1400	1,2	0,737	ГМТ	16/8	ЛГ-470	1,149
МЛ 107	ЯМЗ 238Д	243	210 0	1225	1400	1,35	0,737	ГМТ	4/4	СКБМ	2,1

Таблица 2 - Полная безразмерная характеристика исходного малопрозрачного ГТР для дизелей Д-260.9 и Д-260.9S2

i	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,446	0,5
k	3,38	2,96	2,58	0,267	1,96	1,842	1,704
η	0	0,296	0,516	0,68	0,784	1,818	0,852
$\lambda \cdot 10^6$	1,6	1,7	1,775	1,85	1,912	1,925	1,925

Продолжение табл. 2

i	0,6	0,69	0,7	0,8	0,864	0,9	0,915
k	1,483	1,315	1,297	1,103	0,955	0,955	0,909
η	0,89	0,607	0,908	0,882	0,859	0,895	0,909
$\lambda \cdot 10^6$	1,9	1,83	1,825	1,515	1,279	0,925	0,715

Таблица 3 - Полная безразмерная характеристика сходного малопрозрачного ГТР Caterpillar

i	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
k	2,25	2,1	1,95	1,79	1,634	1,475
η	0	0,22	0,39	0,537	0,654	0,738
$\lambda \cdot 10^6$	1,271	1,233	1,195	1,158	1,121	1,083

Продолжение табл. 3

i	0,6	0,7	0,72	0,8	0,86
k	1,316	1,158	1,139	0,995	0,85
η	0,789	0,81	0,82	0,8	0,73
$\lambda \cdot 10^6$	1,045	1,008	1	0,97	0,95

дизеля с увеличенным \hat{E}_c необходим ГТР с другим характером нагружающих характеристик.

Нами предложен способ оптимизации нагружающих характеристик ГТР с использованием реальных стендовых характеристик дизелей и ГТР.

Для реализации методики создана компьютерная программа, позволяющая быстро и точно определять оптимальные режимы совместной работы ДПМ и ГТР. Используя программу, мы рассчитали оптимальные нагружающие характеристики для дизелей Д-260.9 и Д-260.9S2. Расчеты проводились на основании технических характеристик ГТР с активным диаметром 0,37 м (см. табл. 2). Полученные нагружающие характеристики приведены на рис. 2, там же приведена нагружающая характеристика исходного малопрозрачного ГТР. На рис. 3 приведены выходные характеристики установок с дизелями Д-260.9, Д-260.9S2 с оптимальными и исходным малопрозрачным ГТР.

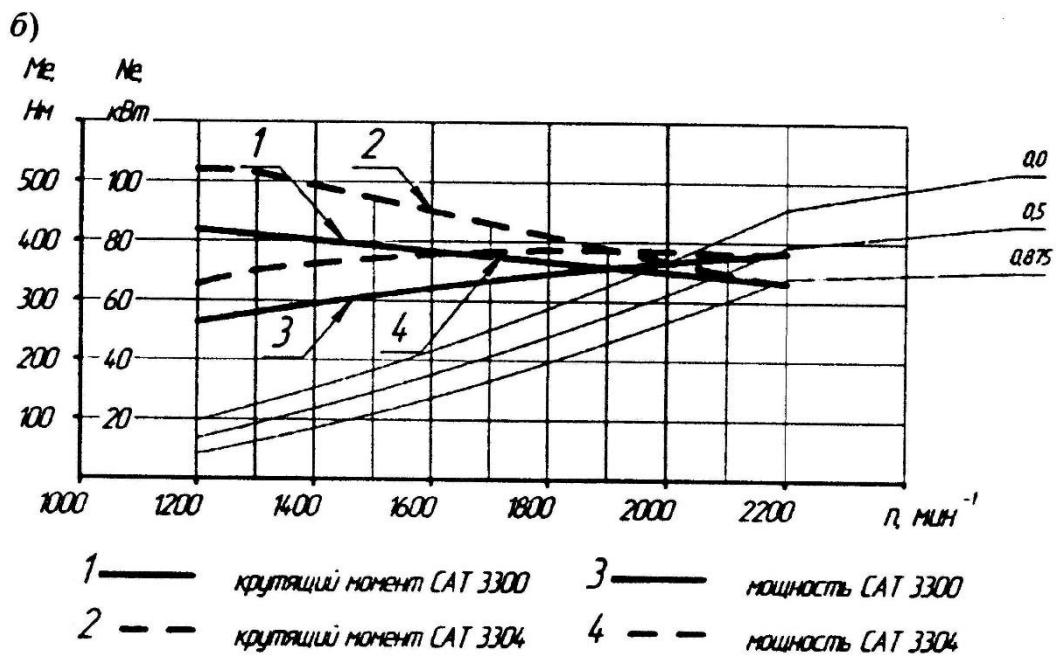
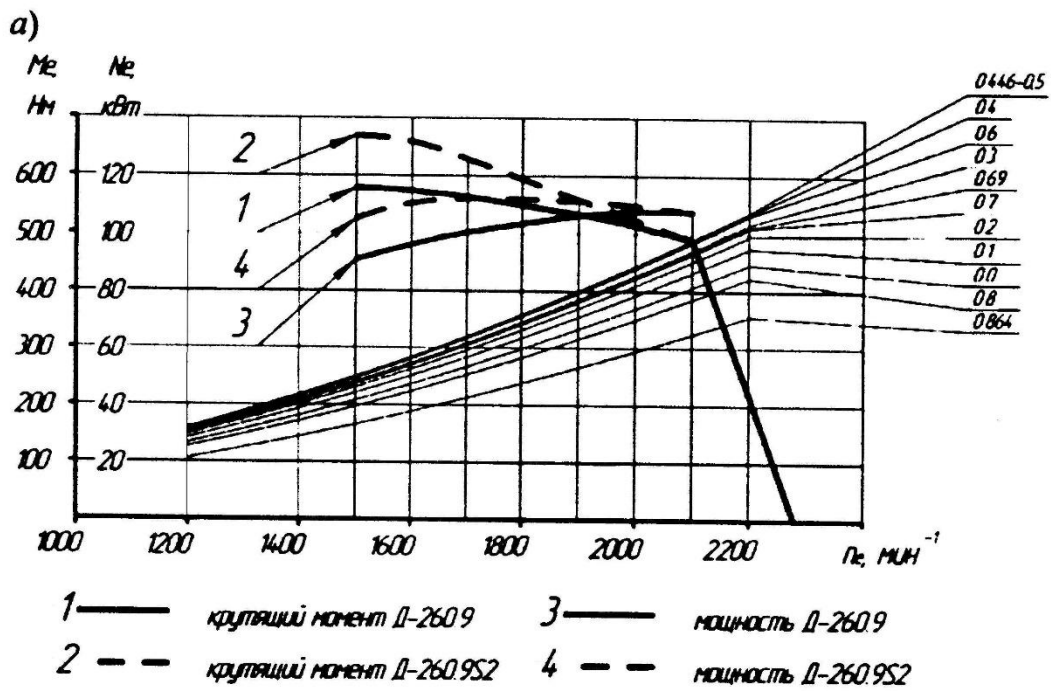


Рис. 1. Совместная работа дизелей Д-260.9, Д-260.9S2 (а) и САТ 3300, САТ 3304 (б) с исходным малопрозрачным ГТР

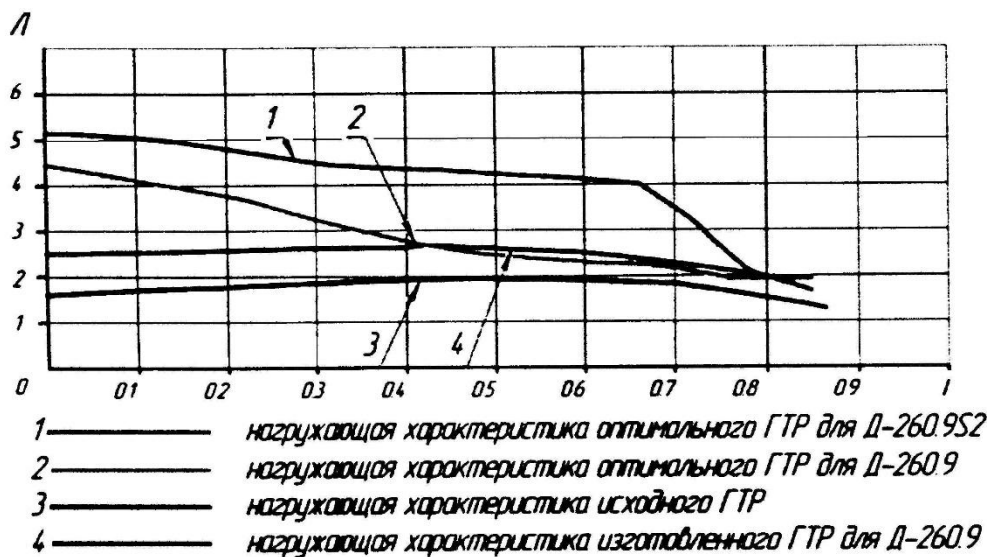


Рис. 2. Нагружающие характеристики оптимальных и исходного ГТР

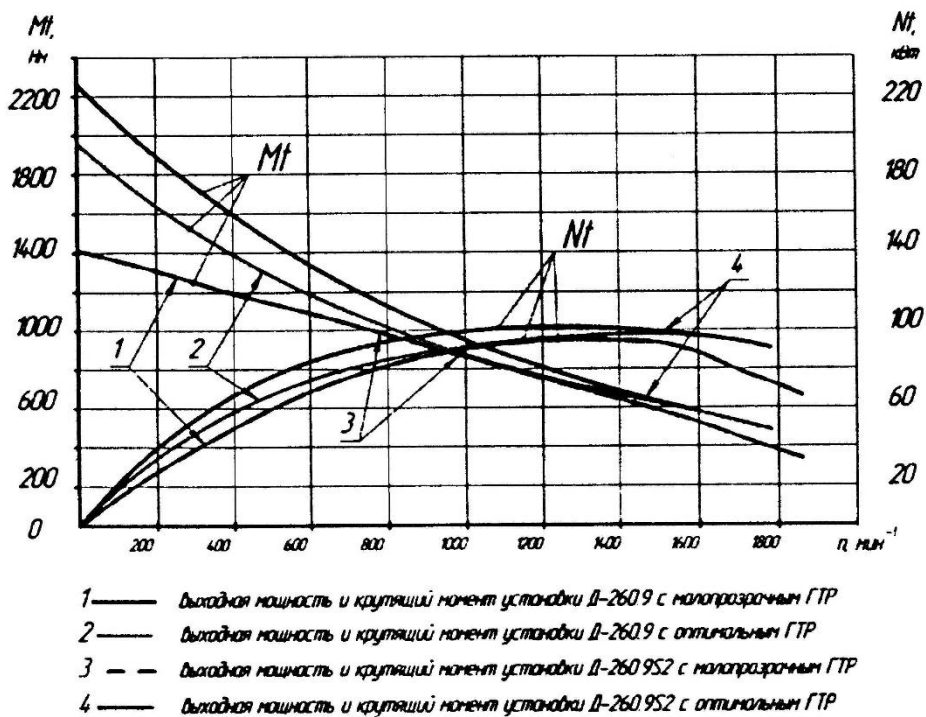


Рис. 3. Выходные характеристики установок с Д-260.9, Д-260.9S2 с оптимальными и исходным малопрозрачным ГТР

Результаты и обсуждение исследований. Оптимизация нагружающих характеристик ГТР для дизеля с $\hat{E}_\zeta=1,15$ дала выигрыш по мощности во всем диапазоне частоты вращения турбины от 2 до 9 кВт (максимальный выигрыш составляет 17%) и увеличение крутящего момента от 2 до 549 Н×м. Для дизеля с $\hat{E}_\zeta=1,3$ применение ГТР с оптимальной нагружающей характеристикой дает увеличение выходной мощности во всем диапазоне частоты вращения турбины от 2 до 17 кВт (максимальный выигрыш составляет 34%) и увеличение крутящего момента от 2 до 853 Н×м. Переход от дизеля с $\hat{E}_\zeta=1,15$ к $\hat{E}_\zeta=1,3$

дает выигрыш по мощности от 2 до 10 кВт в диапазоне частот вращения турбины от 0 до 1680 мин⁻¹ (максимальный выигрыш составляет 13%) с учетом одинаковых номинальных мощностей этих дизелей. По этой же методике рассчитана оптимальная нагружающая характеристика ГТР для дизеля CAT 3304 с $\hat{E}_\zeta=1,49$. Оптимизация нагружающих характеристик позволила увеличить выходную мощность во всем диапазоне частот вращения турбины от 2 до 16 кВт (максимальный выигрыш составил 43%) и повысить крутящий момента с 2 до 412 Н×м. Из приведенных результатов можно сделать вывод, что чем выше \hat{E}_ζ , тем выше эффект от использования оптимальной нагружающей характеристики, а также чем больше \hat{E}_ζ , тем большая прозрачность ГТР необходима [2,3].

В последние годы на ЛПТ все шире используются дизели с аккумуляторной топливной системой типа Common Rail.

В системе типа Common Rail насос высокого давления нагнетает дизельное топливо под высоким давлением (до 300 МПа, в зависимости от режима работы двигателя) в общую топливную магистраль существенного объема (аккумулятор).

Управляемые электроникой электрогидравлические форсунки с электромагнитным или пьезоэлектрическим приводом управляющих клапанов впрыскивают дизельное топливо под высоким давлением в цилиндры. В зависимости от конструкции форсунок и класса двигателя может впрыскиваться до 9 порций топлива за 1 цикл.

Одной из ключевых особенностей системы Common Rail является независимость процессов впрыскивания от угла поворота коленчатого вала и от режима работы двигателя, что делает возможным достижение высокого давления впрыскивания на частичных режимах, что необходимо для удовлетворения современных и перспективных экологических требований.

Другой важной особенностью дизелей с такой системой подачи топлива является то, что при отсутствии ярко выраженной площадки "постоянной мощности" на скоростной характеристике, они обладают достаточно большим \hat{E}_ζ .

Приспособляемость данных дизелей составляет 1,35 и более. Те исследования, которые приводятся в этой работе относительно совместной работы ГТР и ДПМ распространяются и на совместную работу ГТР и дизелей с системой Common Rail.

Заключение и выводы. Разработана методика определения оптимальных нагружающих характеристик ГТР с учетом параметров ДПМ и КПД исходного ГТР. На основе этой методики определены оптимальные нагружающие

характеристики для дизелей с различными \hat{E}_ζ от 1,15 до 1,49. Установлено, что использование найденных нагружающих характеристик дает повышение выходной мощности по сравнению с исходными, в то же время чем больше величина \hat{E}_ζ дизеля, тем существеннее эффект от применения ГТР с оптимальной нагружающей характеристикой.

Следовательно, эти выводы в полной мере относятся и к моторно-трансмиссионным устройствам типа Common Rail – ГТР.

Библиографический список

1. *Михайлов О.А.* Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля: дис...канд. техн. наук. Л.:ЛТА, 1986.- 198с.

2. *Мартынов Б.Г., Михайлов О.А., Козленок А.В.* Повышение производительности лесозаготовительных машин путем оптимизации параметров гидродинамической трансмиссии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. Выпуск 210. С. 119-130.

3. *Антипин В.П., Дурманов М.Я., Каршев Г.В.* Динамические характеристики касательной силы тяги лесосечной машины с двигателем постоянной мощности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2006. Выпуск 178. С. 111-119.

Сведения об авторах

ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	lts55@mail.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Дурманов М.Я.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	Durmanov130266@rambler.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru

Аннотация

Описаны условия эксплуатации лесопромышленных тракторов. Значительные колебания касательной силы тяги приводят к постоянной работе на регуляторном участке скоростной характеристики дизелей с низкой приспособляемостью по крутящему моменту. Рассмотрены тенденции развития моторно-трансмиссионных установок современных лесопромышленных тракторов (ЛПТ). Показано, что сегодня широкое распространение находят двигатели постоянной мощности (ДПМ) и с топливной системой типа Common

Rail с повышенным коэффициентом запаса крутящего момента (\hat{E}_ζ). Приводится история создания первого ДПМ и результаты использования ДПМ с механической трансмиссией на трелевочных тракторах Онежского тракторного завода. Исследования показывают, что моторно-трансмиссионные установки типа ДПМ – гидротрансформатор (ГТР) обладает существенным недостатком. Дизели имеют высокие значения \hat{E}_ζ , в то время как параметры ГТР и в первую очередь их нагружающие характеристики остались неизменны.

Разработана методика определения оптимальных нагружающих характеристик ГТР с учетом параметров ДПМ и КПД исходного ГТР. На основе этой методики определены оптимальные нагружающие характеристики для дизелей с различными \hat{E}_ζ . Установлено, что использование найденных нагружающих характеристик дает повышение выходной мощности по сравнению с существующими, в то же время чем больше величина \hat{E}_ζ дизеля, тем больший эффект от применения ГТР с оптимальной нагружающей характеристикой. На основе данной методики разработаны технические требования на модернизацию ГТР, применяемых на конкретных ЛПТ. Изготовленные с учетом этих требований ГТР дают повышение мощности на выходной характеристике до 18%.

Ключевые слова: двигатель постоянной мощности, лесопромышленный трактор, коэффициент запаса по крутящему моменту, Common Rail, гидротрансформатор.

Keywords: engine of the constant power, forestry-industry tractor, safety factor at the torque, Common Rail, hydraulic converter.

УДК 629.11.013

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.01.87; 68.47.85; 68.85.87

Разработка методики расчета элементов машин, механизмов и сооружений лесного комплекса на динамические нагрузки

Назарук А.В.

Введение.

В конструкциях лесопромышленного комплекса широко используются сжатые элементы работающие в упругопластической стадии при динамических нагрузках.

Цели и задачи.

Целью данной работы является разработка методики расчёта сжатых элементов на динамические нагрузки.

Методика исследования.

Методика расчета сжатых элементов на действие интенсивной динамической нагрузки в неупругой стадии впервые была разработана А.А. Гвоздевым [1]. Он положил в основу допущение жесткой работы балки до достижения изгибающим моментом некоторого предельного значения. При этом формируется шарнир пластичности с постоянным моментом. Остаточные деформации и время деформирования устанавливаются путем анализа движения жестких и пластических участков балки. При этом необходим учёт граничных условий. Такая достаточно грубая аппроксимация приводит к завышенным значениям остаточных перемещений в конструкциях с незначительными пластическими деформациями.

И.М. Рабинович [5] впервые осуществил динамический подход, учитывающий упругую и пластическую составляющие деформации материала. Дальнейшему развитию двух указанных способов расчета строительных конструкций посвящены работы Н.Н. Попова, А.В. Забегаева [2], Б.С. Расторгуева, Г.И. Попова, В.И. Жарницкого, Б.Г. Коренева, В.А. Котляревского, М.Ф. Барштейна, О.В. Лужина, А.П. Сеницына, В.М. Теренина, Н.К. Снитко, О.Г. Кумпяка, Д.Г. Копаницы [3] и др.

Н.Н. Попов предположил рассмотреть работу стержневого элемента сооружения как упругую до момента наступления текучести в растянутой арматуре и как пластическую после ее появления. Записывается уравнение движения системы в упругой стадии и решение отыскивается методом Фурье, т.е. прогибы представлены как произведение статической формы прогибов $F(x)$ и функции динамичности $T(t)$:

$$y(x,t) = PF(x)T(t).$$

Нахождение функции динамичности Н.Н. Попов [4] осуществляет методом Бубнова-Галеркина, приводящий к дополнительным дифференциальным уравнениям.

В пластической стадии колонна условно смоделирована в виде двух жестких дисков, связанных стационарным шарниром пластичности. Учет увеличения прочности материалов вследствие изменения скорости деформирования выполнен приближенно путем увеличения их статического

значения в k раз, соответствующему коэффициенту динамического упрочнения. Прогиб балки после образования пластического шарнира выражен суммой двух функций

$$y(x, t) = y_0(x) + \varphi(t)x,$$

где $\varphi(t)$ – угол поворота половины балки.

Дальнейшее решение приводит к формулам максимального прогиба и величине угла раскрытия в пластическом шарнире, требуемом для проверки прочности балки.

Метод расчета представлен на основе приближенной идеально упругопластической схемы, кусочно-линейной аппроксимации действительной зависимости $M-\varkappa$ и постоянства скорости деформирования бетона и арматуры и обладает всеми присущими им недостатками.

Задачу движения колонны, испытывающей одновременное действие удара и статического сжатия силой N рассматривает А.В. Забегаев [3]. Для получения уравнений движения балки используется уравнение Лагранжа. Прогиб колонны ищется в виде суперпозиции частных решений.

Для нахождения кинетической и потенциальной энергий учтен местный эффект удара – взаимодействие ударника с конструкцией. Контактная сила определена как линейная функция произведения жесткости контактной зоны k , определяемой на основании опытов, на величину внедрения ударника α . В результате получается система линейных дифференциальных уравнений относительно обобщенных координат, которыми являются функции времени. При решении могут быть найдены прогибы и внутренние усилия. С помощью последних, исходя из условия $\sigma_1(x, t) = \sigma_{1,u}^d$, где $\sigma_{1,u}^d$ – предельное сжимающее динамическое напряжение в бетоне перед образованием наклонной микротрещины, определяется момент времени t_1 образования первой трещины.

После этого, когда $t > t_1$, рассматривается вторая стадия работы колонны. В этом случае уравнение движения записывается следующим образом:

$$\Delta = \frac{N\left(\frac{h}{2} - a_b\right)}{\bar{x}c_0} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c_0}{M_s + \frac{ml}{3}}} t \right) + \dot{\alpha} \sqrt{\frac{M_s + \frac{ml}{3}}{c_0}} \sin \sqrt{\frac{c_0}{M_s + \frac{ml}{3}}} t,$$

где Δ – нормальное перемещение сечения;

a_b – защитный слой продольной арматуры;

M_s, m – масса ударника и погонная масса колонны соответственно;

l – длина колонны;

c_0 – жесткость стержневой системы.

Прочность системы определяется прочностью сжатого наклонного элемента и обеспечивается выполнением условия

$$\sigma_1(t_{\max}) = \frac{E''_b \Delta_{\max}(t_{\max})}{h_0 \sin^2 \beta} \leq k_{v,b} R_b,$$

где E''_b – контактный модуль деформации бетона;

β – угол между наклонными трещинами и осью колонны;

$k_{v,b}$ – коэффициент динамического упрочнения бетона при сжатии.

Объединив метод перемещений с теорией колебаний, Б.С. Расторгуев предлагает способ динамического расчета сооружения с учетом влияния совместной работы его элементов. В результате такого синтеза автор приходит к системе уравнений относительно функций $Z(t)$ и $T(t)$

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{D\}$$

где $[M], [C], [K]$ – блочные матрицы масс, затухания и жесткости соответственно;

$\{D\}$ – блочный вектор внешних сил;

$\{X\}, \{\dot{X}\}, \{\ddot{X}\}$ – векторы узловых перемещений $Z(t)$ и $T(t)$ изменения локальных колебаний элементов.

Заключение и выводы. Получена система линейных дифференциальных уравнений в обобщенной системе координат. Определяются прогибы сжатого элемента. Определяются внутренние усилия в элементе.

Библиографический список

1. Гвоздев А.А. К расчету конструкций на действие взрывной волны / А.А. Гвоздев // Строительная промышленность. – 1943 – № 1-2. – С. 18-21.
2. Забегаев А.В. К расчету железобетонных изгибаемых элементов на ударные действия аварийного характера / А.В. Забегаев // Исследование методов расчета эффективных строительных конструкций высокой заводской готовности : сб. статей. – М. : МИСИ, 1988. – С. 153-160.
3. Копаница Д.Г. Динамика составной железобетонной конструкции при внешнем импульсивном нагружении / Д.Г. Копаница, А.У. Усманов, М.А. Гринкевич // Сборник научных трудов МИСИ. – М., 1992. – С. 172-179.
4. Попов Н.Н. Расчет конструкций на динамические специальные нагрузки : учеб. пособ. для вузов / Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев, А.В. Забегаев. – М. : Высш. шк., 1992. – 319 с.
5. Рабинович И.М. К динамическому расчету сооружений за пределом упругости. Исследования по динамике сооружений: сб.-М., 1947-с. 100-107

Сведения об авторах

ФИО	Назарук А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8439-4256
e-mail	tsm@spbftu.ru

Аннотация

Рассматривается работа сжатых стержневых элементов, применяемых в конструкциях и сооружениях лесного комплекса при действии динамической нагрузки. Разрабатывается методика расчёта таких элементов. Дается обзор исследований по рассматриваемой тематике. Определяются кинетическая и потенциальная энергии ударяющего тела. Учитывается местный эффект удара, то есть взаимодействие ударяющего тела с конструкцией. Для получения уравнений движения используются уравнения Лагранжа. Прогиб сжатого элемента ищется в виде суперпозиции частных решений. Получена система линейных дифференциальных уравнений относительно обобщённых координат. Эти уравнения являются функциями времени. При их решении определяются прогибы сжатого элемента и внутренние усилия.

Ключевые слова: усилие, элемент, сжатый, нагрузка, динамическая, вектор, перемещение, напряжение, функция, прогиб, движение, пластическая, арматура

УДК 624.04

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.83

Повышение надежности и снижение энергоемкости машин и оборудования в лесном комплексе

Скачек Д.А., Салминен Э.О., Борозна А.А., Лопухин А.С.

Введение

Оборудование лесной промышленности и транспортно-технологические машины эксплуатируются в сложных природно-технологических условиях, с большими нагрузками, при отсутствии качественного сервисного обслуживания, что приводит к быстрому износу техники и повышенному расходу энергетических ресурсов. Постоянное повышение цен на топливо, машины и запасные части к ним ставит актуальной задачу повышения износостойкости и снижения энергопотребления лесозаготовительной техники. В лесной отрасли используется значительное количество оборудования и машин со значительным износом, низкой надежностью, приводящей к повышенному расходу топлива, частым остановкам производственного процесса, большой потребностью в запасных частях. Малые и средние предприятия, как правило, не имеют возможности приобретать новую технику, что приводит к сокращению их деятельности.

Цели и задачи.

Повышение надежности механизмов и увеличение их срока службы существующей техники, снижение расхода энергоресурсов является актуальной задачей, особенно для небольших лесопромышленных предприятий. Современная наука и техника располагают рядом технологических способов восстановления изношенных узлов механизмов, но все они требуют остановки производственного процесса, для разборки и замены изношенных деталей. Повышения надежности и работоспособности пар трения можно применив новейшую разработку российских ученых, защищенную патентом и известную как – РВС-технология [1].

Предлагаемая технология позволяет в условиях штатной эксплуатации восстанавливать изношенные поверхности всех видов трущихся металлических деталей, наращивая на поверхности трения металлокерамическую структуру с уникальными характеристиками.

РВС-технология — это совокупность операций использования ремонтно-восстановительных составов (РВС), состоящих из минералов и специальных добавок. РВС состоит из кристаллов минералов (серпентинит, шунгит, доломит и др.) и синтетических добавок, составляющих ноу-хау. Ремонтно-восстановительный состав представляет собой многокомпонентную высокодисперсную смесь природных минералов, которая образует на поверхности пар трения антифрикционный и антиизносный слой [2].

На обрабатываемой поверхности образуется кристаллический защитный слой. Кристаллы, осевшие вдоль поверхности трения, срастаясь, образуют по всему пятну контакта непрерывную сеть твердых монокристаллов. Новый слой обладает высочайшей адгезией к поверхностям, а также высокой

износостойкостью и низкой антифрикционностью. Образованный на поверхности детали новый слой, имеет уникальные свойства и называется металлокерамическим защитным слоем (МКЗС).

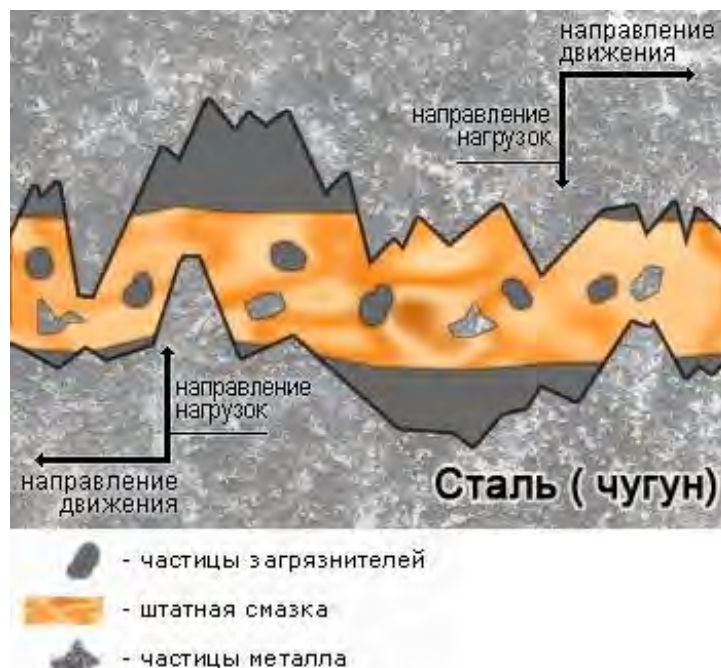


Рис.1. До использования триботехнического состава РВС

Механизмы, подвергшиеся обработке по РВС-технологии в процессе эксплуатации требуют меньше технико-экономических затрат, а также в меньшей степени вредят экологии.

Обработка проводится в 3 этапа:

1 этап – очистка мелкими абразивами, входящими в состав ГМС, подвергшейся износу поверхности;

2 этап – формирование на очищенной поверхности деталей (стали, чугуна) слоев кристаллической структуры, которая выравнивает поврежденную металлическую поверхность трущихся деталей. Слой защиты образуется за счет взаимодействия металла изношенной поверхности и веществ, входящих в структуру РВС.

3 этап – поддержание оптимального защитного слоя с характеристиками, необходимыми трущимся деталям для долговременной и бесперебойной в конкретном режиме работы. К таким параметрам относятся: пористость, волнистость, шероховатость, толщина слоя и т. д. Даже, при наличии в смазочном масле минимального количества ГМТ достаточно для адаптации характеристик образованного слоя. В период нахождения состава в смазке процесс износа поверхностей трения минимален, так как образованный защитный слой обладает способностью удерживать масло на трущихся деталях, и режим трения сдвигается в зону "мокрого трения", при котором износ минимален.

При выполнении ремонтно-восстановительных работ с использованием РВС-технологии выявляются следующие преимущества:

- обработка выполняется в режиме обычного (штатного) использования техники без прерывания технологического процесса;
- при использовании на незапущенной стадии гораздо дешевле капитального ремонта;
- позволяет восстановить и продлить "жизнь" технике с износом до 60%;
- так же применимо для профилактики увеличения износостойкости новой техники и оборудования;

В сравнении с другими присадками и модификаторами трения РВС восстанавливает зазоры деталей, образует надежную металлокерамическую защитную поверхность оптимизирующую зазоры и предотвращающую "сухое трение", следовательно, и дальнейший износ деталей.



Рис.2. После использования РВС

Методика исследования.

Для проверки возможности и целесообразности использования РВС - технологии для восстановления работоспособности двигателя лесовозного автомобиля выпуска 1969 года в учебно-научной лаборатории Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета проводился эксперимент с применением РВС-технологии.

Для эксперимента использовались: обкаточно-тормозной стенд КО-2204 и двигатель ЗИЛ-130 выпуска 1969 года. Силовую установку установили на одной оси с валом гидротормоза. Перед началом эксперимента были сняты контрольные показания компрессии и расхода топлива. После чего в систему смазки двигателя добавили ремонтно-восстановительную смесь - РВС. Силовая установка подверглась испытаниям, проводимым под нагрузкой продолжительностью 40 часов. После испытаний сняли контрольные показания, представленные в таблицах (табл.1 и табл.2.).

Результаты исследований.

Показания, снятые до и после обработки двигателя РВС составом

Таблица 1

Компрессия по цилиндрам, кгс/см²

Цилиндр	1	2	3	4	5	6	7	8
До	6,7	6	6,7	6,5	6,3	6,1	6,2	6,8
После	8,6	8,4	8,9	8,5	8,6	8	8,8	8,5

Измерения: силовая установка выводится на постоянные обороты (2000 об/мин) и подвергается подаче максимальной нагрузки. Затем нагрузку постепенно снижали и проводили контрольные замеры объема потребляемого топлива на контрольных промежутках времени. Результаты представлены в табл.2.

Таблица 2

Расход топлива до и после обработки РВС - составом

№	До обработки				После обработки			
	об/мин	P, кгс	установ. об/мин	Δ, гр	об/мин	P, кгс	установ. об/мин	Δ, гр.
1	2000	30	950	220	2000	30	900	205
2		25	1300	245		25	1100	210
3		20	1400	270		20	1300	235
4		15-17	1460	280		15-17	1500	260
5		10-12	1680	285		10-12	1700	255

Эффективная мощность двигателя N_e , л. с.:

где 0,001 – постоянный коэффициент весового механизма гидротормоза;

n – частота вращения двигателя в минуту;

P_T – нагрузка на гидротормозе, кгс.

Часовой расход топлива G_T , кг/ч:

где G – расход топлива за время опыта, г;

t – время опыта, с.

Удельный расход топлива g_e , г/э.л.с.·ч

Среднее эффективное давление p_e , кгс/см²:

$$p_e = \frac{0,9P_T}{V_s}$$

где V_s – литраж двигателя, л. (6,0 л)

Расчетные показатели

Таблица 3

№	Эффективная мощность, л.с.	Эффективное давление, кгс/см ²	Часовой расход топлива, кг/ч		Удельный расход топлива, г/э.л.с.·ч	
			до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
1	60	4,5	6,6	6,15	110	102,5
2	50	3,75	7,35	6,3	147	126
3	40	3	8,1	7,05	202,5	176,2
4	30	2,25	8,4	7,8	280	260
5	20	1,5	8,55	7,65	427,5	382,5

По показаниям видно, что произошло повышение компрессии в цилиндропоршневой группе до нормативных значений, предусмотренных для данной силовой установки (8,5), а объем потребляемого горючего сократился в зависимости от нагрузки на 7 – 15%.

Библиографический список

1. Салминен Э.О., Борозна А.А., Пушков Д.В., Снижение энергоемкости и повышение надежности машин и оборудования в лесном комплексе. СПбГЛТУ, Санкт-Петербург.
2. Салминен Э.О., Пушков Д.В., Борозна А.А. Использование nano технологий для снижения энергоемкости и повышения надежности работы машин и оборудования в лесном комплексе. М. МГУЛ. 2012.
3. РУСПРОМРЕМОНТ [Электронный ресурс] www.rvs-tech.ru

Сведения об авторах

ФИО	Скачек Д.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	den-skachek@yandex.ru
ФИО	Лопухин А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	Loruhin-a-s@yandex.ru
ФИО	Салменин Э.О.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	963-781
e-mail	salminen.lta@gmail.com
ФИО	Борозна А.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3705-7499
e-mail	3349280@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается способ повышения износостойкости и снижения энергопотребления при проведении работ лесозаготовительной техники и оборудования. Представлены преимущества использования РВС-технологии при выполнении ремонтно-восстановительных работ. Проведен эксперимент, доказывающий целесообразность применения РВС-технологии с целью уменьшения энергозатрат и повышения компрессии.

Ключевые слова: РВС, РВС-технология, повышение надежности, машины и оборудование, снижение износа, увеличение энергоемкости, снижение затрат, ремонт.

УДК 621.89.099.6

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.83. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования.

2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Заготовка древесины, поврежденной энтомо вредителями

**Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Локштанов Б.М., Соколова В.А.,
Кривоногова А.С., Новикова М.А., Сотникова М.А., Голубева А.С.**

Введение.

Энтомо вредителями в лесном хозяйстве называются насекомые, способные наносить ущерб ведению лесного хозяйства, питающиеся клетками деревьев, ухудшающие качество растущей и заготовленной древесины, а наносимые ими повреждения представляют собой отверстия и канавки округлой формы и называются червоточинами. Также энтомо вредители являются разносчиками гнилей и грибных поражений.

В зависимости от вида вредителя, червоточины могут быть поверхностными (глубиной до 3 мм – наносятся короедами), неглубокими (для круглых лесоматериалов – не глубже 15 мм, для пиломатериалов – не глубже 5 мм), сквозными (проходящими через лесоматериал насквозь).

Наибольшие повреждения энтомо вредители наносят в стадии личинок, т.к. для развития взрослого насекомого необходимо питание. Это подтверждается, например, ходами короеда-типографа, которые расширяются по мере роста личинки. Повреждения древесины поверхностными и неглубокими червоточинами возникают в первой половине лета, глубокие червоточины обычно появляются во второй половине лета [1]. Большинство короедов повреждается хвойная древесина, редкие виды повреждают древесину лиственных пород, усачи заселяют сухостой, мертвую древесину, лесоматериалы на складах, а также могут поселиться на домовых конструкциях, куда попадают с уже зараженной древесиной [1; 2].

Цели и задачи.

Определить заселение дерева некоторыми энтомо вредителями (например, короедом-типографом) издали в ряде случаев бывает достаточно сложно: заселение может уже произойти, даже если крона еще зеленая. О заселении свидетельствуют подтеки смолы, наличие на коре и корневых лапах буровой муки. Цвет буровой муки зависит от места прокладки ходов. Если ход прокладывается у поверхности коры, то буровая мука обычно имеет коричневый оттенок, если ход проходит в древесине, буровая мука белого или бело-желтого цвета. Короеды, заселяющие лиственные породы древесины, образуют в коре хорошо заметные входные отверстия. После прохождения цикла развития, взрослое насекомое покидает кору дерева, образуя в ней выходное отверстие. После вылета короеда, оно заселяется другими энтомо вредителями, производящими последующую деструкцию древесины [1; 3].



а)



б)

Рисунок 1 – Ходы короедов (а) и усачей (б) на стволах деревьев

Результаты и обсуждение исследований.

Существует технология санитарных рубок с выкладкой ловчих деревьев на подкладки. Ее важным вопросом является окорка ловчих деревьев. Для более эффективного использования всей площади ствола ловчие деревья следует периодически поворачивать на подкладках [1].

Важное влияние на результат санитарной рубки оказывает время и качество окорки и сжигания порубочных остатков [4]. Окорка пролысками в этом случае не дает необходимого результата, т.к. некоторые виды короедов могут переносить частичную окорку [5].

Для успешной борьбы с энтомовредителями выкладка ловчих деревьев должна согласовываться с периодом их лёта, и для каждого вида будет иметь свои особенности. Окорка должна проводиться в момент начала закукливания личинок короеда. При несвоевременно проведенных мерах существует риск образования искусственного очага энтомовредителей, поэтому для этого метода необходим тщательный контроль древесины со вскрытием коры [5].



Рисунок 2 – Ловчие деревья, выложенные при проведении сплошной санитарной рубки

В случае вывозки коры на переработку, через незаселенные лесные массивы с произрастающей в них целевой породой, возможен массовый вылет энтомовредителей с последующим ослаблением здоровых деревьев и дальнейшим их заселением, поэтому кора и порубочные остатки подлежат сжиганию на лесосеке [3].

Оставление на лесосеке семенных деревьев возможно в случае, если оставляемая древесная порода не является для энтомовредителя средой обитания [5].

Применение древесины, поврежденной энтомовредителями

Энтомовредители являются переносчиками спор дереворазрушающих грибов и гнилей. Для применения поврежденной древесины в отделке необходима ее пропитка защитными препаратами для замедления или остановки процессов ее разрушения [1]. Поврежденную энтомовредителями древесину нельзя использовать в несущих конструкциях, т.к. это подвергает риску лиц ее эксплуатирующих, но можно использовать для отделки предметов интерьера и мебели.

Строение ходов короеда имеет обычно сложную узорчатую текстуру, что позволяет использовать пропитанную защитными препаратами и лаками древесину в производстве предметов интерьера и отделке помещений [4]. Каждый вид короедов прокладывает в дереве ход определенного строения, свойственный только ему [3].

Ходы короеда, наложенные на текстуру древесины, придают изделиям из нее неповторимость. Отделка производимой продукции такой древесиной может позволить не только покрыть затраты на ее заготовку, но и принести предприятию некоторую прибыль.

Из древесины, заготовленной санитарными рубками, можно получить пиломатериалы, оцилиндрованное бревно, технологическую и топливную щепу, упаковочную стружку, тарную дощечку и другую продукцию [5]. При своевременно проводимых операциях по проведению санитарных рубок и вывозке заготовленной древесины, не отмечается значительного ухудшения ее свойств, поэтому возможно ее использование в качестве деловой [6].

С точки зрения переработки поврежденной древесины, большой интерес представляет устройство для окорки лесоматериалов [7]

При получении из пораженной короедом-типографом древесины оцилиндрованных бревен на окорочно-оцилиндровочных станках попутно можно получить упаковочную стружку.

Заключение и выводы

Исходя из сроков активности того или иного вида вредителей, при сокращении времени с момента обнаружения повреждений до момента рубки, умелом использовании неблагоприятных для развития энтомовредителей факторов, возможна организация процесса санитарных рубок с получением максимальных объемов ликвидной древесины и сокращение причиненного ущерба [1].

Чтобы избежать увеличения санитарной опасности в лесу, древесина, поврежденная энтомо вредителями, должна своевременно убираться из насаждения и перерабатываться [3]. Это позволит сократить затраты на ведение лесного хозяйства, позволит получать дополнительный объем древесины, развивать новые предприятия лесопромышленного комплекса, даст новый толчок развития лесной науки.

Библиографический список

1. Ссылка: <http://www.activestudy.info/povrezhdenie-drevesiny-nasekomymi-i-borba-s-nimi/> , (дата обращения 10.11.2015)
2. Ссылка: <http://givoyles.ru/articles/vrediteli/lovye-usachi/> (дата обращения 10.11.2015)
3. Ссылка: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Короеды> (дата обращения 10.11.2015)
4. Локштанов Б.М., Тихонов И.И., Орлов В.В., Бачериков И.В. Технология и оборудование лесных складов и лесообрабатывающих цехов. Механическая окорка лесоматериалов: учебное пособие – СПб.: СПбГЛТУ, 2013. – 92 с.
5. Ссылка: http://www.zooclub.ru/chlen/mery_borby_s_koroedami.shtml (дата обращения: 10.11.2015)
6. Соколова В.А., Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Сергеевичев А.В., Орлов В.В., Бачериков И.В., Фролов И.С. Методы определения участков с ядровой гнилью для обеспечения рационального раскроя хлыстов. Системы Методы Технологии. Выпуск 2 (34), Братск, издательство ФГБОУ ВО «БрГУ», 2017. – 164 с., с.116-120
7. Бирман А.Р. Патент №113692, Бюл. №6 – 2012 г.

Сведения об авторах

ФИО Бирман А.Р.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 5125-4307
e-mail birman1947@mail.ru

ФИО Белоногова Н.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 5125-4307
e-mail birman1947@mail.ru

ФИО Локштанов Б.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 4014-2820
e-mail blokshtanov@mail.ru

ФИО Кривоногова А.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 8399-6121
e-mail krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com

ФИО Соколова В.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 5116-5102
e-mail sokolova_vika@inbox.ru

ФИО Новикова М.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1952-4856
e-mail	masch-novikova@yandex.ru
ФИО	Сотникова М.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6861-8253
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Голубева А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2171-0637
e-mail	yeliseyef@yandex.ru

Энтомовредителями в лесном хозяйстве называются насекомые, способные наносить ущерб ведению лесного хозяйства, питающиеся клетками деревьев, ухудшающие качество растущей и заготовленной древесины, а наносимые ими повреждения представляют собой отверстия и канавки округлой формы и называются червоточинами. Чтобы избежать увеличения санитарной опасности в лесу, древесина, поврежденная энтомовредителями, должна своевременно убираться из насаждения и перерабатываться. Это позволит сократить затраты на ведение лесного хозяйства, позволит получать дополнительный объем древесины, развивать новые предприятия лесопромышленного комплекса, даст новый толчок развития лесной науки

Ключевые слова: короеды, пиломатериалы, санитарные рубки
УДК 630*811.2

Разделы рубрикатора ГРНТИ 68.47.43 Заготовка и переработка древесины в лесном хозяйстве

Максимальная сила при поперечном ударе цилиндрического деревянного тела по жесткой конструкции

Супонина Н.Ю., Фурин А.И.

Введение.

Рассмотрим поперечный удар деревянного цилиндрического тела о неподвижную жесткую опору конечной ширины. Это происходит при остановке упором движущегося на поперечном конвейере сортимента. Повышение производительности деревообрабатывающего оборудования требует повышения скорости подачи на обработку обрабатываемых заготовок.

При погрузочно-разгрузочных работах с хлыстами или сортиментами бывают случаи падения перемещаемого объекта на раму транспортной машины или стационарного накопительного устройства. При этом так же происходит удар деревянного объекта по металлической раме.

Цели и задачи.

При расчете на прочность конструкции необходимо знать величину наибольшей силы, возникающей при ударе. Применяемый в настоящее время инженерный метод расчета с определением динамического коэффициента дает очень приблизительные результаты. Данная работа посвящена определению максимальной силы при поперечном ударе круглого сортимента о стальную плоскость, ограниченной ширины и перпендикулярной оси движущегося сортимента. Знание величины этой силы необходимо для конструирования упоров на транспортерах и ограждающих устройств, обеспечивающих безопасность на лесосечных и погрузочно-разгрузочных работах, а также при транспортировке бревен.

Методика исследования.

Проведение опытов по определению ударных нагрузок сложно, а порой и невозможно осуществить. Герц [1] предположил, что статическая зависимость между силой и вызванной ею деформацией справедлива и в динамике. Это предположение подтверждено экспериментально В.В. Панферовым [2] при ударном сжатии деревянных образцов малых размеров. В работе [3] показано, что зависимость между силой и деформацией при изгибе при ударной и статической нагрузке одинакова. Предполагаем, что зависимость между силой и вызванной ею деформацией при поперечном сжатии круглого деревянного образца при статической и ударной нагрузке одинакова. Поэтому предлагаем заменить динамические опыты по определению ударных нагрузок на статические. Тогда для определения сил, возникающих при ударном приложении нагрузки, достаточно иметь зависимость между силой и деформацией, полученной при статическом сжатии.

Такие опыты по сжатию в радиальном направлении крупных круглых деревянных образцов были проведены А.И. Фуриным [4]. Образцы диаметром от 15 до 31 см сжимались с двух сторон стальными пластинами шириной от 3 до 15 см и при этом записывалась диаграмма зависимости сжимающей силы от деформации. Во всех опытах на диаграмме имеется два участка: участок

нагрузки и участок разгрузки. На первом участке имеет место линейная зависимость между исследуемыми факторами и ее можно записать:

$$F = b\alpha$$

где: b – коэффициент пропорциональности между деформацией и силой, зависящий от диаметра образца и ширины пластины, которая передает нагрузку на образец;

α – деформация образца в зоне контакта.

В действительности на диаграмме откладывается полная деформация, состоящая из местной в зоне контакта и общей деформации образца. Образцы во время опытов имели длину 80–100 см, длина образующей, по которой сжимались образцы в разы меньше. Поэтому общая поперечная деформация мала, ее величиной можно пренебречь по сравнению с величиной местной деформации и считать, что на диаграмме откладывается только местная деформация.

При ударе деформации происходят только на одной образующей ударяемого тела, а в опытах, проведенных А.И. Фуриным, деформированию подвергались две поверхности. Поэтому в приведенную формулу для определения ударной силы надо ввести поправку, а именно: коэффициент пропорциональности b умножить на два.

Величина контактной силы при ударе зависит от кинетической энергии ударяющего объекта, модулей упругости соударяемых тел, их формы в зоне контакта, а для древесины еще от породы и влажности. Будем рассматривать случай поперечного удара деревянного цилиндрического тела, для которого имеется зависимость между силой и деформацией, учитывающая все перечисленные факторы.

Кинетическая энергия E движущегося тела в момент начала контакта при ударе определяется по известной формуле

$$E = \frac{mV^2}{2},$$

где: m – масса движущегося тела;

V – скорость тела в начале удара.

В процессе соударения тел происходит местная деформация в зоне контакта. Процесс соударения делится на два этапа. На первом этапе тела сближаются, увеличивается деформация и, как следствие, увеличивается сила. При этом скорость движущегося тела уменьшается. Когда скорость становится равной нулю – деформация максимальна, максимальна и ударная сила. В дальнейшем скорость движущегося тела меняет направление на противоположное, деформация и сила уменьшаются. Процесс продолжается до тех пор, пока сила не станет равной нулю и тело начнет двигаться отдельно.

Величину максимальной ударной силы можно найти на основе известного закона сохранения энергии. Из него следует, кинетическая энергия движущегося тела E переходит в потенциальную энергию деформации тел. Для рассматриваемого случая общей деформацией ударяемого тела и энергией, затрачиваемой на эту деформацию можно пренебречь. Остается только энергия

местной деформации W , которая при линейной зависимости силы от деформации вычисляется по формуле

$$W = \frac{\alpha_{\max} F_{\max}}{2},$$

α_{\max} - максимальная местная деформация во время удара;

F_{\max} - максимальная контактная сила, действующая в процессе соударения.

Приравняв кинетическую энергию движущегося тела E и потенциальную энергию местной деформации в зоне контакта соударяемых тел W и сделав преобразования получаем

$$F_{\max} = V \sqrt{2mb}.$$

Результаты и обсуждение исследований.

Получена простая формула для определения максимальной силы при поперечном ударе круглого цилиндрического тела по неподвижной опоре. Из полученной формулы видно, что максимальная сила от скорости зависит линейно, а от массы ударяемого тела и параметра b связывающего силу и деформацию в степени $\frac{1}{2}$.

По данным [4] параметр b можно определить по эмпирической формуле

$$b = 2,3l - 0,019D^2 + 1,119D - 6,06.$$

Расчеты, выполненные по последней формуле показывают, что в рассматриваемом диапазоне диаметров ($D=15-31$ см) и длины линии контакта ($l=3-15$ см) величина параметра b увеличивается с увеличением независимых параметров (D и l). Удар становится более жестким, и величина максимальной силы увеличивается. В качестве примера вычислена величина максимальной силы при ударе свежеспиленного соснового бревна диаметром 20 см длиной 2 м движущегося со скоростью 1 м/с о неподвижную жесткую преграду при длине ее контакта с образующей бревна 5 см. Величина этой силы составляет $F_{\max} = 46,5$ кН.

Заключение и выводы.

Предложенная методика определения максимальной силы справедлива в случае, если ее линия действия проходит через центр масс движущегося тела. Если это условие не выполняется, то в процессе соударения тело совершает плоское движение, состоящее из поступательного и вращательного вокруг точки контакта. В этом случае приравнять кинетическую энергию движущегося тела и потенциальную энергию деформации нельзя, так как надо еще учитывать кинетическую энергию вращательного движения. Однако учет вращательного движения уменьшает величину максимальной силы и, следовательно, определение максимальной силы по предлагаемой методике идет в запас.

Для определения сил, возникающих при продольном ударе необходимо провести дополнительные статические опыты.

Библиографический список

1. Кильчевский Н.А. Теория соударения твердых тел. Киев. «Наукова думка», 1969, 246с.

2. Панферов К.В. Влияние скорости нагружения на прочность и деформативность древесины при смятии поперек волокон. В сб. Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций. Госстройиздат, 1952, с.68-79.

3. William L. James. Dynamic strength and elastic properties of wood. –Forest products journal”, USA, 1962, №6, v. 12, p. 253 -260.

4. Фурин А.И. О местных деформациях при поперечном сжатии круглого деревянного образца. –Межвуз. сб. науч. тр. ЛТА, 1975, вып. VI. «Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса», с.115 -116.

Сведения об авторах

ФИО	Супонина Н.Ю.	
Организация	Санкт-Петербургский	государственный
	лесотехнический университет имени С.М. Кирова	
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия	
SPIN-код		
e-mail	nadjasuponina@yandex.ru	
ФИО	Фурин А.И.	
Организация	Санкт-Петербургский	государственный
	лесотехнический университет имени С.М. Кирова	
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия	
SPIN-код	1652-1296	
e-mail	furinanatoliy@yandex.ru	

Аннотация

В данной статье дано обоснование полученной формулы для определения максимальной силы при поперечном ударе деревянного цилиндрического тела, которая может возникнуть при ударной остановке движущегося бревна на поперечном транспортере или при погрузочно-разгрузочных работах в случае падения на жесткую конструкцию перегружаемого сортимента. Получена зависимость максимальной силы удара от кинематических параметров движущегося тела, его геометрических характеристик и длины контактной линии соударения.

Применяемый в настоящее время инженерный метод расчета с определением динамического коэффициента дает очень приблизительные результаты. Полученная зависимость позволяет получить более точный результат при расчетах на прочность конструкций, воспринимающих удар.

Ключевые слова: Удар, максимальная сила, деформация, кинетическая энергия, нагрузка, бревно; force, stress, deformation, impact.

УДК 620.178.7

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21.

Оптимизация параметров технологического процесса сушки стружки при производстве древесностружечных плит

Шифрин Б.М., Елисеев И.В.

Введение.

С каждым годом все актуальнее становится вопрос о переработке отходов производства, об использовании вторсырья и низкокачественного сырья, не нашедшего применения в другом производстве. Всем этим требованиям отвечает производство древесностружечных плит (ДСтП).

ДСтП применяются в мебельной промышленности, строительстве, а также в других отраслях народного хозяйства. Они имеют ряд преимуществ перед другими древесными материалами. Для их получения используются низкокачественная древесина и отходы деревообрабатывающих; производств. В условиях переменной влажности размеры плит меняются незначительно. Существующие технологии позволяют получать плиты с одинаковыми и различными свойствами вдоль и поперек пласти (анизотропные и изотропные), с повышенной огнестойкостью и устойчивостью к действию дереворазрушающих грибов и насекомых-вредителей, пониженными показателями водо- и влагопоглощения [1].

На процесс прессования ДСтП оказывает решающее влияние влажность стружки. При высокой влажности стружки требуется повышенный расход тепла на превращение в пар влаги, находящейся в древесине, что связано с увеличением продолжительности прессования. Кроме того, повышенная влажность стружки приводит к образованию пузырей в плитах.

При недостаточной влажности стружки древесина как пористо-капиллярное тело поглощает значительное количество связующего, что приводит к уменьшению его на поверхности стружки и снижению прочности плит. Из-за невысокой пластичности слишком сухой стружки затрудняется ее упрессовка, вследствие чего требуется повышенное давление при прессовании и образуется пористая структура плит.

Неравномерность влажности стружки приводит к неравномерности толщины и плотности плит. Как показали исследования, отклонение влажности стружки всего лишь на 2% вызывает неравномерность толщины готовых плит 0,1 мм [2].

Цели и задачи.

В настоящее время осуществляются автоматический и ручной методы регулирования мощности горелки, управляющей сушкой. При этом в процесс автоматического регулирования, осуществляемый ПИД-регулятором, часто приходится вмешиваться операторам.

Дело в том, что применение таких регуляторов, а также различных моделей классической теории управления оказывается зачастую

неэффективным из-за большой нелинейности задачи, а также трудностей учета различных возмущений, например таких, как начальная влажность стружки.

При частом изменении влажности входящей стружки регулятор не успевает адекватно менять мощность горелки, в результате чего процесс становится неустойчивым: появляется неравномерность распределения влажности стружки; контур управления воздушной заслонки не успевает правильно настраивать подачу необходимого воздуха на горение, в результате чего происходит либо недожог топлива, либо нагрев лишнего воздуха. Все это приводит к большому потреблению топлива. Также в результате неправильного процесса горения газа появляются вредные выбросы в атмосферу типа CO, CO₂. Недожог топлива особенно опасен возможным последующим его взрывом. Из-за недожога пыли происходит загрязнение ею обмуровки горелки, дымоходов.

С другой стороны, с этой, непростой для классической теории управления задачей, легко справляется опытный оператор, не составляя и не решая сложных уравнений сушки стружки. Наблюдая за деятельностью оператора, можно заметить, что он управляет процессом на основе следующих действий. Если температура газов на выходе из сушилки начинает немного увеличиваться, то оператор немного снижает мощность горелки, спустя небольшое время запаздывания увеличение температуры прекращается. Если оператор снизил температуру очень правильно (пользуясь своим опытом), то температура медленно вернется в прежнее значение. Если температура газов на выходе начинает быстро увеличиваться, оператор сильно снижает мощность горелки, затем, заметив замедление в увеличении температуры газов на выходе, он начинает немного увеличивать мощность горелки, не дожидаясь того момента, пока температура упадет до необходимого уровня, так как если он начнет увеличивать мощность горелки только после того, как температура упадет до необходимого уровня, то температура будет опускаться ниже оптимального значения, что приведет к повышенной влажности стружки на выходе сушилки. Такая «разбалансировка» характерна для неопытных операторов и ПИД-регуляторов.

Оптимальным процессом сушки может управлять только опытный оператор, который, опираясь на свои знания и опыт, легко справляется с задачей регулирования.

Методика исследования.

В статье предлагается оптимизация системы управления сушилкой барабанного типа, который использует не только математические данные, но и знания операторов, записанные в правила. Метод основан на нечеткой логике, которая легко оперирует лингвистическими данными и показывает хорошие результаты при управлении сложными процессами в других отраслях промышленности [3].

К основам нечеткой логики относят понятия «нечеткое множество» и «лингвистическая переменная».

Нечеткое множество характеризуется непрерывной функцией принадлежности, которая может принимать любые промежуточные значения между 0 и 1. Лингвистической называют переменную, которая задана на

лингвистической шкале и принимает значения в виде слов и фраз естественного языка. Отдельное значение лингвистической переменной (или лингвистическое значение, терм) задается с помощью одной функции принадлежности, т.е. каждому терму соответствует нечеткое множество.

В качестве инструментария используем систему Matlab со встроенным пакетом Fuzzy Logic Toolbox, базовым понятием которого является FIS-структура – система нечеткого вывода (Fuzzy Inference System), содержащую все необходимые данные для реализации функционального отображения «входы-выходы».

Для разработки нечеткой модели управления используем метод косвенного контроля и прогнозирования влажности стружки на выходе сушильного агрегата. Выйдя на средний режим сушки для данного времени года, в лаборатории методом высушивания измеряется влажность стружки и, если есть отклонение от заданной влажности, меняется заданная температура газов на выходе из сушильного барабана. Далее при изменении температуры исходящих газов можно судить об увеличении или уменьшении влажности стружки на выходе из барабана. Например, если температура исходящих газов уменьшается, значит влажность стружки на выходе увеличивается, и наоборот. И, уже ориентируясь по температуре исходящих газов, можно принимать решение о снижении или увеличении мощности горелки.

Результаты и обсуждение исследований.

Таким образом, имеем две входные лингвистические переменные: «Температура газов на выходе из барабана» (T , °C), «Скорость изменения температуры на выходе из барабана» (dT , °C/мин) и одну выходную лингвистическую переменную: «Изменение мощности горелки» (dW , %) – рис. 1.

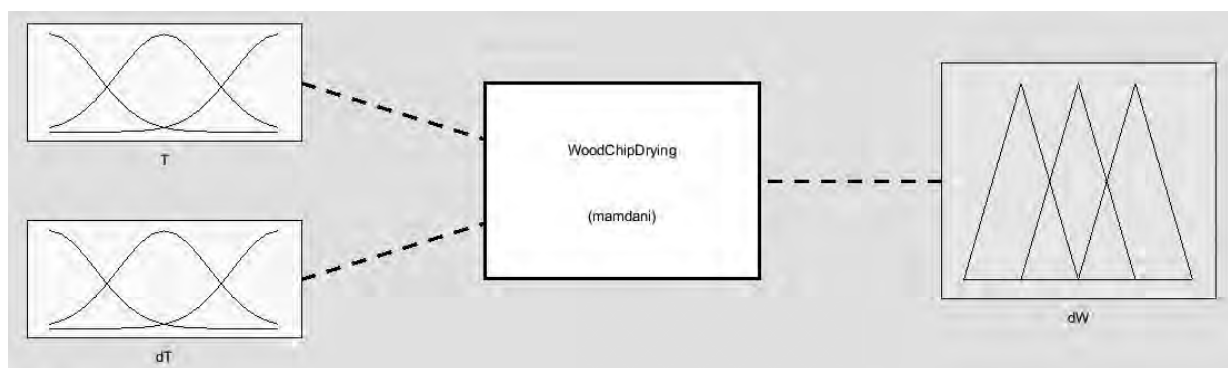


Рис. 1. Модель процесса сушки стружки на основе нечеткой логики

Построенные в Matlab функции принадлежности термов переменных приведены на рис. 2-4.

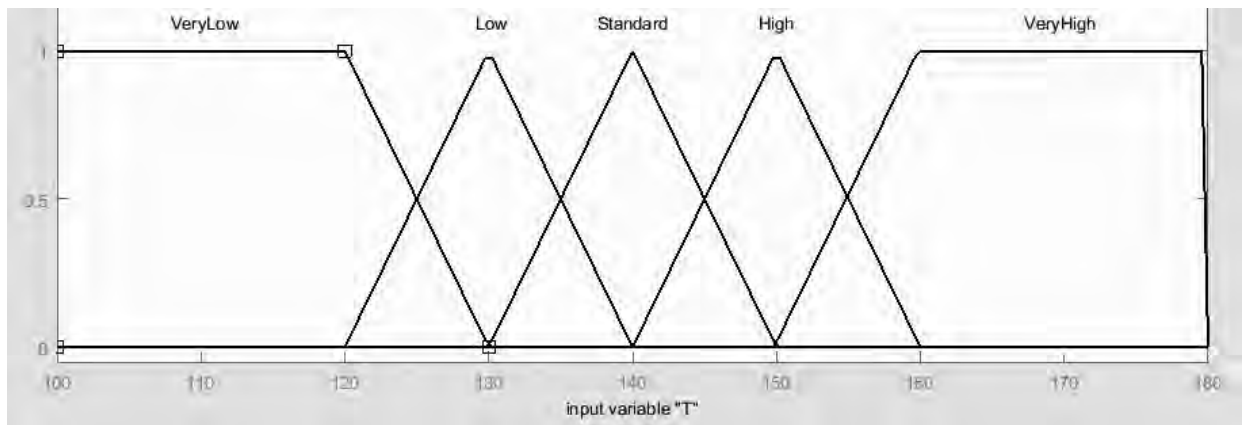


Рис. 2. Функции принадлежности входной переменной T

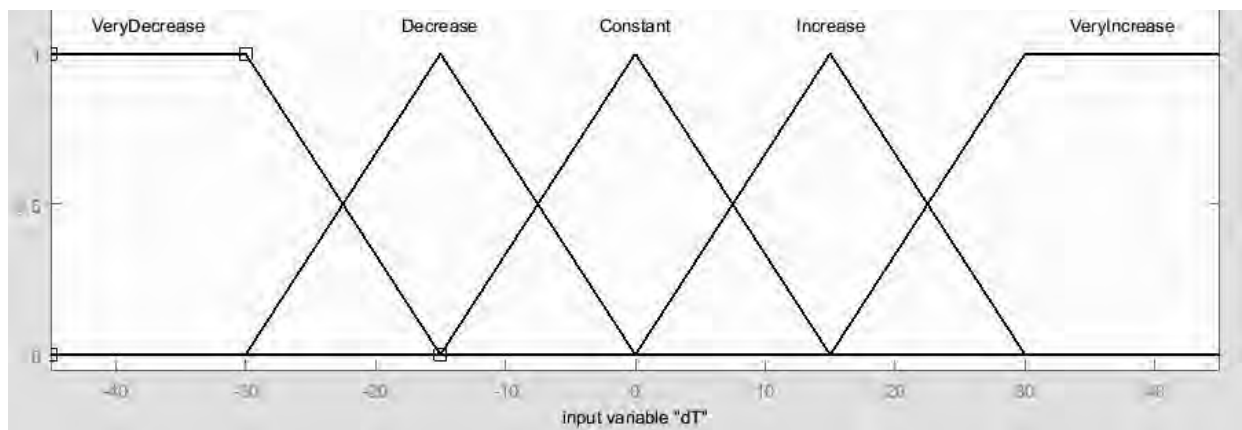


Рис. 3. Функции принадлежности входной переменной dT

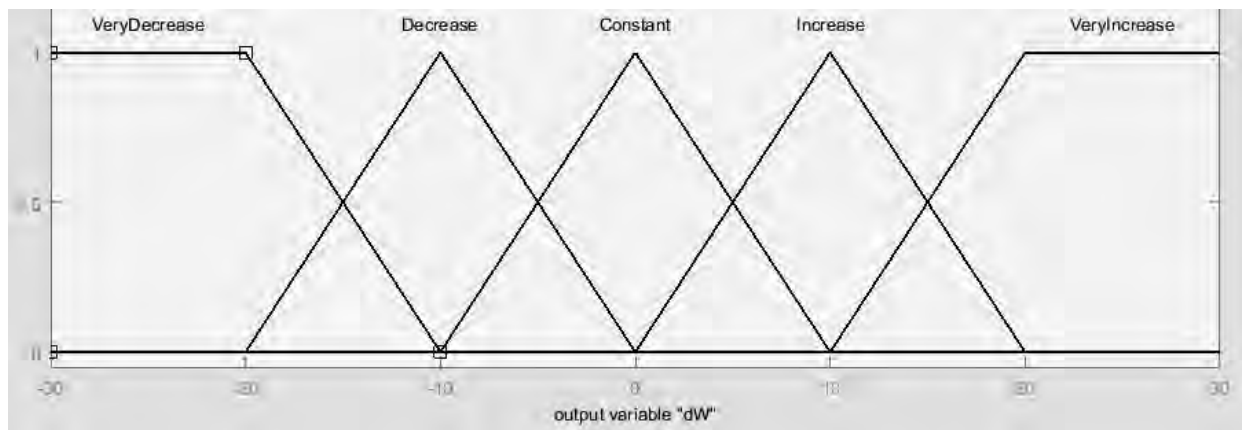


Рис. 4. Функции принадлежности выходной переменной dW

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме «Если – То» и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов.

Составленная на основании предложенного алгоритма управления и построенных функций принадлежности база правил приведена на рис. 5.

1. If (T is VeryLow) and (dT is VeryDecrease) then (dW is VeryIncrease) (1)
2. If (T is VeryLow) and (dT is Decrease) then (dW is VeryIncrease) (1)
3. If (T is VeryLow) and (dT is Constant) then (dW is Increase) (1)
4. If (T is VeryLow) and (dT is Increase) then (dW is Constant) (1)
5. If (T is VeryLow) and (dT is VeryIncrease) then (dW is Decrease) (1)
6. If (T is Low) and (dT is VeryDecrease) then (dW is Increase) (1)
7. If (T is Low) and (dT is Constant) then (dW is Increase) (1)
8. If (T is Low) and (dT is Increase) then (dW is Constant) (1)
9. If (T is Low) and (dT is Decrease) then (dW is Increase) (1)
10. If (T is Low) and (dT is VeryIncrease) then (dW is Decrease) (1)
11. If (T is Standard) and (dT is VeryDecrease) then (dW is VeryIncrease) (1)
12. If (T is Standard) and (dT is Decrease) then (dW is Increase) (1)
13. If (T is Standard) and (dT is Constant) then (dW is Constant) (1)
14. If (T is Standard) and (dT is Increase) then (dW is Decrease) (1)
15. If (T is Standard) and (dT is VeryIncrease) then (dW is VeryDecrease) (1)
16. If (T is High) and (dT is VeryDecrease) then (dW is Increase) (1)
17. If (T is High) and (dT is Decrease) then (dW is Constant) (1)
18. If (T is High) and (dT is Constant) then (dW is Decrease) (1)
19. If (T is High) and (dT is Increase) then (dW is Decrease) (1)
20. If (T is High) and (dT is VeryIncrease) then (dW is VeryDecrease) (1)
21. If (T is VeryHigh) and (dT is VeryDecrease) then (dW is Increase) (1)
22. If (T is VeryHigh) and (dT is Decrease) then (dW is Constant) (1)
23. If (T is VeryHigh) and (dT is Constant) then (dW is Decrease) (1)
24. If (T is VeryHigh) and (dT is Increase) then (dW is VeryDecrease) (1)
25. If (T is VeryHigh) and (dT is VeryIncrease) then (dW is VeryDecrease) (1)

Рис. 5. База правил

Средствами FIS Editor построим пример поверхности «вход-выход», соответствующей синтезируемой нечеткой системе (рис. 6).

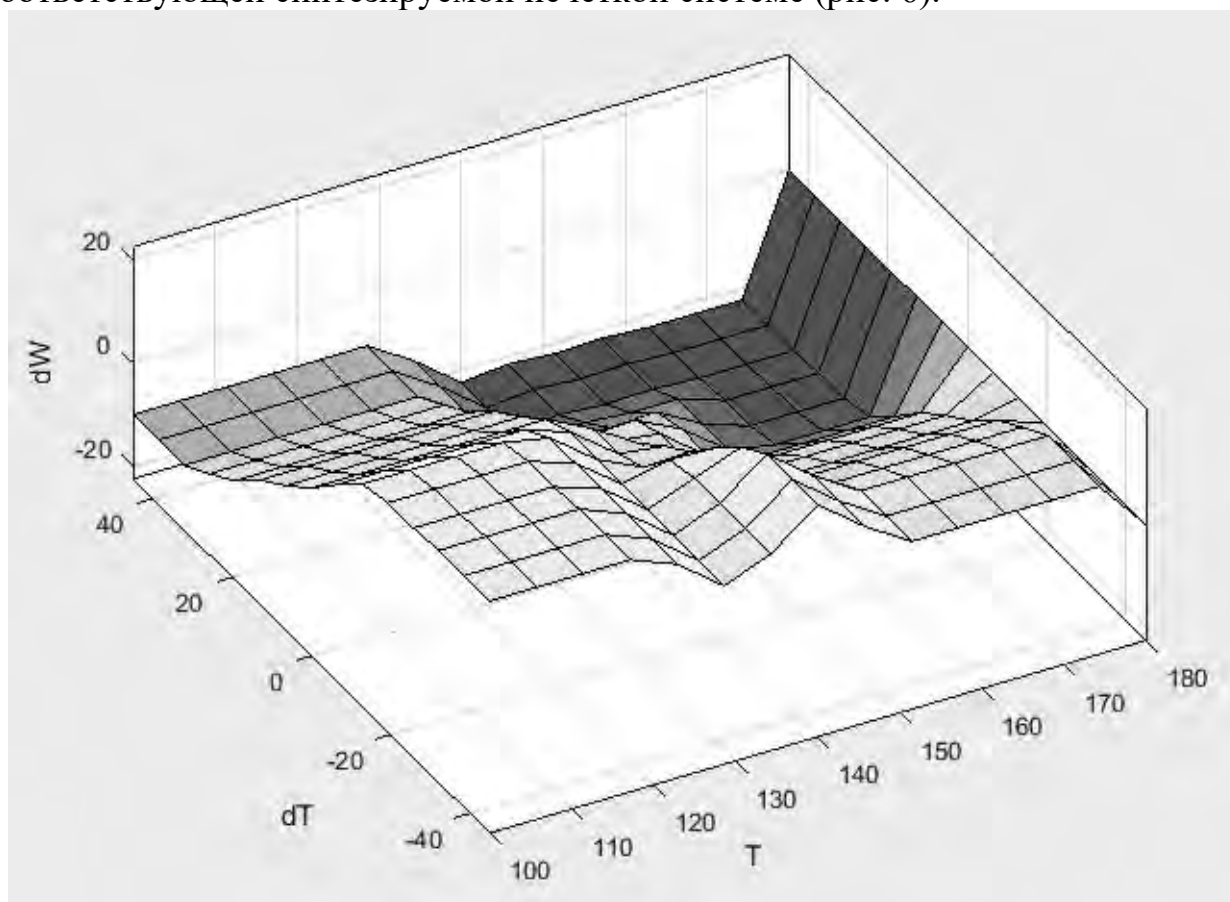


Рис. 6. Зависимость выходной переменной dW от входных переменных T и dT

Тестирование построенной модели заключается в задании значений входных переменных в окне Rule Viewer (рис. 7). При этом искомым итог рассчитывается программой посредством дефаззификации. Из рис. 7 видно, что при значении температуры газов на выходе из барабана $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ и уменьшении температуры на выходе из барабана со скоростью $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ мощность горелки нужно увеличить примерно на 3%. Полученные на модели результаты соответствуют практике.

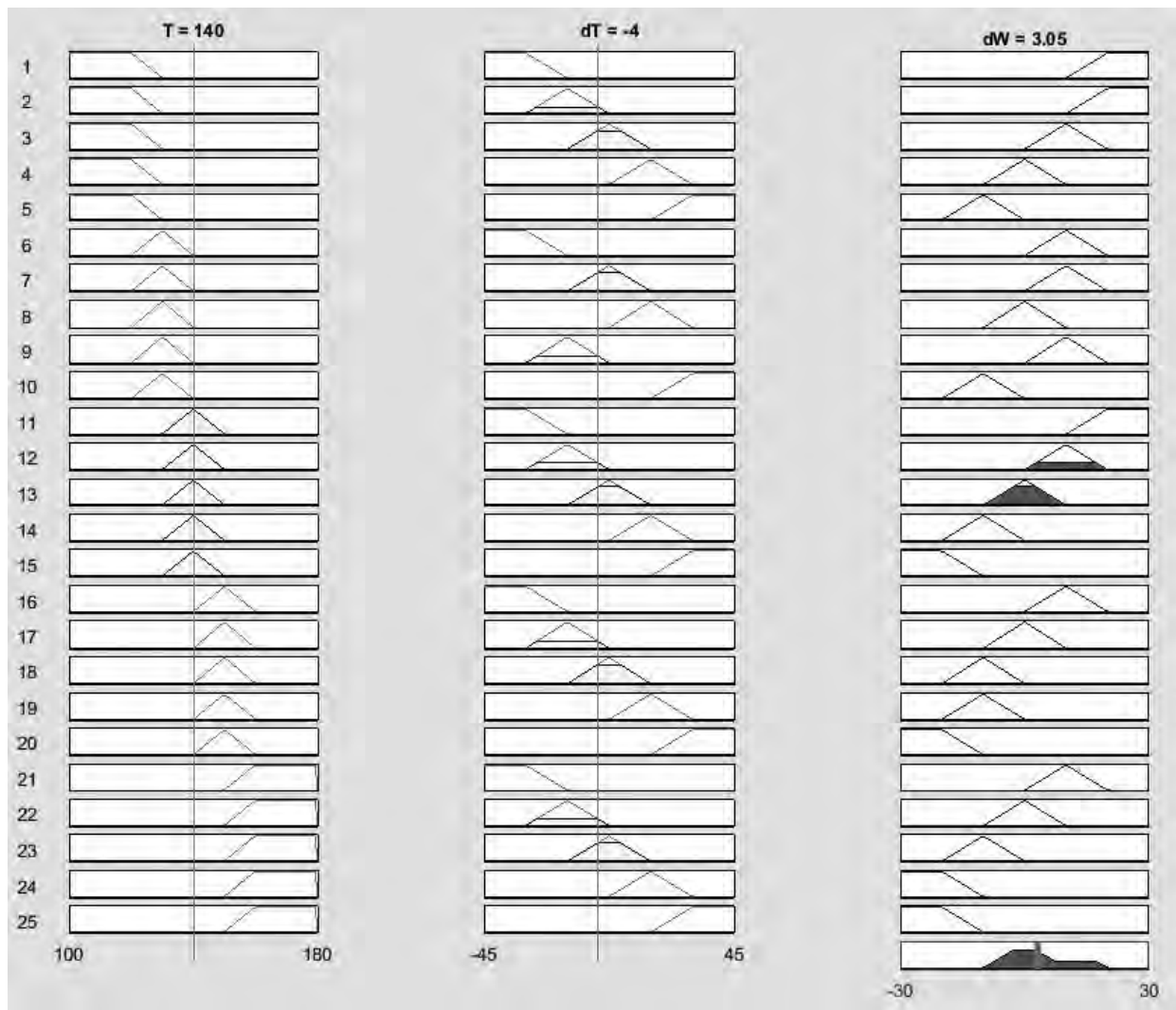


Рис. 7. Тестирование построенной модели

Заключение и выводы.

Таким образом, в данной статье предлагается подход к разработке модели сушки стружки на базе нечеткой логики. Модель построена и протестирована для двух основных факторов: значения выходной температуры и скорости ее изменения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на увеличение количества учитываемых факторов, сбор статистической и экспертной информации для построения функций принадлежности лингвистических

переменных и формирования базы правил, связывающих входные и выходные переменные.

Предлагаемая система управления может обеспечить повышение физико-механических показателей ДСтП, уменьшение количества брака, экономию топлива, повышение производительности труда, экономию на персонале, уменьшение вредных выбросов в атмосферу, уменьшение износа сушильного оборудования, повышение взрыво- и пожаробезопасности.

Библиографический список

1. *Шварцман Г.М., Щедро Д.А.* Производство древесно-стружечных плит. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Лесная промышленность, 1987. 319 с.
2. *Волынский В.Н.* Технология стружечных и волокнистых плит: учеб. пособие для ВУЗов. Таллин: Дезидирата, 2004. 192 с.
3. *Шеховцов О.И., Шифрин Б.М.* Разработка модели управления варочной установкой на основе нечеткой логики // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". 2008. Вып. 1. С. 8-14.

Сведения об авторах

ФИО Шифрин Б.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 5125-4307
e-mail shifrinb@mail.ru

ФИО Елисеев И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 4541-3386
e-mail yeliseyef@yandex.ru

Аннотация

Предложен подход к оптимизации параметров технологического процесса сушки стружки при производстве древесностружечных плит на основе нечеткой логики с помощью метода косвенного контроля и прогнозирования влажности стружки на выходе сушильного агрегата. Подход является альтернативным по отношению к применению ПИД-регуляторов и различных моделей классической теории управления, которые зачастую оказываются неэффективными из-за большой нелинейности задачи, а также трудностей учета различных возмущений.

Ключевые слова: древесностружечные плиты, ДСтП, нечеткая логика, сушка стружки.

УДК 674.815

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.17 Сушка древесины

Оптимизация процесса раскроя необрезных пиломатериалов

Елисеев И.В., Шифрин Б.М.

Введение.

По данным «Дерево.ru» в общем объеме продукции, выпускаемой деревообрабатывающими предприятиями, от 15 до 80% могут составлять обезличенные пиломатериалы, в основном необрезные доски. Повышение эффективности лесопиления заключается в рациональной переработке некондиционного отпада и короткомерных пиломатериалов путем раскроя их с последующим склеиванием, а также, что наиболее важно, путем оптимизации раскроя необрезных пиломатериалов, что позволяет увеличивать выход готовой продукции без затрат на дополнительную обработку.

При визуальном контроле ширины пласти и ручном управлении процессом обработки выход чистообрезных пиломатериалов в среднем может составить около 80%. Оптимизация раскроя необрезных досок с помощью измерительных камер и управляющего компьютера позволяет увеличить выход чистообрезных пиломатериалов до 90-92% от теоретически возможного [1].

Можно выделить две основные причины, приводящие к потерям выхода при обработке кромок на обрезных станках с визуальной оценкой ширины необрезной доски и ручным вводом информации:

- ошибки при назначении ширины выпиливаемой доски;
- неправильное ориентирование доски по пилам перед поступлением в станок.

Для обеспечения рациональной обработки кромок у необрезных досок необходимо выполнить следующие требования [2]:

- повышение производительности выхода готовой продукции;
- экономия материальных ресурсов (сохранение леса);
- надежность выбранной системы автоматизации процесса раскроя;
- обеспечение требуемого уровня безопасности.

На основании выше приведенных требований можно сформулировать следующий алгоритм автоматизации обрезного станка:

- обеспечить поштучное ориентированное поступление досок к обрезному станку;
- автоматизировать установку каждой необрезной доски по оси просвета и ее посылку в станок;
- измерять ширину и площадь верхней пласти доски с помощью специальных измерительных устройств;
- реализовать алгоритм поиска оптимальной ширины доски с помощью управляющего контроллера;

Цели и задачи.

Целью данной работы является разработка модели оптимизации при раскрое пиломатериалов с учетом максимально возможного выхода.

В работе рассматривается и решается задача выбора группы пил из назначенного постава многопильного обрезающего станка для получения наибольшего процентного выхода досок при раскрое. Для решения поставленной задачи необходимо:

- произвести анализ технологического процесса производства клееных изделий из массивной древесины и выявления технологических факторов, влияющих на качество и объем выхода готовой продукции;
- разработать модель оптимизации распиловки досок многопильным станком;
- представить вариант программной реализации модели в MS Excel.

Результаты и обсуждение исследований.

Согласно [3] в общем виде задачу математического программирования можно записать следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{ЦФ} \quad F = f(x_j) \rightarrow \max(\min, \text{const}) \\
 \quad \quad g_1(x_j) \leq (=; \geq) b_1 \\
 \quad \quad \dots \\
 \text{ОГР} \quad g_i(x_j) \leq (=; \geq) b_i \\
 \quad \quad \dots \\
 \text{ГРУ} \quad g_m(x_j) \leq (=; \geq) b_m \\
 \quad \quad d_j \leq x_j \leq D_j; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}
 \end{array} \right\} \quad (1)$$

Систему (1) принято записывать более компактно:

$$\left. \begin{array}{l}
 F = f(x_j) \rightarrow \max \\
 g_i(x_j) \leq b_i \\
 d_j \leq x_j \leq D_j \\
 i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}
 \end{array} \right\} \quad (2)$$

В модель (1), как и в (2), входят три составляющие:

1. **ЦФ** – целевая функция или критерий оптимизации, показывает, в каком смысле решение должно быть оптимальным, т.е. наилучшим. При этом возможны 3 вида назначения целевой функции:

- максимизация;
- минимизация;
- назначение заданного значения.

2. **ОГР** – ограничения устанавливают зависимость между переменными.

Могут быть как односторонними, например:

$$g_i(x_j) \leq b_i, \quad (3)$$

так и двойными

$$a_i \leq g_i(x_j) \leq b_i$$

При решении задачи оптимизации с помощью Excel такое двустороннее ограничение записывается в виде односторонних.

3. ГРУ – граничные условия показывают, в каких пределах могут быть значения искомым переменных в оптимальном решении.

Произведем выбор наиболее подходящей группы из установленного постава в многопильном обрезающем станке для получения максимального выхода пиломатериала из необрезной доски шириной 275 мм.

Параметры, входящие в структуру модели:

x_i - ширина i -ой группа пил из постава, мм

b_i - припуски на механическую обработку для i -ой группы пил, мм

a_i - припуск на величину пропила для i -ой группы пил, мм

B - измеренная ширина необрезной доски, мм

Задачей оптимизации, в нашем случае, является перебор возможных вариантов выбора групп пил из заданного постава, чтобы получить максимальный выход готовой продукции. Данная задача является задачей целочисленного программирования с использованием дискретных булевых переменных δ_i . За целевую функцию принимается максимизация выхода пиломатериала при раскрое необрезной доски. Кроме того, следует ввести ограничения снизу на выход пиломатериала при раскрое необрезной доски (обязательное условие задачи оптимизации), на число выпиливаемых досок, а также условие единственности решения.

На основании вышесказанного можно сформулировать следующую модель оптимизации:

$$\begin{cases} \sum (x_i + b_i) \cdot \delta_i \rightarrow \max \\ \sum (x_i + b_i + a_i) \cdot \delta_i \leq B \\ \sum \delta_i = 1 \\ i = \overline{1, m} \end{cases}, \quad (4)$$

где m – возможные варианты ширин выпиливаемых досок.

В соответствии с выбранными размерами заготовок и ширин необрезных досок выбираем постав 57-67-75-80-115 и в результате получаем следующие варианты групп пил (табл.1)

Решение задачи осуществим в среде MS Excel [4]. При раскрое необрезной доски с измеренной шириной 275мм оптимальным оказался постав группы пил 72-80-85, относительный выход составил 86,18%.

Табл.1

№ варианта	Постав групп пил
1	62
2	72
3	80

4	85
5	121
6	62-72
7	72-80
8	80-85
9	85-121
10	62-72-80
11	72-80-85
12	80-85-121
13	62-72-80-85
14	72-80-85-121
15	62-72-80-85-121

Анализ проведенного решения

Задаваясь различными ширинами необрезной доски, получим массив процентного выхода досок при раскросе, представленный в табл. 2.

Табл. 2

ширина узкого торца необрезной доски, мм	выпиливаемая ширина, мм	относительный выход, %	постав
75	62	82,67	62
125	85	68,00	85
150	134	89,33	62-72
175	152	86,86	72-80
200	165	82,50	80-85
225	206	91,56	85-121
250	214	85,60	62-72-80
275	237	86,18	72-80-85

На основании приведенного на рис. 1 графика видно, что для необрезной доски рассматриваемых ширин процентный выход готовой продукции в некоторых случаях составляет более 90%, что говорит о приемлемости модели оптимизации.

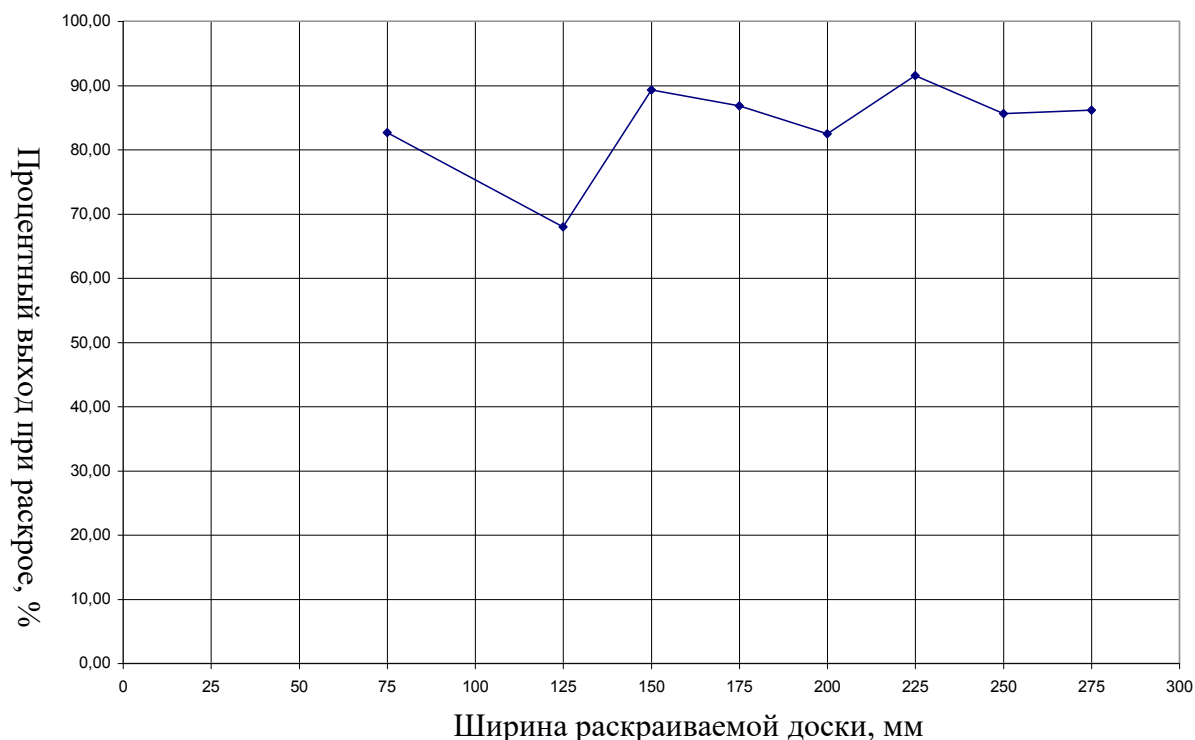


Рис. 1. Разброс процентного выхода продукции из необрезной доски разной ширины

Заключение и выводы.

В результате была получена модель поиска оптимальной группы пил в назначенном поставе для получения максимального выхода обрезных досок. Одним из вариантов развития данного направления задач оптимизации является дальнейшее развитие системы автоматизированного сканирования пласти доски, что позволит автоматизировать операции учета картины дефектов пласти необрезной доски, учета ценностных зон досок и назначения ценностных коэффициентов, а это в свою очередь позволит использовать в качестве критерия оптимизации не максимальный выход по площади, а максимальный ценностный выход.

В дальнейшем разработанная модель оптимизации раскроя может быть адаптирована для решения задачи в случае, когда обрезной станок оборудован системой перемещения пил.

Библиографический список

1. *Волынский В.Н., Пластилин С.Н.* Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях. М, «Риэл-пресс». 2005г. – 256с.
2. *Амалицкий В.В.* Деревообрабатывающие станки и инструменты. М., ИРПО. «Академия», 2002. – 400с.
3. *Кузнецов Ю.Н., Кузубов В.И., Волощенко А.Б.* Математическое программирование. – М.: Высшая школа, 1980. – 300 с.
4. *Минько А.А.* Принятие решений с помощью Excel. Просто как дважды два / А.А. Минько – М.:Эксмо, 2007. – 240 с.

Сведения об авторах

ФИО Шифрин Б.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 5125-4307
e-mail shifrinb@mail.ru

ФИО Елисеев И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 4541-3386
e-mail yeliseyef@yandex.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается модель оптимизации процесса продольного раскроя необрезных пиломатериалов в рамках технологического процесса производства клееных изделий из древесины. Рассмотрены теоретические основы решения задач оптимизации. Также приведены алгоритмы поиска оптимального поставка раскроя необрезных пиломатериалов на многопильных обрезных станках, представлены результаты их реализации.

Ключевые слова: необрезные доски, оптимизация раскроя пиломатериалов, модель, целочисленное программирование, постав, многопильный обрезной станок, поиск решения.

УДК 674-413

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21 Механическая обработка древесины.

3. ЛЕСОСЕЧНЫЕ РАБОТЫ

Анализ влияния стажа работы оператора на производительность харвестера

Андронов А.В., Пегов В.Ю.

Введение.

Основными причинами низкой производительности современных высокотехнологичных лесозаготовительных машин на территории РФ выступают: почвы с низкими несущими способностями, климатические особенности, следствием которых является длительная весенне-осенняя распутица последние годы, неухоженные древостои, большая доля лиственных перестойных деревьев [1]. Однако актуальным остается человеческий фактор, поэтому, очевидно, что для достижения высоких показателей производительности, нужна соответствующая подготовка оператора, от которой и будет зависеть высокая производительность лесозаготовительной машины (ЛЗМ).

Цели и задачи.

Главной целью работы является анализ работы харвестера с учетом квалификации оператора, а именно: выявление зависимости производительности лесной машины от других параметров.

Методика исследования.

В качестве методов исследования выступили проанализированные различные данные: теоретические, фактические и экспериментальные. Последними стали опубликованные экспериментальные данные о производительности работы валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины на территории республики Коми.

Результаты и обсуждение исследований.

Путем математического расчета авторы статьи [2] утверждают, что производительность харвестера напрямую зависит от объема хлыста и времени цикла. Важным условием, при этом, выступает количество пропилов на хлысте.

В основу фактических данных легли итоговые характеристики работы машин, работающих на территории Вологодской области, снятые и обработанные при помощи программы «TimberLink». Сравнительный анализ работы нескольких операторов позволил установить нелинейную зависимость производительности лесозаготовительной машины от среднего объема ствола (рис. 1). Данное заключение опровергает математические расчеты, т.к. некоторые операторы, работавшие с меньшим объемом ствола, существенно опережают своих коллег по показателям общей производительности.

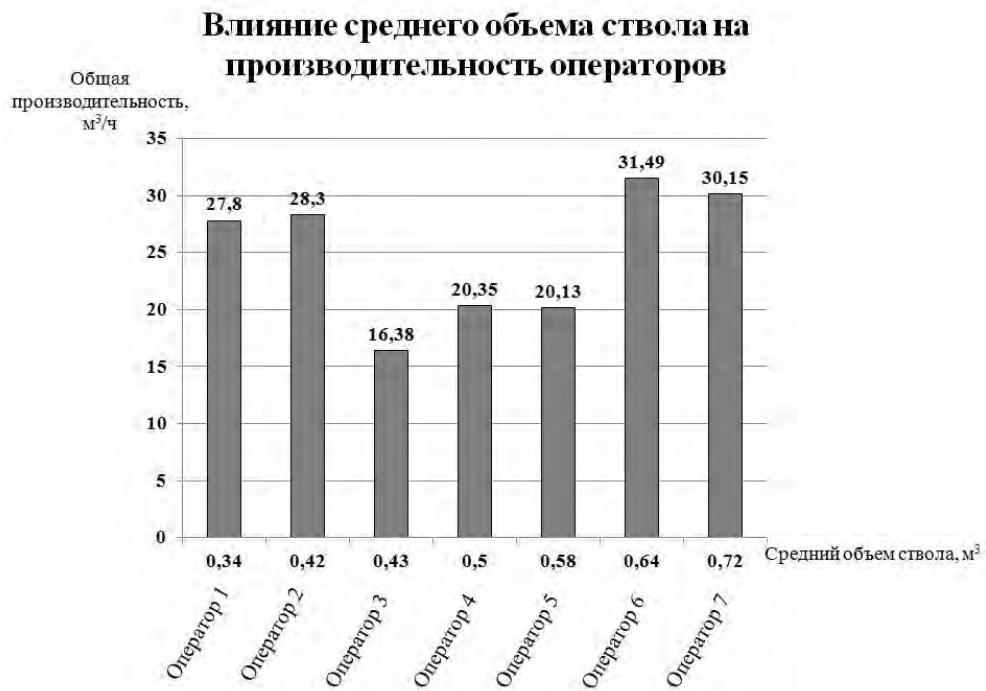
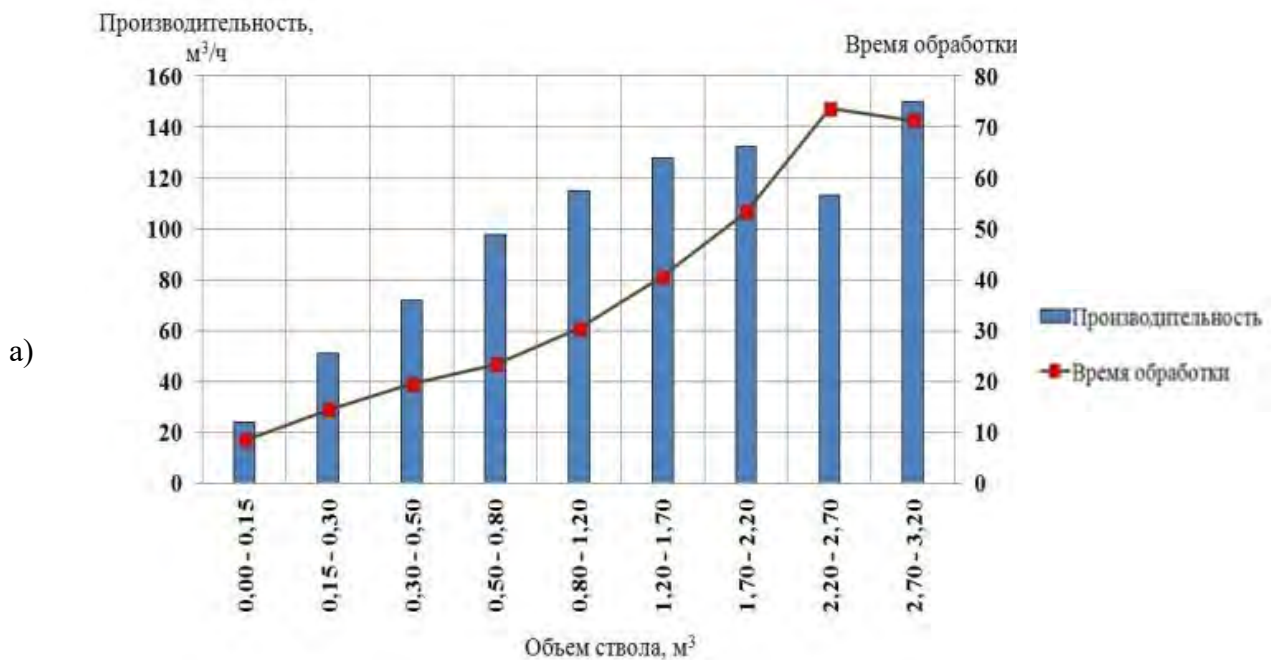


Рис 1. Влияние среднего объема ствола на производительность операторов

С целью дальнейшего анализа было произведено сравнение двух операторов: с самым высоким уровнем производительности и самым низким (далее оператор А и оператор Б) (рис. 2 а,б).



б)

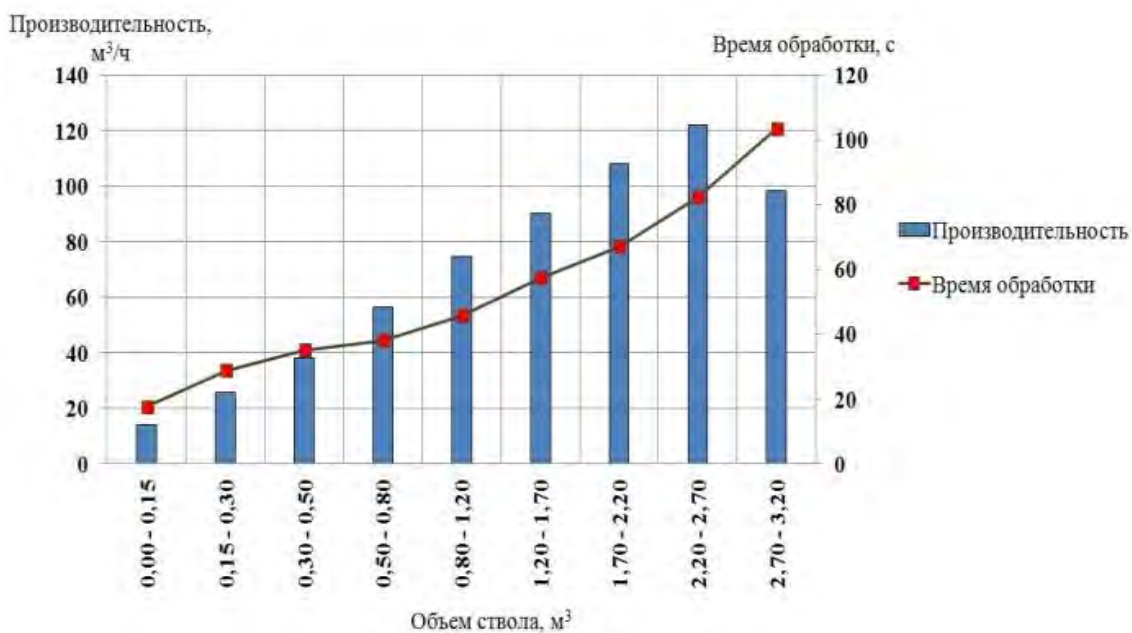
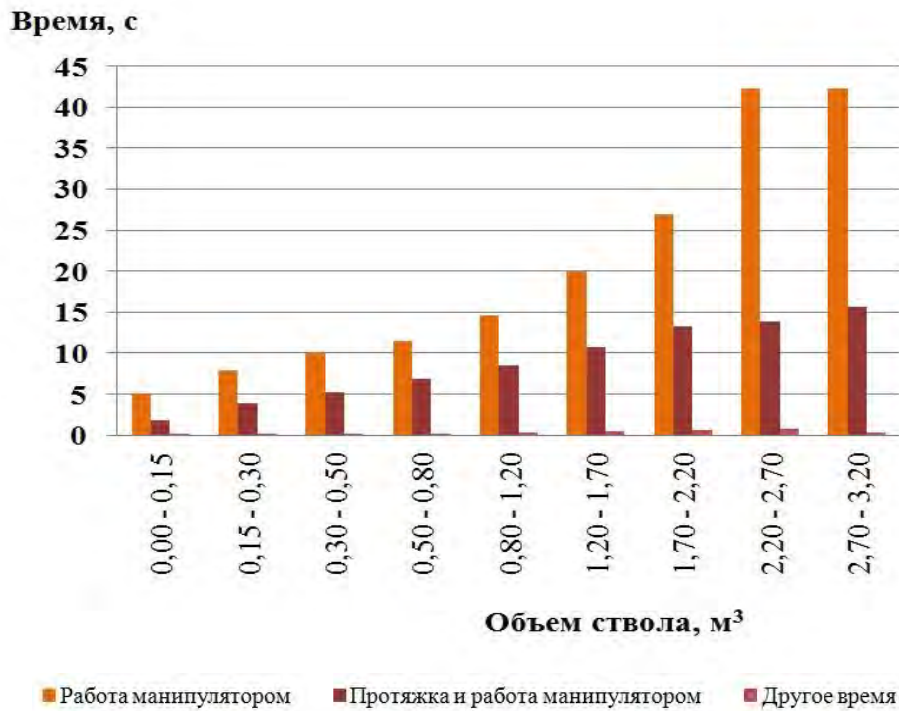


Рис 2. Влияние объема ствола на производительность и время обработки:
а) – оператор А б) – оператор Б

Оператор Б затрачивает много времени на работу с хлыстом в диапазоне от 0 до 0,50 м³. В диапазоне от 0,8 до 2,2 м³ оба оператора имеют стабильное повышение показателей производительности. При этом у обоих отмечается низкий прирост производительности при увеличивающихся временных затратах на обработку.

Для более точного изучения вопроса влияния объема ствола на время обработки были учтены отдельные операции, такие как: работа манипулятором, протяжка и работа манипулятором, другое время. Операторы те же, данные представлены на графике на рис. 3.

Данные говорят о стабильном возрастании времени на работу манипулятором по отношению к объему ствола у обоих операторов. Однако, оператор Б на данный вид операции затрачивает в среднем на 15 секунд больше, что может быть следствием либо более точного позиционирования хлыста перед раскряжевкой на сортименты, либо неправильной валки с последующей неэффективной обработкой.



а)



б)

Рис. 3 Влияние объема ствола на время обработки отдельных операций: а) - оператор А; б) - оператор Б

Вышеизложенные данные говорят о непосредственном значении квалификации оператора при работе на харвестере.

Экспериментальные данные подтверждают значимость стажа работы оператора для получения высокой производительности лесозаготовительной машины (рис. 4).

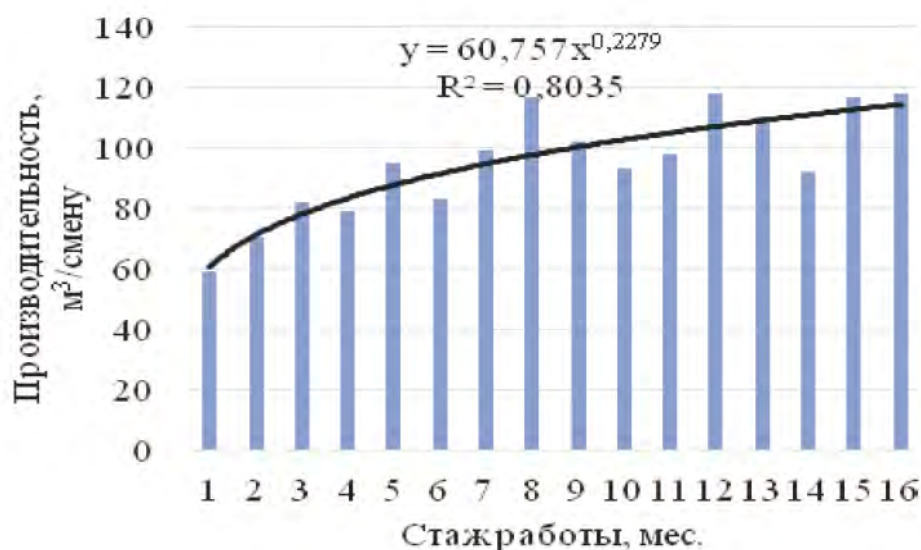


Рис. 4. Зависимость средней выработки от стажа работы оператора харвестера

При анализе данного графика можно говорить о выходе на уровень выработки 90% к началу 9 месяца. Максимальная выработка достигается к 13 месяцу работы и далее остается примерно постоянной величиной, при этом операторы совершенствовали свои навыки без отрыва от производства [3]. Это, в частности, значит, что существует определенный срок, в течение которого отмечается повышение производительности оператора харвестера. Кривая изменения производительности может также быть описана стилизованным графиком (рис. 5).

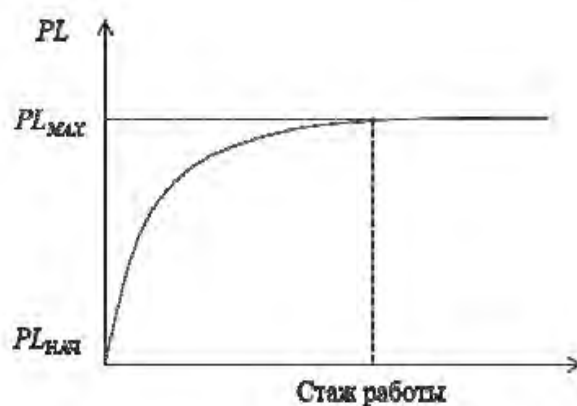


Рис. 5. Стилизованный график зависимости уровня производительности оператора харвестера от стажа работы

Заключение и выводы.

Анализ вышеизложенного свидетельствует о возможности выведения ряда закономерностей, как-то:

- 1) Производительность харвестера напрямую не зависит от среднего размера ствола;
- 2) Производительность зависит от времени, которое оператор затрачивает на выполнение вспомогательных операций;

3) Временные затраты работы оператора обусловлены его низкой квалификацией.

Библиографический список

1. *Мохирев А.П.* Тренажеры-симуляторы лесозаготовительных машин при подготовке квалифицированных кадров / А.П. Мохирев // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянская государственная инженерно-технологическая академия. Брянск, 2014 -№40. - С. 12-15.
2. *Свойкин В.Ф., Молчанова А.А.* Исследование производительности лесных машин / В.Ф. Свойкин, А.А. Молчанова // Научно-практическая конференция «Февральские чтения», Сыктывкарский лесной институт. Сыктывкар, 2014 - С. 370-373.
3. *Дмитриева М.Н., Григорьев И.В., Дмитриева И.Н., Степанищева М.В.* Анализ общих закономерностей влияния стажа работы оператора на производительность технологического процесса производства сортиментов с использованием харвестера / М.Н. Дмитриева, И.В. Григорьев, И.Н. Дмитриева, М.В. Степанищева // СИСТЕМЫ. МЕТОДЫ. ТЕХНОЛОГИИ. Братский государственный университет. Братск, 2015 -№25. -С. 157-161

Сведения об авторах

ФИО	Андронов Александр Вячеславович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8345-3722
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Пегов Владимир Юрьевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2769-3819
e-mail	Vladimir.pegov95@yandex.ru

Аннотация

В статье исследуется вопрос об установлении зависимости между стажем работы оператора харвестера и производительностью машины. В ходе работы проведен комплексный анализ различных данных. Сравнение двух операторов: с высокой и низкой квалификацией, позволяет в полной мере оценить отдельные параметры и их влияние на работу машины. Экспериментальные данные дают подтверждение о проведенном исследовании и подлинность суждений. На основании полученных результатов выделяется ряд закономерностей, который в перспективе может послужить поводом для более детальных исследований.

Ключевые слова: харвестер, оператор харвестера, стаж работы, квалификация, harvester, harvester operator, work experience, qualification

УДК 62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.17

Производство топливной щепы из лесосечных отходов при сортиментном способе лесозаготовки

Гущин И.Д., Локштанов Б.М., Бирман А.Р., Кривоногова А.С.

Введение.

В данной статье рассматривается сортиментная технология заготовки древесины, которая получает все большее распространение в мировой практике лесозаготовок, в том числе и в России. В настоящее время доля сортиментной заготовки составляет - 30%. На Северо-Западе России доля сортиментного метода заготовки достигает 90%, что обусловлено небольшими размерами делянок. Сортиментная технология известна давно, но с появлением современных высокопроизводительных машин (рис. 1) эта технология вытесняет другие виды лесозаготовок.

Цели и задачи

Ежегодно объём лесозаготовок в России составляет 206 млн. м³. Количество лесосечных отходов составляет от 20 до 25 %, но так как на укрепление волоков при прохождении лесозаготовительной техники уходит почти половина, доступные лесосечные отходы составляют от 10 до 15 % от объёма заготавливаемой древесины.

Уборка лесосечных отходов представляет большую сложность. Так как они разбросаны по лесосеке, основная цель заключается в разработке технологии сбора лесосечных отходов и производство щепы.

Существуют рубительные машины различных типов. Так как их производительность составляет не менее 15 пл. м³/ч, необходимо чтобы лесосечные отходы были сосредоточены в одном месте.



Рис. 1. Вид рубительной машины Bruks 805.2 STC

Лесосечные отходы образуются при лесозаготовках и зависят как от состава древостоя, бонитета, способа заготовок древесины, так и от почвенно-климатических показателей и от времени года заготовок.

К лесосечным отходам относятся:

- Ветки и сучья (9-12%).
- Вершина (7-10%).
- Мелкие деревья (не превышают 5 %).
- Кустарники (1,5-2,0%).
- Надломленные деревья (2-3%).

Методика исследования.

При сортиментной заготовке леса отходы разбросаны по всей пасеке. Сбор и трелёвка их к рубительной машине может осуществляться по двум вариантам:

1. Сбор и трелёвка древесных отходов до пункта погрузки осуществляется форвардером (рис. 2).

2. Форвардер осуществляет сбор и трелёвку до специальной площадки (терминала) (рис. 3).

Первый вариант подразумевает перемещение рубительной машины между пунктами погрузки. При расчёте собранных отходов одной бригадой за смену 80 м^3 , время на переработку составит 1 час. Перемещение между пунктами погрузки составит примерно 1 час. Значит при работе 5 бригад, общее время на переработку лесосечных отходов составит 10 часов.

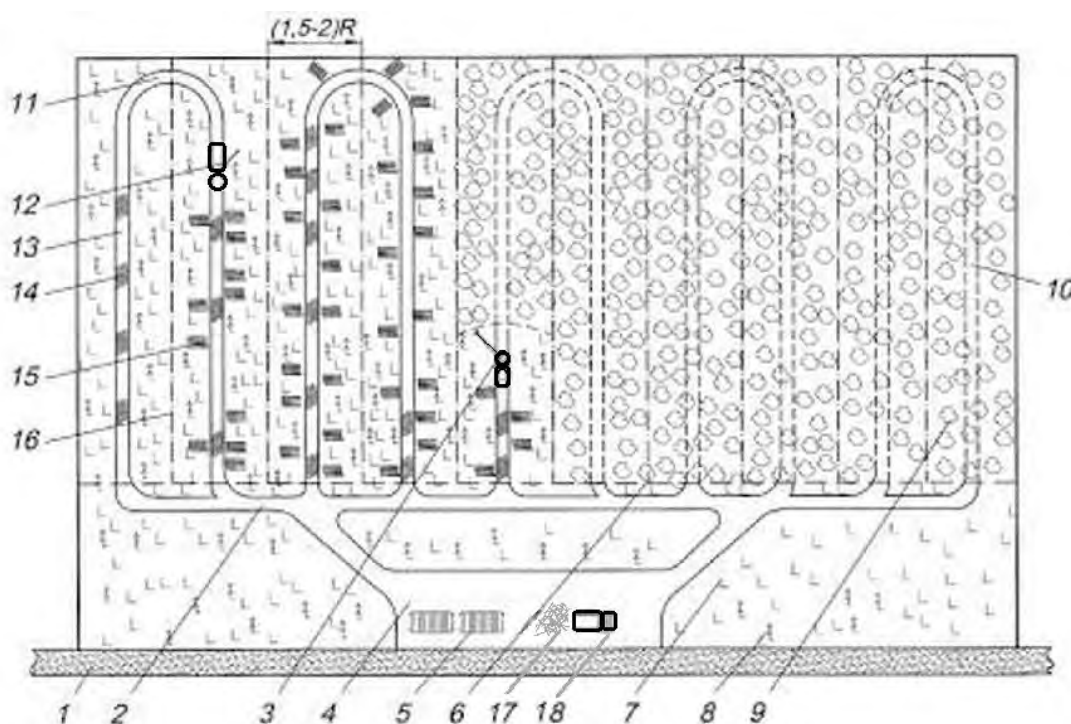


Рис. 2. Схема разработки пасеки:

1 – лесовозный ус; 2 – магистральный волок; 3 – харвестер; 4 – погрузочный пункт; 5 – штабель сортиментов; 6 – граница зоны безопасности; 7 – пни; 8 – сохраненный подрост; 9 – насаждения до рубки; 10 – насаждение с подростом до рубки; 11 – разворотное кольцо; 12 –

форвардер; 13 – пасечный технологический коридор; 14 – порубочные остатки; 15 – пачки сортиментов; 16 – граница пасек; 17 – лесосечные отходы; 18 – рубительная машина.

При создании терминала в 3-4 км. от бригад, все отходы будут сосредотачиваться в одном месте. При тех же объёмах собранных лесосечных отходов за смену мы сможем использовать более производительную рубительную машину, которой понадобится на рубку 4 часа.

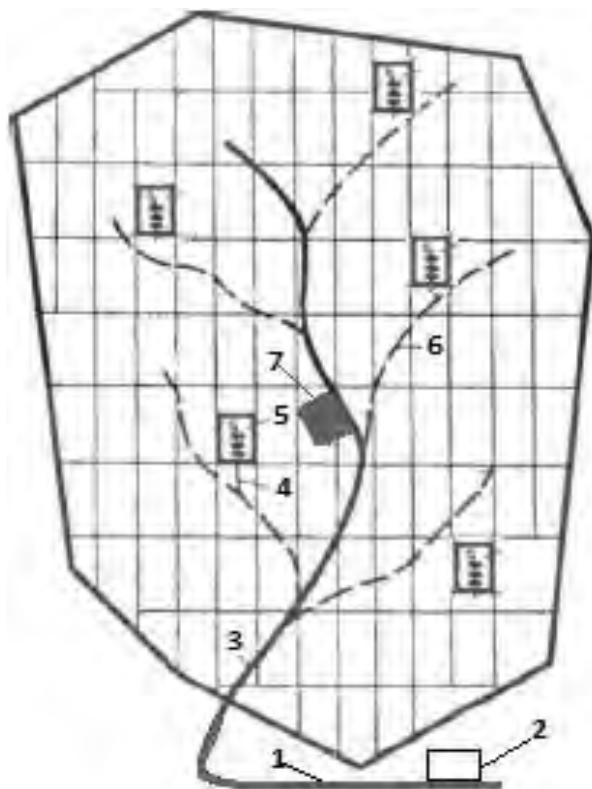


Рис. 3. Схема лесозаготовительного производства с использованием терминала:
1 – шоссе; 2 – нижний склад; 3 – магистральная часть лесовозной дороги; 4 – лесовозные усы; 5 – лесосека; 6 – лесовозные ветки; 7 – терминал.

Для расчёта технологии заготовки сортиментов и производства щепы из лесосечных отходов примем годовой объём заготовок $Q_3 = 200$ тыс. m^3 . Количество рабочих дней в году примем $n = 250$, тогда суточный объём заготовок составит:

$$Q_c = \frac{Q_3}{n} = \frac{200000 \text{ м}^3}{250} = 800 \text{ пл. м}^3$$

Примем суточную (сменную) заготовку бригады $Q_6 = 160$ пл. m^3 . Тогда количество бригад составит:

$$n_6 = \frac{Q_c}{Q_6} = \frac{800 \text{ пл. м}^3}{160 \text{ пл. м}^3} = 5 \text{ бригад}$$

Долю лесосечных отходов примем равной 10%, тогда их объём равен:

$$Q_0 = Q_3 * 0,1 = 200000 \text{ м}^3 * 0,1 = 20000 \text{ м}^3$$

За смену одной бригады количество лесосечных отходов составит:

$$Q_{\text{од.б.}} = Q_6 * 0,1 = 160 \text{ м}^3 * 0,1 = 16 \text{ пл. м}^3$$

Результаты и обсуждение исследований.

Для переработки суточного количества отходов на терминале, достаточно использовать прицепную рубительную машину УРП-1 (рис. 4), работающую в паре с трактором. Производительность УРП-1 равна 15 пл. м³/ч, значит время на переработку лесосечных отходов, привезенных с пяти делянок, составит 5-6 часов.

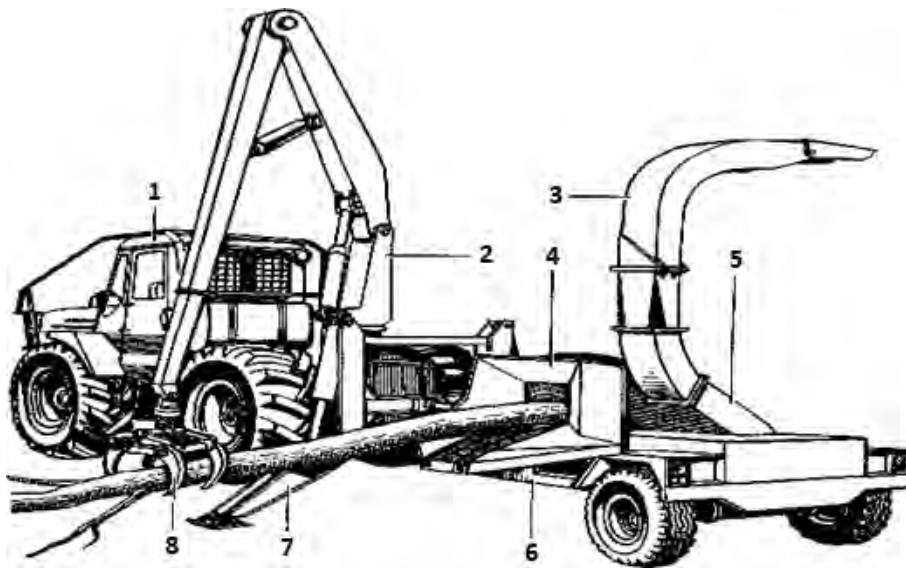


Рис. 4. Общий вид прицепной рубительной установки УРП-1: 1 – трактор Т-150К; 2 – гидроманипулятор; 3 – щепопровод; 4 – механизм подачи сырья; 5 – наклонный двухножевой диск; 6 – платформа прицепа; 7 – аутригеры; 8 – грейферный захват.

Заключение и выводы.

Переработка лесосечных отходов может производиться не каждый день. Так же будет эффективна аренда одной более производительной рубительной машины для нескольких арендаторов. В этом случае перевозка переработанной щепы с терминала на нижний склад возможна на машинах с большим объемом (Рис. 5).



Рис. 5. Автопоезд-щеповоз в составе трехосного автомобиля типа 6×4 и двухосного прицепа с суммарной емкостью кузовов от 60 до 80 насыпных куб. м. с разгрузкой вбок.

Библиографический список

1. Локитанов, Б.М. Устройство для производства топливной щепы из лесосечных отходов и ее очистка от минеральных включений / Б.М. Локитанов, В.В. Орлов, И.В. Бачериков // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Мат. науч.-техн. конф. – Вологда: ВоГУ, 2014. – С. 47–51.
2. Локитанов Б.М., Бачериков И.В., Орлов В.В., Соколова В.А. Разработка мобильной установки для производства топливной щепы Труды института ландшафтной архитектуры, строительства и обработки древесины. СПб, СПбГЛТУ, 2016 г. – 60 с., с. 54-55.
3. Оценка эффективности производства топливной щепы на лесном терминале/ А.А. Селивёрстов, Ю.Ю. Герасимов, Ю.В. Суханов, В.С. Сюнёв, В.К. Катаров // Тракторы и сельхозмашины. — 2012. — № 8. — С. 25—27.
4. Технологические цепочки и системы машин для сбора и переработки древесной биомассы в топливную щепу при сплошнолесосечной заготовке в сортиментах / Ю.В. Суханов, Ю.Ю. Герасимов, А.А. Селивёрстов, А.П. Соколов // Системы. Методы. Технологии. — 2011. — № 4. — 8 с.
5. Кривоногова А.С. Нгуен Ван Тоан, Соколова В.А., Бирман А.Р. Статистические показатели эксплуатационных характеристик модифицированной древесины / Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник трудов по материалам международной заочной НПК, 2015. – № 2, ч.2 (13-2). Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2015. – С. 239-243.

Сведения об авторах

ФИО	Гущин И.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4643-0361
e-mail	Sm1ley-ivan11@yandex.ru
ФИО	Локштанов Б.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4014-2820
e-mail	blokshtanov@mail.ru
ФИО	Бирман А.Р.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com

Аннотация

В статье рассматривается технология производства сортиментов и производство топливной щепы из лесосечных отходов. Рассмотрен процесс и сделан расчёт заготовки 200 тыс. м³ в год сортиментов и организации сбора лесосечных отходов. Предложено два варианта организации производства щепы. Первый вариант описывает сбор и трелёвку древесных отходов до пункта погрузки форвардером. Второй вариант предлагает использовать терминал для сбора лесосечных отходов.

Ключевые слова: лесосека, сортименты, рубительная машина, щепа.

УДК 630*161 Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.21 Очистка лесосек

Формулы для расчета осадки штампа при вдавливании в кусочно-неоднородную среду

Казаков Д.П., Песков В.Б., Лухминский В.А., Чураков А.В.

Введение.

При моделировании взаимодействия движителей лесных машин с опорными поверхностями пользуются положениями механики грунтов, в частности – решением задачи о вдавливании штампа-движителя в деформируемое полупространство-грунт [1] – [9]. Как правило, рассматривается вдавливание штампа в однородную среду [1], [8]. На практике лесные машины взаимодействуют с почвогрунтом – многокомпонентной системой, образованной почвой на подстилающем минеральном основании. Возникает задача о вдавливании штампа в кусочно-неоднородную среду, решение которой до настоящего времени практически не рассматривалось.

Цель работы.

Получить зависимости для расчета осадки штампа при вдавливании в кусочно-неоднородную среду.

Методы исследования.

Методы теории движения автотранспорта по бездорожью, математический анализ.

Результаты исследования.

Под воздействием штампа происходит сжатие элементарного слоя массива почвогрунта, которое определяют по формуле [1], [3], [4], [10]:

$$dh_t = \varepsilon dz_0 \quad (1)$$

где z_0 – начальная толщина элементарного слоя массива, ε – относительная деформация элементарного слоя массива.

Толщину элементарного слоя массива в деформированном состоянии определяют по формуле [1], [3], [4], [10]:

$$dz = (1 - \varepsilon) dz_0 \quad (2)$$

Относительная деформация элементарного слоя массива связана с нормальным напряжением, вызванным воздействием штампа:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (3)$$

где σ – нормальное напряжение, E – модуль общей деформации элементарного слоя массива.

По уравнениям (2.1) - (2.3) получим для сжатия элементарного слоя массива [1], [3], [4], [10]:

$$dh_L = \frac{\sigma}{E - \sigma} dz \quad (4)$$

Тогда суммарную деформацию сжатия массива найдем по уравнению [1], [3], [4], [10]:

$$h_L = \int_0^{H-h_L} \frac{\sigma}{E - \sigma} dh_L \quad (5)$$

Как правило, модуль общей деформации полагают константой, а нормальное напряжение рассчитывают с учётом затухания по глубине массива по следующей формуле [1], [3], [4], [10]:

$$\sigma = \frac{Jp}{1 + \left(\frac{z}{ab}\right)^2} \quad (6)$$

где J – параметр, зависящий от геометрических параметров штампа, z – вертикальная координата, отсчитываемая от поверхности среды, p – среднее давление по пятну контакта штампа с поверхностью массива, a – параметр, учитывающий толщину деформируемого слоя массива, b – ширина штампа.

После интегрирования уравнения (5) с учётом зависимости (6) получим следующее уравнение:

$$h_L = \frac{Jabp}{\sqrt{E^2 - EJp}} \cdot \arctan\left(\frac{E \cdot (H - h_L)}{ab \cdot \sqrt{E^2 - EJp}}\right) \quad (7)$$

Кроме того, следует учесть, что, по мере роста нормальных напряжений, в деформируемом массиве развиваются и касательные напряжения, происходит сдвиг слоёв грунта. Это явление принято называть потерей несущей способности, а предельное напряжение, при котором происходит сдвиг, соответственно – несущей способностью.

Для определения полной деформации однородного массива грунта под воздействием штампа, складывающейся как из сжатия, так и из сдвигов слоёв, то есть с учётом потери несущей способности, воспользуемся формулой (5), дополненной коэффициентом потери несущей способности [1], [3], [4], [10]:

$$h = \int_0^{H-h} \frac{p_s}{p_s - \sigma} \cdot \frac{\sigma}{E - \sigma} dh \quad (8)$$

где p_s – несущая способность массива грунта.

После интегрирования уравнения 8) получим формулу:

$$h = \frac{Jabp_s p}{E - p_s} \cdot \left\{ \frac{\arctan\left(\frac{E \cdot (H - h)}{ab \cdot \sqrt{E^2 - EJp}}\right)}{\sqrt{E^2 - EJp}} - \frac{\arctan\left(\frac{p_s \cdot (H - h)}{ab \cdot \sqrt{p_s^2 - Jp_s p}}\right)}{\sqrt{p_s^2 - Jp_s p}} \right\} \quad (9)$$

Для получения зависимости модуля деформации и несущей способности рассматриваемого массива введем в рассмотрение единичную функцию Хевисайда:

$$\begin{cases} \text{He}(\xi) = 0, \xi < 0 \\ \text{He}(\xi) = 1, \xi \geq 0 \end{cases} \quad (10)$$

Тогда законы изменения модуля деформации и несущей способности по глубине массива запишем следующим образом:

$$E = E_1 \text{He}(z - H_1) + E_2 \text{He}(H_1 - z) \quad (11)$$

$$p_s = p_{s1} \text{He}(z - H_1) + p_{s2} \text{He}(H_1 - z) \quad (12)$$

Для расчета деформации сжатия массива грунта, состоящего из двух слоёв с различными механическими свойствами, по формулам (8), (11) запишем:

$$h_L = \int_0^{H-h_L} \frac{\sigma}{E_1 \text{He}(z - H_1) + E_2 \text{He}(H_1 - z) - \sigma} dh \quad (13)$$

После интегрирования (13) получим:

$$h_L = Jpab \cdot \left(\frac{\arctan \frac{E_2 H - h_L}{ab \sqrt{E_2^2 - E_2 Jp}}}{\sqrt{E_2^2 - E_2 Jp}} + \frac{\arctan \frac{E_1 H_1 - h_L}{ab \sqrt{E_1^2 - E_1 Jp}}}{\sqrt{E_1^2 - E_1 Jp}} - \frac{\arctan \frac{E_2 H_1 - h_L}{ab \sqrt{E_2^2 - E_2 Jp}}}{\sqrt{E_2^2 - E_2 Jp}} \right) \quad (14)$$

Общую деформацию двуслойного массива грунта под воздействием движителя найдём по формулам (8), (11), (12):

$$h = \int_0^{H-h} \frac{p_{s1} \text{He}(z - H_1) + p_{s2} \text{He}(H_1 - z)}{p_{s1} \text{He}(z - H_1) + p_{s2} \text{He}(H_1 - z) - \sigma} \cdot \frac{\sigma}{E_1 \text{He}(z - H_1) + E_2 \text{He}(H_1 - z) - \sigma} dh \quad (15)$$

После интегрирования получим:

$$h = Japb \cdot \left(\frac{p_{s2}}{E_2 - p_{s2}} \cdot \psi_1 + \frac{p_{s1}}{E_1 - p_{s1}} \cdot \psi_2 \right) \quad (16)$$

где:

$$\psi_1 = \frac{\arctan \frac{p_{s2}(H-h)}{ab \sqrt{p_{s2}^2 - Jp_{s2}p}}}{\sqrt{p_{s2}^2 - Jp_{s2}p}} - \frac{\arctan \frac{p_{s2}H_1}{ab \sqrt{p_{s2}^2 - Jp_{s2}p}}}{\sqrt{p_{s2}^2 - Jp_{s2}p}} + \frac{\arctan \frac{E_2 H_1}{ab \sqrt{E_2^2 - JpE_2}}}{\sqrt{E_2^2 - JpE_2}} - \frac{\arctan \frac{E_2(H-h)}{ab \sqrt{E_2^2 - JpE_2}}}{\sqrt{E_2^2 - JpE_2}}$$

$$\psi_2 = \frac{\arctan \frac{p_{s1} H_1}{ab \sqrt{p_{s1}^2 - J p_{s1} p}}}{\sqrt{p_{s1}^2 - J p_{s1} p}} - \frac{\arctan \frac{E_1 H_1}{ab \sqrt{E_1^2 - J p E_1}}}{\sqrt{E_1^2 - J p E_1}}$$

Полученные формулы, в отличие от известных ранее, позволяют рассчитать осадку штампа-двигателя при взаимодействии с двуслойным основанием, моделирующим лесной почвогрунт, непосредственно.

Библиографический список:

1. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Дмитриева М.Н., Песков В.Б., Григорьева О.И. Уточненная модель для оценки тягово-сцепных свойств колесного двигателя лесной машины. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 108-119.
2. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Расчет тягово-сцепных свойств колесных лесных машин с использованием WES-метода. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 196-202.
3. Хитров Е.Г., Бартенев И.М. Влияние угла поперечного наклона поверхности качения на тягово-сцепные свойства колесного двигателя. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 225-232.
4. Хитров Е.Г., Бартенев И.М. Расчет глубины колеи колесного двигателя лесных тракторов на склонах. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 233-239.
5. Рудов С.Е., Хитров Е.Г., Рудов М.Е., Устинов В.В. Расчет тяговых и сцепных свойств колесного скиддера с использованием данных зарубежных коллег. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 1 (12). С. 223-228.
6. Хитров Е.Г., Григорьев И.В., Макуев В.А., Хахина А.М., Калинин С.Ю. Модель для оценки радиальной деформации колеса лесной машины с учетом деформации почвогрунта. Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 6. С. 87-90.
7. Хитров Е.Г., Божбов В.Е., Ильюшенко Д.А. Расчет несущей способности лесных почвогрунтов под воздействием колесных двигателей. Системы. Методы. Технологии. 2014. № 4 (24). С. 122-126.
8. Никифорова А.И., Хитров Е.Г., Пельмский А.А., Григорьева О.И. Определение осадки при движении лесозаготовительной машины по двуслойному основанию. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 2 (139). С. 87-91.
9. Григорьев И.В., Макуев В.А., Никифорова А.И., Хитров Е.Г., Устинов В.В., Калинин С.Ю. Исследование коэффициента сопротивления передвигению колесных лесных машин. Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2014. № S2. С. 36-41.
10. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей. - М.: Машиностроение, 1981. 232 с.

Сведения об авторах

ФИО	Казаков Д.П.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	kdp.manage@gmail.com
ФИО	Песков В.Б.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN кода
e-mail	<u>vbpeskof@gmail.com</u>
ФИО	Лухминский В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN кода
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	Sheff2_01@mail.ru

Ключевые слова: лесной почвогрунт, вдавливание штампа, неоднородное основание, слоистое основание; forest soil, stamp pressing, non-uniform base, laminated base.

УДК 630*3Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

Аннотация

В статье получены зависимости, позволяющие рассчитать осадку штампа-двигателя при взаимодействии со слоистым основанием (например, лесным почвогрунтом), механические свойства (модуль деформации и несущая способность) которого описываются кусочно-неоднородными функциями. Формулы получены по результатам аналитического решения интегрального уравнения вдавливания штампа в деформируемое полупространство, при этом функции модуля деформации и несущей способности составлены ступенчато с использованием единичной функции Хевисайда.

Комбинированная реологическая модель лесного почвогрунта

Лухминский В.А., Песков В.Б., Казаков Д.П.

Введение.

Давление, оказываемое на грунт со стороны движителей лесных машин, распределено неравномерно по длине пятна контакта [1] – [8]. Неравномерность давления и, как следствие, напряжения, оказывает особое влияние на деформируемость грунта, что неоднократно наблюдалось в экспериментах [3], [4], [5]. В связи с этим при прогнозировании показателей взаимодействия движителей с грунтом рассматривают действие давления, переменного по времени [5], [8]. Таким образом, задачу следует решать с учетом реологии грунта, поскольку в уравнения деформации грунта вводится время воздействия. Как отмечается в специальной литературе по механике грунтов, единого мнения о реологической модели грунта нет [9], [10]. В зависимости от типа и состояния грунта, действующего напряжения, грунты проявляют, в той или иной мере, и упругие, и вязкие, и пластические свойства [9], [10].

Цель работы.

Разработать уточненную реологическую модель грунта как вязкоупруго-пластического тела, учитывающую влияние переменного характера напряжения на развитие деформаций во времени.

Методы исследования.

При составлении реологической модели грунта использованы положения механики деформируемых сред и методы математического анализа.

Результаты исследования и выводы.

Общий принцип построения реологических моделей вязкоупругих и пластических тел подробно описан в [11], [12], [13]. Воспользуемся этим принципом и составим уравнения связей деформации ε и напряжения σ для ряда реологических моделей, схемы которых представлены на рисунке 1.

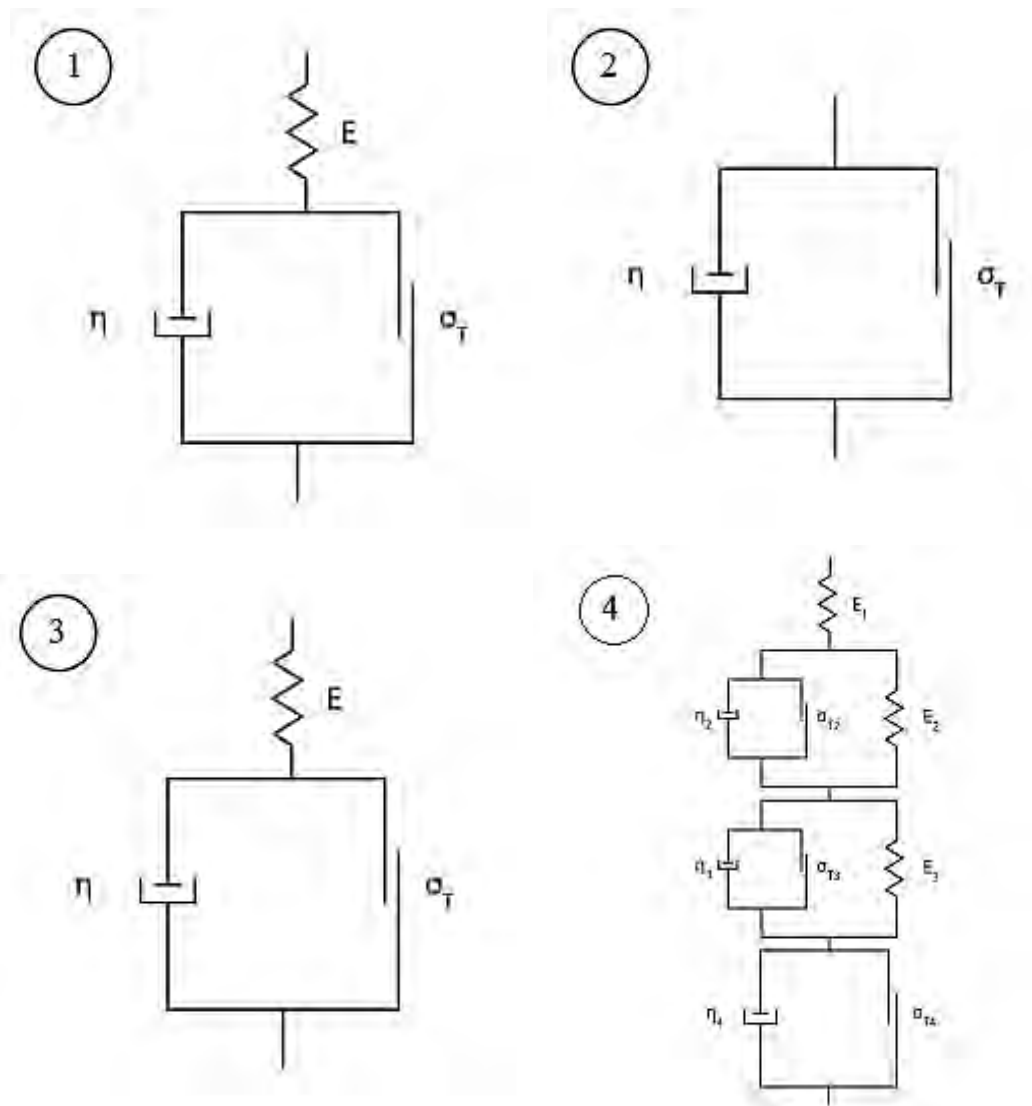


Рисунок 1. Схемы реологических моделей:

1 – модель Кельвина-Фойхта, 2 – модель Бингама-Шведова,

3 – модель Бингама, 4 – предлагаемая комбинированная модель

В модели Кельвина-Фойхта напряжение и деформация связаны следующим дифференциальным уравнением:

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (1)$$

Начальные условия, следующие из структуры модели:

$$\begin{cases} t = 0 \\ \varepsilon = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Для модели Бингама-Шведова запишем:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{\eta} (\sigma - \sigma_T) \text{He}(\sigma - \sigma_T) \quad (3)$$

При начальных условиях:

$$\begin{cases} t = 0 \\ \varepsilon = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Для модели Бингама запишем уравнение:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{1}{\eta} (\sigma - \sigma_T) \text{He}(\sigma - \sigma_T) \quad (5)$$

Начальные условия, как следует из структуры модели, следующие:

$$\begin{cases} t = 0 \\ \varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} \end{cases} \quad (6)$$

где E – модуль деформации, η – вязкость, σ_T – предел пластичности, $\text{He}(\dots)$ – единичная функция Хевисайда.

Для учета упругости, вязкости и пластичности грунта составим комбинированную модель грунта. Заменяем вязкий элемент в модели Кельвина-Фойгта вязкоупругой моделью Шведова-Бингама и последовательно соединим два полученных элемента с дополнительной моделью Бингама (схема модели представлена на рисунке 1).

Дифференциальное уравнение, связывающее напряжение и деформацию в комбинированной модели, примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\varepsilon}{dt} = & \frac{1}{E_1} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{1}{\eta_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) (\sigma - \sigma_{T2}) \text{He}(\sigma - \sigma_{T2}) + \\ & + \frac{1}{\eta_3} \exp\left(-\frac{E_3}{\eta_3} t\right) (\sigma - \sigma_{T3}) \text{He}(\sigma - \sigma_{T3}) + \frac{1}{\eta_4} (\sigma - \sigma_{T4}) \text{He}(\sigma - \sigma_{T4}) \end{aligned} \quad (7)$$

Начальные условия, как следует из схемы, представлены ниже:

$$\begin{cases} t = 0 \\ \varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_1} \end{cases} \quad (8)$$

Установим физический смысл коэффициентов, входящих в модель (7). Модуль E_1 представляет собой модуль мгновенной упругой деформации; модуль E_2 характеризует сопротивление необратимой деформации при кратковременном действии нагрузки, в то время как модуль E_3 – при более длительном воздействии; вязкости η_2 и η_3 , соответственно, характеризуют скорость течения необратимых деформаций при кратковременной и длительной нагрузках; предельное напряжение σ_{T2} относится к началу развития необратимых деформаций при кратковременной нагрузке, а предельное напряжение σ_{T3} – при длительном воздействии; предельное напряжение σ_{T4} показывает начало необратимых деформаций, вызванных потерей несущей способности грунта, развивающихся со скоростью, которую характеризует параметр вязкости η_4 .

Для пояснения обратимся к физической картине деформации грунтов [4, 5, 6]. Упругое восстановление грунтов установлено экспериментально, таким образом, включение в модель параметра E_1 представляется оправданным. При этом принято полагать, что часть пластических деформаций развивается мгновенно, а часть является вязкопластической, то есть развивается за определенное время. В предлагаемой модели вводится разделение пластической деформации на две составляющие, развивающиеся с различной скоростью. В случае, если вместо элемента с параметрами E_2, η_2, σ_{T2} либо E_3, η_3, σ_{T3} ввести элемент Бингама-Шведова с параметрами η_2, σ_{T2} (либо η_3, σ_{T3}) получим неограниченный рост пластических деформаций по времени, что противоречит физической картине деформации грунта. При исключении одного из комбинированных вязкоупругопластических элементов из модели, кривая деформации приобретет пологий характер, что вновь будет противоречить физической картине. По этой причине полагаем, что в модель целесообразно включить именно два вязкоупругопластических элемента, ответственных за «быстрые» и «длительные» пластические деформации. Элемент Бингама-Шведова с параметрами η_4, σ_{T4} необходим, поскольку он позволяет учесть потерю несущей способности грунта – то есть практически неограниченное нарастание деформаций при превышении напряжением предела несущей способности.

Исследуем поведение решения при следующей функции напряжения:

$$\sigma = \sigma_0 \text{He}(\tau - t) + \sigma_1 \text{He}(t_2 - t) \text{He}(t - t_1) \quad (9)$$

где $\sigma_0 > \sigma_{T2}, \sigma_0 > \sigma_{T3}, \sigma_0 < \sigma_{T4}, \sigma_1 > \sigma_{T4}, t_1 \leq t \leq t_2, t_2 < \tau$ (то есть имеет место временный скачок напряжения до величины, превышающей несущую способность грунта).

График решения уравнения (7) представлен на рисунке 2.

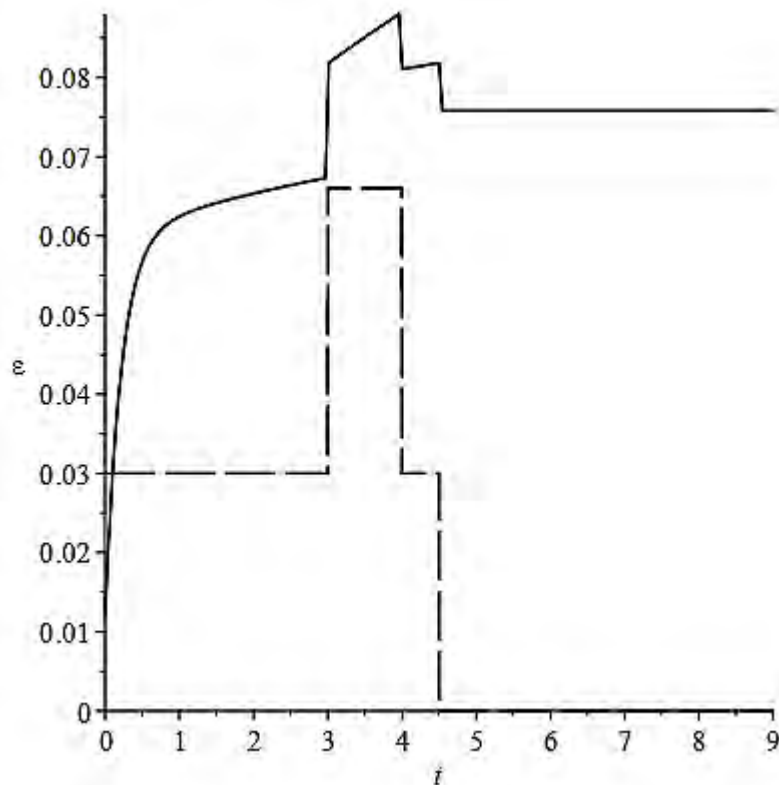


Рисунок 2 – Деформация модели (7) при действии нагрузки по формуле (9): сплошная линия – численное решение уравнения (7), пунктирная линия – нормальное напряжение

По графику видно, что все явления, присутствующие при деформировании грунта, которые описаны выше по тексту, учтены составленной моделью. Комбинированную реологическую модель грунта предлагаем использовать при составлении уточненных математических моделей взаимодействия движителей лесных машин с грунтом, предназначенных для оценки колееобразования и проходимости техники.

Библиографический список:

1. Григорьев И.В., Макуев В.А., Никифорова А.И., Хитров Е.Г., Устинов В.В., Калинин С.Ю. Исследование коэффициента сопротивления передвижению колесных лесных машин. Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2014. № S2. С. 36-41.
2. Рудов С.Е., Хитров Е.Г., Рудов М.Е., Устинов В.В. Расчет тяговых и сцепных свойств колесного скиддера с использованием данных зарубежных коллег. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 1 (12). С. 223-228.
3. Хитров Е.Г., Бартенев И.М. Влияние угла поперечного наклона поверхности качения на тягово-сцепные свойства колесного движителя. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 225-232.

4. Хитров Е.Г., Бартенев И.М. Расчет глубины колеи колесного движителя лесных тракторов на склонах. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 233-239.
5. Хитров Е.Г., Божбов В.Е., Ильюшенко Д.А. Расчет несущей способности лесных почвогрунтов под воздействием колесных движителей. Системы. Методы. Технологии. 2014. № 4 (24). С. 122-126.
6. Хитров Е.Г., Григорьев И.В., Макуев В.А., Хахина А.М., Калинин С.Ю. Модель для оценки радиальной деформации колеса лесной машины с учетом деформации почвогрунта. Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 6. С. 87-90.
7. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Расчет тягово-сцепных свойств колесных лесных машин с использованием WES-метода. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 196-202.
8. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Дмитриева М.Н., Песков В.Б., Григорьева О.И. Уточненная модель для оценки тягово-сцепных свойств колесного движителя лесной машины. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 108-119.
9. Месчан С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. М.: Недра, 1985. 342 С.
10. Цытович Н. А. Механика грунтов-М.: высшая школа, 1986, 318 с.
11. Бленд Д.Р. Теория линейной вязкоупругости. М.: Мир, 1965, 390 с.
12. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкости. -М.: Наука, 1980.
13. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. - 512с.

Сведения об авторах

ФИО	Лухминский В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	vladl1112@mail.ru
ФИО	Казаков Д.П.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	kdp.manage@gmail.com
ФИО	Песков В.Б.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	vbpeskof@gmail.com

Ключевые слова: лесной почвогрунт, реологическая модель, упругость, вязкость, пластичность; forest soil, rheological model, elasticity, viscosity, plasticity.

УДК 630*3

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

Аннотация

В статье предложена уточненная реологическая модель грунта как вязкоупругопластического тела, учитывающая влияние переменного характера напряжения на развитие деформаций во времени. При составлении реологической модели грунта использованы положения механики деформируемых сред и методы математического анализа. Для учета упругости, вязкости и пластичности, реологическая модель грунта составлена как комбинация двух моделей Кельвина-Фойгта, в которых вязкий элемент заменен

вязкоупругой моделью Шведова-Бингама, последовательно соединенных с моделью Бингама. Предлагаемая реологическая модель грунта учитывает характеристики мгновенной упругой деформации; сопротивление необратимой деформации при кратковременном действии нагрузки и при длительном воздействии, характеристики скорости течения необратимых деформаций при кратковременной и длительной нагрузках, при потере несущей способности, а также предельные напряжения, относящиеся к началу развития необратимых деформаций при кратковременной нагрузке, при длительном воздействии и предельное напряжение, отражающее начало необратимых деформаций, вызванных потерей несущей способности грунта. Приводится дифференциальное уравнение, связывающее напряжение и деформацию в комбинированной модели, а также пример его численного решения.

Особенности обработки опытных данных при оценке реологических параметров лесного почвогрунта

Лухминский В.А., Песков В.Б., Казаков Д.П.

Введение.

Для проведения расчетов по прогнозированию показателей взаимодействия движителей лесных машин с почвогрунтами лесосек необходимо располагать числовыми значениями параметров, характеризующих механические свойства грунтов [1] – [9]. Лесные почвогрунты представляют собой сложные многокомпонентные системы, которые, находясь под воздействием внешней нагрузки, проявляют упругие, вязкие и пластические свойства [4], [5], [6], [9]. Закономерности развития деформаций в грунтах описываются реологическими моделями, которые, как правило, включают в себя несколько параметров, значения которых определяются экспериментально [2], [6], [9].

Цель работы.

Разработать методику оценки параметров многопараметрической реологической модели лесного почвогрунта по экспериментальным данным.

Результаты исследования.

Предположим, что в экспериментах по исследованию реологических свойств грунта под действием нормальной нагрузки задача сводится к поиску коэффициентов E_1 , E_2 , E_3 , η_2 , η_3 дифференциального уравнения развития деформации грунта следующего вида:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E_1} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{1}{\eta_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \cdot \sigma + \frac{1}{\eta_3} \exp\left(-\frac{E_3}{\eta_3} t\right) \cdot \sigma \quad (1)$$

при начальных условиях:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{E_1} \sigma \quad (2)$$

где E_i – модули деформации, η_i – характеристики вязкости, t – время воздействия, σ – нормальное напряжение, ε – относительная деформация грунта.

Решение уравнения (1) имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{1}{E_1} \sigma + \frac{1}{E_2} \sigma + \frac{1}{E_3} \sigma - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \cdot \sigma - \frac{1}{E_3} \exp\left(-\frac{E_3}{\eta_3} t\right) \cdot \sigma \quad (3)$$

Подобное уравнение описывает развитие деформаций лесного почвогрунта при наличии как мгновенных упругих, так и быстрых и длительных эластических составляющих деформации. Пример экспериментальной кривой

деформирования образца почвогрунта представлен на рисунке 1 (в логарифмическом масштабе).

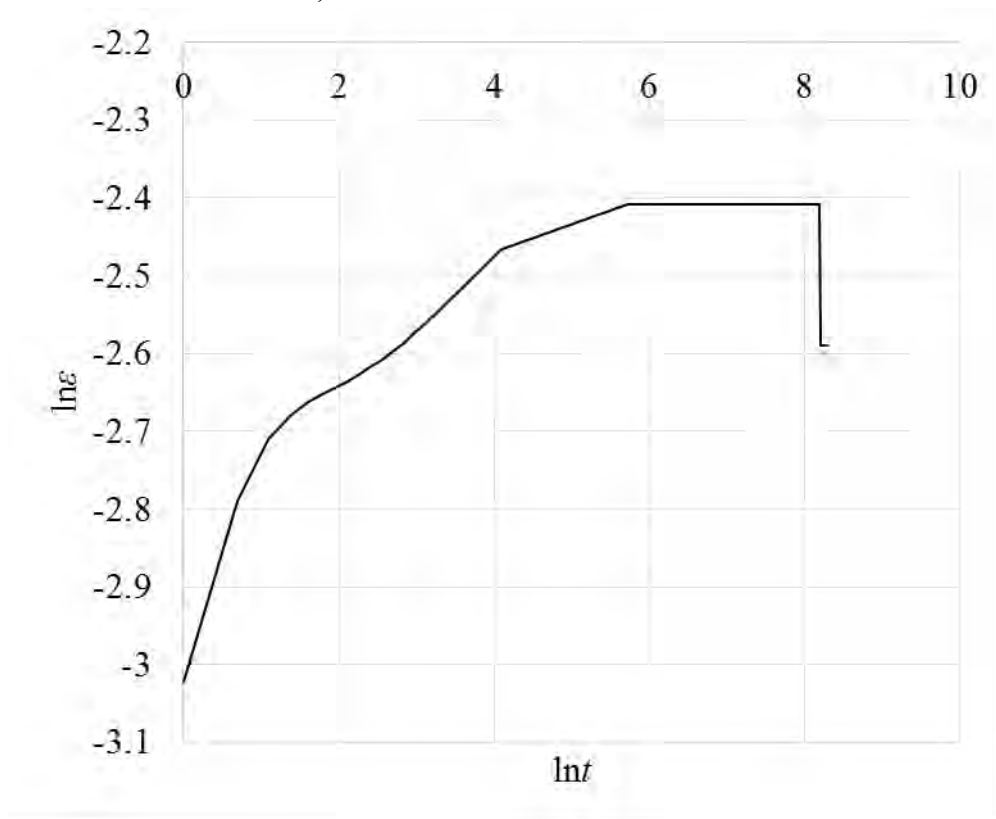


Рисунок 1 – Относительная деформация образца грунта под нагрузкой (логарифмический масштаб)

Немедленная попытка подобрать параметры уравнения (3) при помощи метода наименьших квадратов приведет, очевидно, к противоречивым результатам как ввиду погрешности измерений, так и в силу трансцендентной структуры уравнения (3) с 5 неизвестными параметрами.

Рассмотрим теоретический вид кривой относительной деформации $\varepsilon_{\text{общ}}$, разложенной на составляющие $\varepsilon_{\text{упр}}$ (с параметром E_1), $\varepsilon_{\text{пл,мгн}}$ (с параметрами E_2 , η_2), $\varepsilon_{\text{пл,длит}}$ (с параметром E_3 , η_3), представленный на рисунке 2.

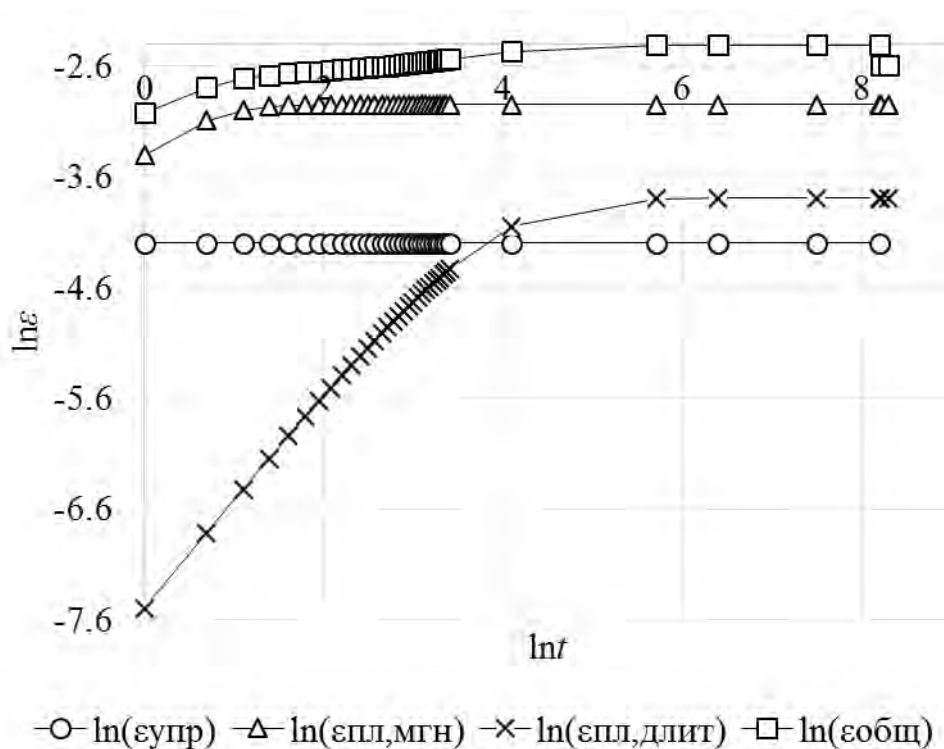


Рисунок 2 – Теоретический вид кривой относительной деформации (логарифмический масштаб)

Согласно графикам и физической картине деформации грунта, упругая деформация развивается мгновенно, остается постоянной на протяжении всего времени действия нагрузки и полностью восстанавливается после её снятия. Таким образом, модуль E_1 оценим по экспериментальным данным следующим образом:

$$\bar{E}_1 = \frac{1}{\varepsilon(t_k) - \varepsilon(t_k + \Delta t)} \sigma \quad (4)$$

где $\varepsilon(t_k)$ – относительная деформация в момент времени t_k , соответствующий концу испытания, но до снятия нагрузки, $\varepsilon(t_k + \Delta t)$ – относительная деформация, соответствующая некоторому моменту времени $t_k + \Delta t$ после снятия нагрузки ($\Delta t \approx 30 - 60$ с).

Подставив полученную оценку \bar{E}_1 в уравнение (3), придем к более простому четырехпараметрическому уравнению:

$$\varepsilon = \frac{1}{E_1} \sigma + \frac{1}{E_2} \sigma + \frac{1}{E_3} \sigma - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \cdot \sigma - \frac{1}{E_3} \exp\left(-\frac{E_3}{\eta_3} t\right) \cdot \sigma \quad (5)$$

Основная часть мгновенных пластических деформаций развивается в первые секунды после сообщения образцу нагрузки, причем график деформации на этом участке близок к прямой. При этом примем допущение о том, что длительные пластические деформации малы, т.е. $\varepsilon_{пл, мгн} \gg \varepsilon_{пл, длит}$. Тогда для начального участка деформирования (до 5 – 10 с) можем воспользоваться более простой формой уравнения (5):

$$\varepsilon = \frac{1}{E_1} \sigma + \frac{1}{E_2} \sigma - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \cdot \sigma \quad (6)$$

Заметим, что, ввиду близкого к линейному характера развития деформаций на начальном участке, нет потребности точно определять его конец – оценки параметров E_2 , η_2 существенно не искажутся (при обработке опытов ориентировались на 5 – 10 первых секунд).

Тогда для поиска оценок E_2 , η_2 составим и минимизируем функцию следующего вида:

$$\Phi_2 = \sum_{i=1}^{N_2} \left(\varepsilon_i - \left(\frac{1}{E_1} \sigma + \frac{1}{E_2} \sigma - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \cdot \sigma \right) \right)^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

где i соответствует номеру замера, N_2 – числу обрабатываемых замеров при поиске E_2 , η_2 .

Значения оценок $\overline{E_2}, \overline{\eta_2}$ получим из численного решения системы нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi_2}{\partial E_2} = 0 \\ \frac{\partial \Phi_2}{\partial \eta_2} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

После получения оценок $\overline{E_2}, \overline{\eta_2}$ можем сократить число неизвестных параметров модели (3) до двух – E_3 и η_3 :

$$\varepsilon = \frac{1}{E_1} \sigma + \frac{1}{E_2} \sigma + \frac{1}{E_3} \sigma - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{\overline{E_2}}{\overline{\eta_2}} t\right) \cdot \sigma - \frac{1}{E_3} \exp\left(-\frac{E_3}{\eta_3} t\right) \cdot \sigma \quad (9)$$

Тогда для поиска оценок E_3 и η_3 составим и минимизируем следующую функцию:

$$\Phi_3 = \sum_{i=1}^{N_3} \left(\varepsilon_i - \left(\frac{1}{E_1} \sigma + \frac{1}{E_2} \sigma + \frac{1}{E_3} \sigma - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{\overline{E_2}}{\overline{\eta_2}} t_i\right) \cdot \sigma - \frac{1}{E_3} \exp\left(-\frac{E_3}{\eta_3} t_i\right) \cdot \sigma \right) \right)^2 \rightarrow \min \quad (10)$$

где N_3 – числу обрабатываемых замеров при поиске E_3 и η_3 .

Значения оценок $\overline{E_3}, \overline{\eta_3}$ получим из численного решения системы нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi_3}{\partial E_3} = 0 \\ \frac{\partial \Phi_3}{\partial \eta_3} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Заметим, что, ввиду малости значений длительных пластических деформаций на начальном участке, нет потребности точно определять начало участка развития длительных деформаций (при обработке опытов учитывали измерения с 10-20 первых секунд).

Библиографический список:

1. Григорьев И.В., Макуев В.А., Никифорова А.И., Хитров Е.Г., Устинов В.В., Калинин С.Ю. Исследование коэффициента сопротивления передвижению колесных лесных машин. Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2014. № S2. С. 36-41.

2. Никифорова А.И., Хитров Е.Г., Пельмский А.А., Григорьева О.И. Определение осадки при движении лесозаготовительной машины по двуслойному основанию. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 2 (139). С. 87-91.

3. Рудов С.Е., Хитров Е.Г., Рудов М.Е., Устинов В.В. Расчет тяговых и сцепных свойств колесного скиддера с использованием данных зарубежных коллег. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 1 (12). С. 223-228.

4. Хитров Е.Г., Бартенев И.М. Влияние угла поперечного наклона поверхности качения на тягово-сцепные свойства колесного движителя. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 225-232.

5. Хитров Е.Г., Бартенев И.М. Расчет глубины колеи колесного движителя лесных тракторов на склонах. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 233-239.

6. Хитров Е.Г., Божбов В.Е., Ильюшенко Д.А. Расчет несущей способности лесных почвогрунтов под воздействием колесных движителей. Системы. Методы. Технологии. 2014. № 4 (24). С. 122-126.

7. Хитров Е.Г., Григорьев И.В., Макуев В.А., Хахина А.М., Калинин С.Ю. Модель для оценки радиальной деформации колеса лесной машины с учетом деформации почвогрунта. Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 6. С. 87-90.

8. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Расчет тягово-сцепных свойств колесных лесных машин с использованием WES-метода. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 196-202.

9. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Дмитриева М.Н., Песков В.Б., Григорьева О.И. Уточненная модель для оценки тягово-сцепных свойств колесного движителя лесной машины. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 108-119.

Сведения об авторах

ФИО	Лухминский В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	vlad1112@mail.ru
ФИО	Казаков Д.П.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	kdp.manage@gmail.com
ФИО	Песков В.Б.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	vbpeskof@gmail.com

Ключевые слова: лесной почвогрунт, реологическая модель, упругость, вязкость, пластичность; forest soil, rheological model, elasticity, viscosity, plasticity.

УДК 630*3

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

Аннотация

В статье разработана методика экспериментального определения параметров многопараметрической реологической модели лесного почвогрунта. Методика заключается в последовательном упрощении многопараметрической модели, при этом параметры модели определяются по экспериментальным данным поэтапно в соответствии с физической картиной деформирования почвогрунта.

Технологии лесозаготовок с промежуточным складом

Мазилова О.А., Локштанов Б.М., Бирман А.Р., Неслухов В.В.

Введение.

Технологические операции на лесосеке связаны с заготовкой круглых лесоматериалов и использованием лесосечных отходов. В общем виде способов лесозаготовок древесины известно три: заготовка деревьев, заготовка хлыстов и заготовка сортиментов.

- Заготовка древесины деревьями имела место в 60-70х годах XX века. Производство сортиментов и очистка деревьев от сучьев осуществлялась на лесопромышленном складе. Но в связи с трудностями перевозки деревьев по дорогам этот способ сейчас не применяют.

- Заготовка древесины хлыстами широко применялась в 70-90х годах XX века и сейчас в России составляет 15-20% от объема заготовок, хотя в США и Канаде этим способом заготавливают 50-60% древесины. Производство из хлыстов сортиментов и сортирование их производилось на лесопромышленном складе.

- Заготовка древесины сортиментами в настоящее время занимает доминирующее положение как в России, в Европе, так и во всем мире. Это связано с тем, что разработаны высокопроизводительные многооперационные машины типа харвестер и форвардер, которые позволяют получить сортименты непосредственно на лесосеке, а не на лесопромышленном складе. На лесопромышленном складе осуществляется сортирование сортиментов и их обработка.

В некоторых странах, таких как Швеция, Финляндия, сортиментная заготовка не предусматривает лесопромышленный склад, а сортирование сортиментов осуществляют у лесовозной дороги, по которым могут передвигаться большегрузные лесовозы.

Для России, с её большими заболоченными пространствами, дальностью перевозок леса требуется разработка технологии лесозаготовок с промежуточными складами-терминалами, где можно было бы осуществлять частичную обработку, сортировку леса и его перевалку на большеобъемные лесовозы, а также осуществлять процесс производства щепы из лесосечных отходов и из низкокачественной древесины [1].

Следует особо отразить использование лесосечных отходов и низкокачественной древесины, так как эти древесные компоненты для России представляют особую сложность в использовании.

Цели и задачи.

Лесосечные отходы представляют ветки, сучья, вершины, ломаные деревья. Количество лесосечных отходов оценивают величиной 20-22% от объема заготавливаемой древесины (стволовой части дерева). Эти отходы не входят в объем заготавливаемой древесины, поэтому их широко используют для укрепления волоков, на которые уходит почти половина лесосечных

отходов. Оставшаяся часть лесосечных отходов примерно 10% от заготавливаемой древесины, является предметом пристального внимания лесозаготовителей, так как их требуется быстро убрать с лесосеки (по Лесному Кодексу) или сжечь, или произвести из них топливную щепу. Производство топливной щепы из лесосечных отходов связано с технологией заготовки древесины. При заготовке деревьев основная масса лесосечных отходов перевозилась вместе с деревьями на лесопромышленный склад, где организовывали узел по производству из них щепы на базе стационарной рубительной машины. При заготовке хлыстов лесосечные отходы располагались или на пасеке, или на пункте погрузки. В первом случае эти отходы надо было собрать, трелевать на пункт погрузки и вызвать мобильную рубительную машину и щеповоз. Во втором случае отходы уже сосредоточены на пункте погрузки и это упростило процесс производства щепы. Но и здесь не все просто, что требуется подтвердить расчетом.

Методика расчета

Например, объем заготовки хлыстов примем $Q=200\ 000$ пл. м³/год, количество рабочих смен (дней) в году $n=250$, тогда суточная заготовка хлыстов (Q_c) составит

$$Q_c = \frac{Q_c}{n} = \frac{200\ 000}{250} = 800 \text{ пл. м}^3/\text{сутки} \quad (1)$$

Сменная производительность одной бригады (Q_1) примем 155 пл.м³/смену, тогда количество бригад (m) составит:

$$m = \frac{Q_c}{Q_1} = \frac{800}{155} = 5 \text{ штук} \quad (2)$$

При работе каждой бригады за смену образуется следующее количество лесосечных отходов (Q_2):

$$Q_2 = Q_1 * q = 155 * 0,1 = 15,5 \text{ пл. м}^3 \quad (3),$$

где q -количество лесосечных отходов 0,1 или 10%

Примем производительность мобильной рубительной машины, например УРП-1, около 15,5 пл.м³/час. Емкость кузова щеповоза ЛТ-7А с нарощенными бортами $Q_3=40$ м³, в который поместится следующее количество щепы Q_4 :

$$Q_4 = Q_3 * K = 40 * 0,4 = 16 \text{ пл. м}^3 \quad (4),$$

где K -коэффициент полндревесности щепы, $K=0,4$

Таким образом, пара-рубительная машина и щеповоз за час переработают в щепу то количество лесосечных отходов, которое накопилось за смену от одной бригады. Машина со щепой уехала, а на лесопромышленный склад к котельной, а рубительную машину необходимо перевести к другой бригаде, на что потребуется 40-50 мин. (перевести машину в транспортное положение, её

перевозка, перевод машины в рабочее положение). Рубительная машина за сутки обслужит все 5 бригад и нарубит 80,0 пл.м³ щепы, а за год около 20 000 пл.м³ щепы.

Результаты расчетов и обсуждение.

Из этого расчета можно сделать следующие выводы

- половину времени рубительная машина тратит на перемещение по бригадам, не используя свои возможности по производству щепы;
- выработанное количество топливной щепы в объеме 20 тыс.пл.м³ достаточно для годового обеспечения сырьем двух стандартных котельных мощностью 2 МВт/час.

Кроме лесосечных отходов большую проблему использования представляет низкокачественная древесина, так как ее можно только продать как дрова, но их очень много, а вместо дров население использует уже газ, щепу, пеллеты, брикеты. Низкокачественная древесина (НКД)- это сортименты, имеющие повышенное содержание гнили, повышенную кривизну, дупла, наросты, пасынки, трещины и считаются неделовыми.

Количество НКД для спелых и перестойных лесов России составляет 20-25% от объема стволовой части дерева и входит объем заготовки.

В 70-80-ые годы XX столетия были разработаны установки УПЩ-3, УПЩ-6, УПЩ-12 для производства технологической щепы из НКД для целлюлозно-бумажной промышленности СССР, но сейчас такие установки уже не выпускают и остается производить из НКД топливную щепу.

Если учесть, что на лесосеке надо производить топливную щепу как из лесосечных отходов, так из НКД, то масштабы такого производства щепы увеличатся в 2,5-3,0 раза и их надо решать другим путем.

Выводы по организации склада-терминала

Предлагаются три варианта промежуточных складов-терминалов, на которых производят сортименты и топливную щепу.

Вариант 1. Технология заготовки древесины основана на производстве деревьев на делянках и их перевозке на терминал (рис1)

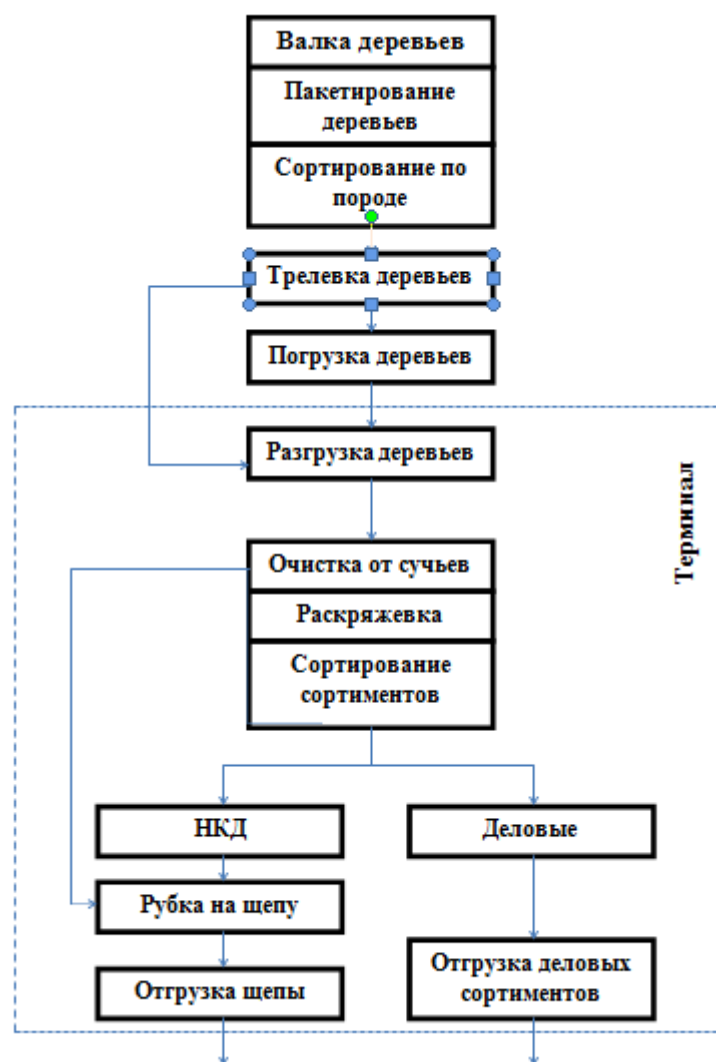


Рис. 1 Схема терминала с обработкой деревьев

Валку деревьев осуществляют валочно-пакетирующей машиной ЛП-19 или JohnDeere, которая осуществляет подсортировку деревьев на хвойные и лиственные, создает пачки деревьев объемом 8-10 м³, которые трелюет машина с пачковым захватом (скиддер) на пункт погрузки или, если терминал недалеко (3-4 км), то до терминала. Если терминал на расстоянии 7-10 км, то на пункте погрузки деревья перегружает лесовоз с прицепом-ропуска и с манипулятором и перевозит деревья в объеме 18-20 м³ на терминал.

На терминале деревья выгружают в штабель хвойных или лиственных деревьев. Возле этих штабелей располагаются два перегрузчика, снабженные манипулятором с вылетом 16-18 м и харвестерной головкой с большим грейфером (например Woody-50). Благодаря такому перегрузчику выполняются следующие операции:

- разбор поштучно штабеля с деревьями;
- обрезка сучьев и вершин с деревьев;
- раскряжевка очищенных стволов на сортименты;
- сортирование сортиментов на деловые (пиловочник, балансы, фанерный кряж) и на НКД;

- формирование штабелей из сортированных сортиментов;
- формирование кучи из лесосечных отходов и НДК.

На терминале предусмотрена рубительная машина и фронтальный ковшовый погрузчик, который формирует кучу щепы и погрузку щепы в большеобъемный кузов-100м³ щеповоза (40 пл.м³ щепы).

Погрузку сортиментов в лесовозы осуществляют манипулятором, установленным на самом лесовозе. Лесовоз может загрузить 30-40 пл.м³ сортиментов. Автомобили могут доставить груз как на лесопромышленный склад, так и потребителям, расположенным на расстоянии до 250 км. (лесозаводы, фанерные заводы, порты, железнодорожные узлы).

По первому варианту терминала можно сделать выводы:

- увеличился объем перевалочных работ;
- на терминале выполняются несколько операций как по производству сортиментов, так и по производству топливной щепы;
- с терминала перевозят лесные грузы мощные автомобили-лесовозы и щеповозы, которые практически не могут заехать на делянку;
- благодаря терминалу решаются вопросы комплексного использования древесины и упрощаются многие операции на лесопромышленных складах.

Вариант 2. Технология заготовки древесины основана на заготовке хлыстов на делянках и их перевозке на терминал (рис.2.)

Валку деревьев осуществляет валочно-пакетирующая машина, которая осуществляет подсортировку деревьев и формирует пачки деревьев. С помощью скиддера пачки доставляют на пункт погрузки, где установлена сучкорезная машина типа ЛО-30, которая срезает сучья и вершину с каждого дерева. Полученные хлысты погрузчиком типа ПЛ-1 погружают на лесовоз.

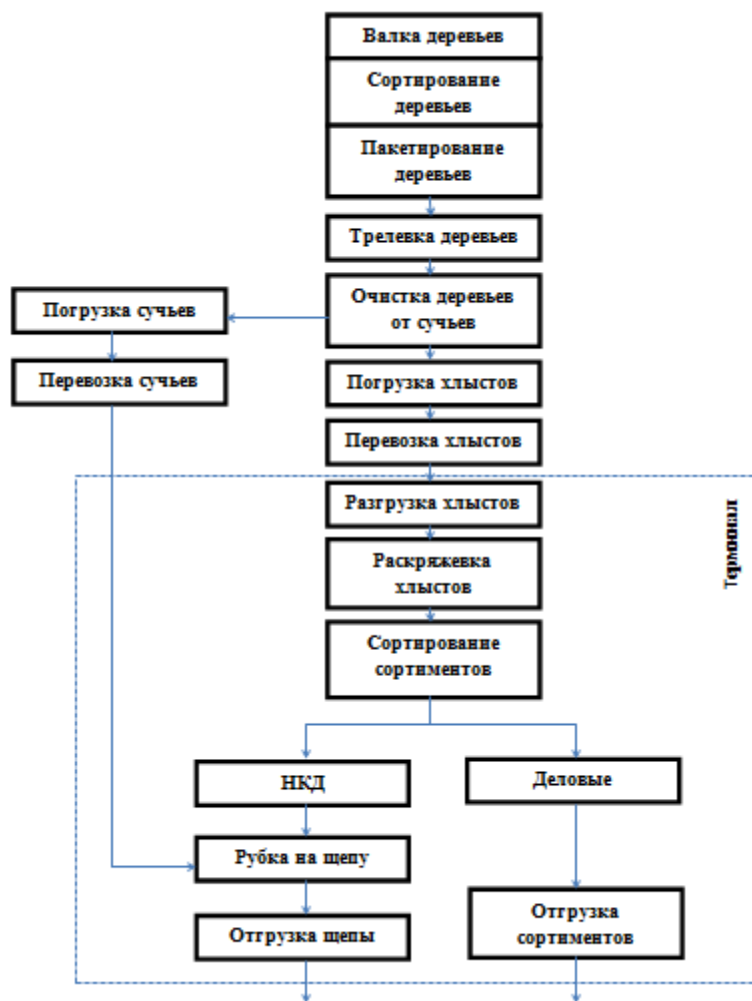


Рис. 2 Схема терминала с обработкой хлыстов

Лесовоз доставляет хлысты на терминал. Если терминал расположен на расстоянии 2-3 км, то полученные хлысты можно перевозить (трелевать) скиддером. Образующиеся лесосечные отходы погружают в щеповоз с помощью его манипулятора. Отходы отвозят на терминал. На терминале установлены те же агрегаты, что и по варианту 1, но перегрузчик не выполняет операцию по срезанию сучьев (харвестерная головка упрощенной конструкции).

По сравнению с вариантом 1 на лесозаготовках занято больше техники и приходится перевозить лесосечные отходы щеповозом.

Вариант 3. Технология заготовки древесины основана на производстве сортиментов на делянках и их перевозке на терминал.

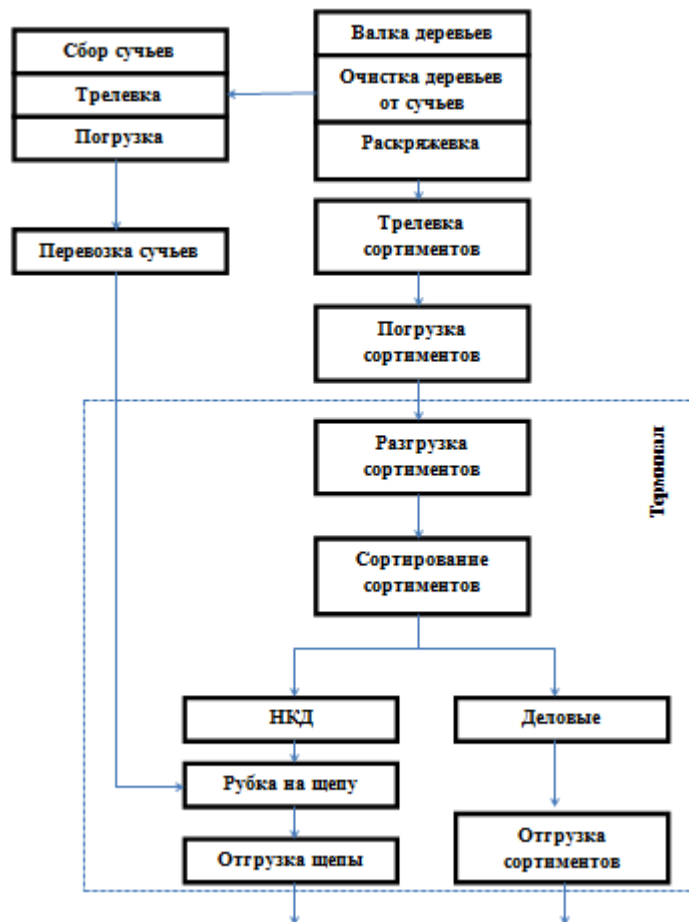


Рис. 3 Схема терминала с обработкой сортиментов

Валку деревьев, их очистку от сучьев и раскряжевку на сортименты производит харвестер типа Ponsse и т.п. Сбор, трелевку и выгрузку сортиментов производит трелевочный трактор-сортиментовоз-форвардер. Форвардер подсортировывает сортименты на хвойные и лиственные. Сортименты лесовозом с манипулятором перевозят на терминал. Лесовоз с повышенной проходимостью может доставить только 10-15 пл.м³ сортиментов на терминал. Если терминал расположен на расстоянии 2-3 км, то сортименты на терминал может доставить (трелевать) форвардер.

Лесосечные отходы собирает форвардер с раздвижными кониками и загружает своим манипулятором в щеповоз, который перевозит их на терминал. На терминале установлено два перегрузчика с простым грейферным захватом (рис. 4)



Рис. 4. Перегрузчик сортиментов LH 60 M Timber Litronik- Liebherr

Функции перегрузчика сводятся к следующим операциям [2]:

- сортирование сортиментов на деловые (пиловочник, балансы, фанерный кряж и т.п.) и НКД
- формирование штабелей сортированных сортиментов

На терминале имеется рубительная машина (рис.5) и ковшовый погрузчик, как и по вариантам 1 и 2.



Рис. 5. Самоходная рубительная машина Morbark 30/36 WCL Track

По варианту 3 можно сделать следующие выводы:

- на заготовке сортиментов используется меньше техники, чем по варианту

2

- применяется типовой перегрузчик бревен
- упрощаются операции при обработке древесины

Во всех приведенных вариантах принята самая передовая высокопроизводительная лесозаготовительная техника. Терминалы рассчитаны на обработку 200 тыс.м³ в год при двухсменной работе. В результате работы терминалов выдается 160 тыс.пл.м³ деловых сортиментов и 60 тыс.пл.м³ топливной щепы (40 тыс.м³ из НКД и 20 тыс.пл.м³ от рубки лесосечных отходов). Появляется возможность сократить расходы на транспортировку сортиментов и щепы, так как применяются мощные машины и появляется возможность доставить груз на дальние расстояния. На терминале возможно организовать складирование сортиментов и щепы, что обеспечивает равномерную отгрузку продукции. Решаются вопросы использования лесосечных отходов и НКД, а также вопросы экологии.

Из приведенных вариантов самым перспективным по нашим расчетам является вариант 1, так как по этому варианту весь цикл обработки деревьев и получение сортиментов осуществляется на одной площадке, кроме того здесь сосредотачиваются лесосечные отходы, из которых получается топливная щепа в больших объемах. Кроме этого низкокачественная древесина также является сырьем для производства топливной щепы.

Библиографический список

1. Козаченко А.В., Локиштанов Б.М. «Производство щепы из лесосечных отходов на терминале» Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Международной научно-технической конференции/ М-во обр. и науки РФ: Правительство Вологод. области: Департамент лесн. комплекса Вологод. обл; Вологодский государственный университет-Вологда: ВоГУ, 2017

2. Мазилова О.А., Григорьев И.В., Локиштанов Б.М. «Формирование и разгрузка штабелей, хлыстов и сортиментов на межсезонный период» Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Международной научно-технической конференции/ М-во обр. и науки РФ: Правительство Вологод. области: Департамент лесн. комплекса Вологод. обл; Вологодский государственный университет-Вологда: ВоГУ, 2017

Сведения об авторах

ФИО	Мазилова О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	m_olja_94@mail.ru
ФИО	Локштанов Б.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4014-2820
e-mail	blokshtanov@mail.ru
ФИО	Бирман А.Р.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Неслухов В.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	example3@ya.ru

Аннотация

В статье Технологии лесозаготовок с промежуточным складом рассмотрены современные вопросы заготовки древесины деревьями, хлыстами, сортиментами и производство топливной щепы при различных способах заготовки.

Предложено организовать промежуточные склады –терминалы при различных способах заготовки древесины. Установлено, что для организации терминалов необходима специализированная техника, основанная на перегрузчике древесины. Рассмотрены три варианта организации производства сортиментов и производства топливной щепы на промежуточных складах.

Первый вариант основан на переработке деревьев, включающий очистку деревьев от сучьев, раскряжевку, сортировку брёвен и формирование штабелей-сортиментов. Предложено на терминале производить щепу не только из лесосечных отходов, но и из низкокачественной древесины, что позволит упростить проблемы использования низкокачественной древесины, которые

проявляются на лесопромышленных складах и деревоперерабатывающих производствах.

Второй вариант основан на переработке хлыстов и включает раскряжевку хлыстов на сортименты и сортирование сортиментов по назначению. По этому варианту затруднен процесс сбора и доставки лесосечных отходов на терминал. Использование на терминале мобильной рубительной машины позволяет производить топливную щепу из лесосечных отходов и из низкокачественной древесины.

По третьему варианту на терминале производят сортирование сортиментов, полученных на делянках и производят топливную щепу из лесосечных отходов, доставленных с делянок и из низкокачественной древесины.

Из трех вариантов самым привлекательным является первый, по которому на терминале из деревьев производят сортименты, а из лесосечных отходов и низкокачественной древесины - топливную щепу. Во всех вариантах, несмотря на увеличение перевалочных работ и использование добавочной техники- перегрузчика, появляется возможность использовать большегрузные автомобили –лесовозы и щеповозы для доставки сортиментов и щепы крупным потребителям, расположенным на расстоянии до 250 км.

Ключевые слова: деревья, хлысты, сортименты, щепы, лесосечные отходы низкокачественная древесина, терминалы.

УДК 630*6

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.21 Очистка лесосек

4. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ЛЕСА

Анализ факторов, оказывающих влияние на производительность лесотранспортных машин в Северо-Западном регионе РФ

Андронов А.В., Широкова Д.Л.

Введение.

В последние годы в Северо-Западном регионе РФ наблюдается значительное изменение климатических условий, сопровождающееся отсутствием устойчивых отрицательных температур, которые позволяли при незначительных финансовых затратах осуществлять трелевку форвардерами и вывозку сортиментовозами даже с относительно высокими значениями удельного давления на почвогрунт.

Кроме того, среднее расстояние вывозки от места заготовки в настоящее время значительно увеличилось и может достигать по данным лесозаготовителей и 150-200 км.

В связи с изменившимися условиями трелевки и вывозки лесоматериалов представляется необходимым проанализировать характеристики лесотранспортных машин с целью выявления оптимальных значений наиболее важных параметров.

Цели и задачи.

Целью данной работы является определение зависимости производительности лесотранспортных машин от различных характеристик и факторов таких как, климатические условия, скорость движения, нагрузка на колесо, параметры энергонасыщенности.

В качестве задач выступают:

1. Сравнение организации лесозаготовительного производства в скандинавских странах и в Северо-Западном регионе РФ, обоснование неприменимости скандинавской схемы в России.
2. Выявление факторов, благоприятствующих появлению перспективной лесотранспортной машины.
3. Обоснование основных конструктивных особенностей предлагаемой лесотранспортной машины нового класса.

Методика исследования.

При написании работы применялся теоретический анализ учебной литературы и научных статей по рассматриваемой теме. Был проведён анализ характеристик существующих форвардеров и сортиментовозов, после чего применялся сопоставительный метод для определения сходств и различий между характеристиками вышеназванных транспортных средств. Анализ представленных в работе графиков позволил оценить зависимости, связанные с производительностью форвардеров.

Результаты и обсуждения исследований.

Традиционная схема сортиментной заготовки древесины предполагает следующее: сортименты с лесосеки на верхний склад доставляются

сортиментоподборщиком или форвардером, а с верхнего склада на нижний - сортиментовозом (рис. 1).

Форвардер работает на относительно небольших расстояниях, что позволяет сохранять достаточно высокую производительность. Участок дороги от верхнего склада до нижнего имеет твердое покрытие, что дает возможность использовать высокопроизводительные сортиментовозы повышенной проходимости с высокой средней скоростью движения.

Если же имеются труднопроходимые участки, то после наступления устойчивых отрицательных температур, они способны выдерживать значительные удельные давления на грунт и вывозка леса осуществляется без перебоев. Снег уплотняется с помощью грейдера, затем выкладывается настил из лесозаготовительных отходов, и уплотняется снег, выпавший поверх древесного настила. Такая модель неприменима к Северо-Западному региону России из-за отсутствия устойчивых холодов.

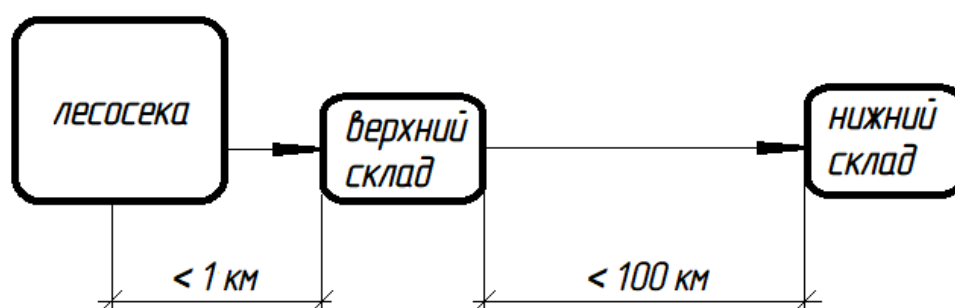


Рис. 1. Традиционная схема организации транспортировки древесины при сортиментной технологии лесозаготовок.

Схема лесозаготовительного производства, в настоящее время используемая в Северо-Западном регионе, приведена на рис.2. Как и в традиционной скандинавской модели сортименты от лесосеки до верхнего склада доставляются форвардером.

Однако расстояние, которое должен преодолеть сортиментовоз от верхнего склада до дороги с относительно твердым покрытием, может достигать 5 ... 25 км. Этот участок характеризуется почвогрунтами с высоким уровнем влажности и низкой несущей способностью, поэтому современные высокопроизводительные сортиментовозы не могут преодолевать их из-за недостаточно большого клиренса и значительного удельного давления на грунт. Сортиментовозы, обладающие значительной проходимостью, например, на базе автомобилей семейства «Урал-4320», в целом способны справляться с этой задачей, за исключением некоторых, особо трудных участков. Для таких случаев сортиментовоз сопровождается гусеничным трелевочным трактором, который буксирует сортиментовоз в случае необходимости (рис.3).

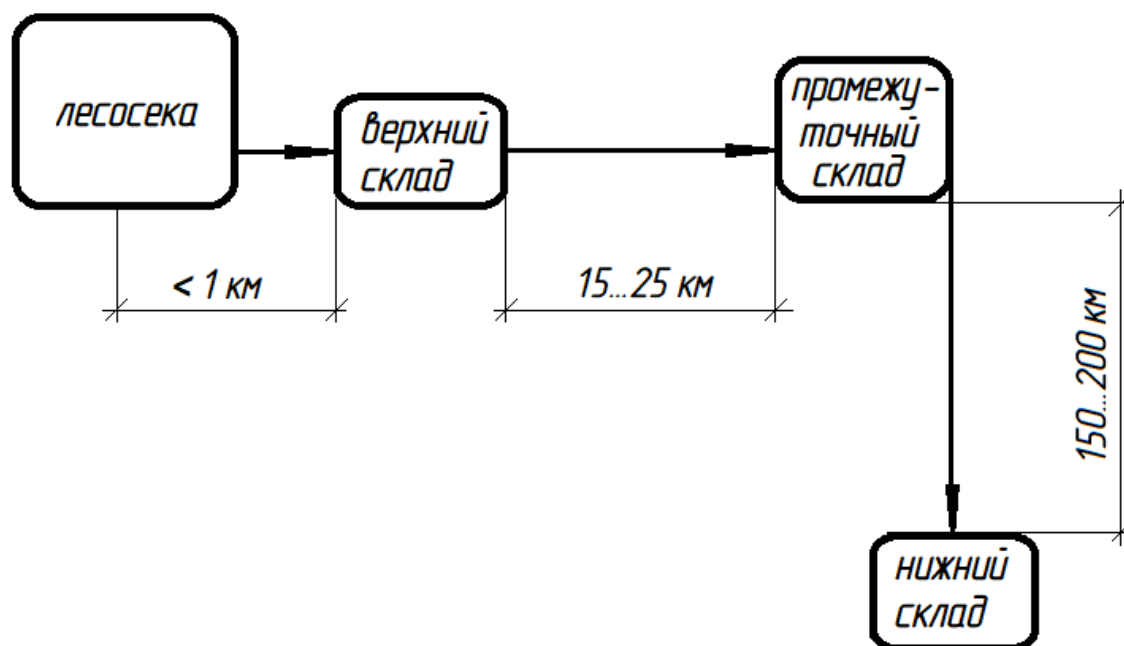


Рис. 2. Схема организации лесозаготовительного производства в Северо-Западном регионе России.



Рис. 3. Сортиментовоз Урал-4320 буксирится трактором ТДТ-55.

При такой схеме транспортировки лесоматериалов значительно падает производительность и увеличиваются затраты, кроме того, техника испытывает повышенные, зачастую ударные нагрузки, что существенно снижает ее надежность и ресурс.

Снижение средней скорости движения сортиментовоза приводит к значительному увеличению себестоимости вывозки сортиментов, что можно проиллюстрировать зависимостью (рис.4). [1]

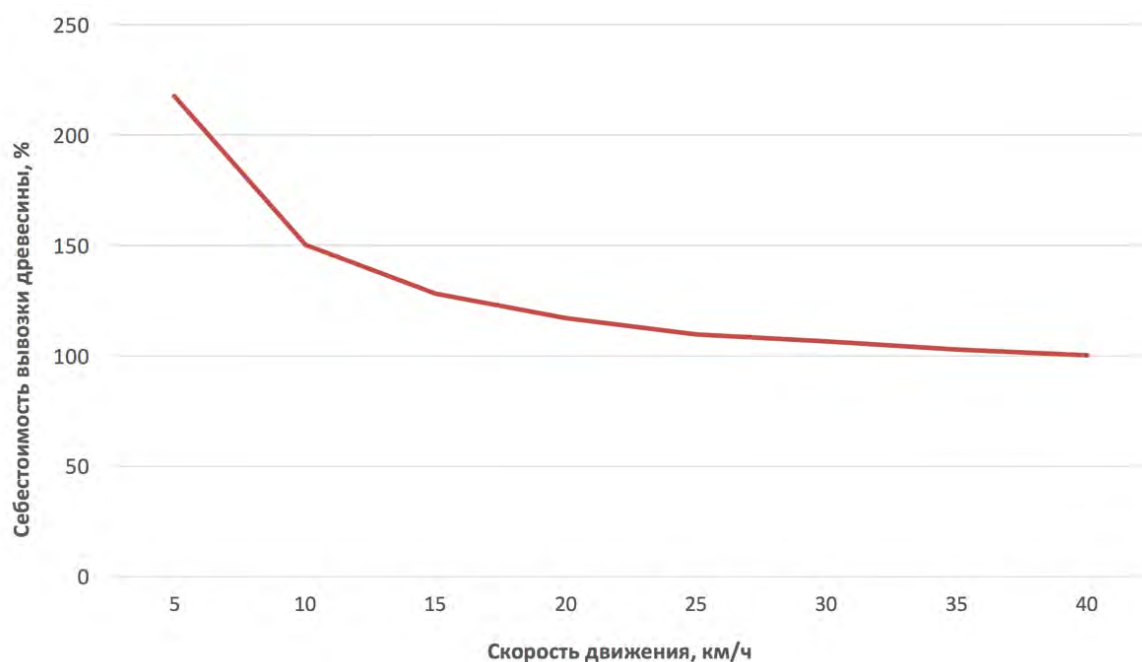
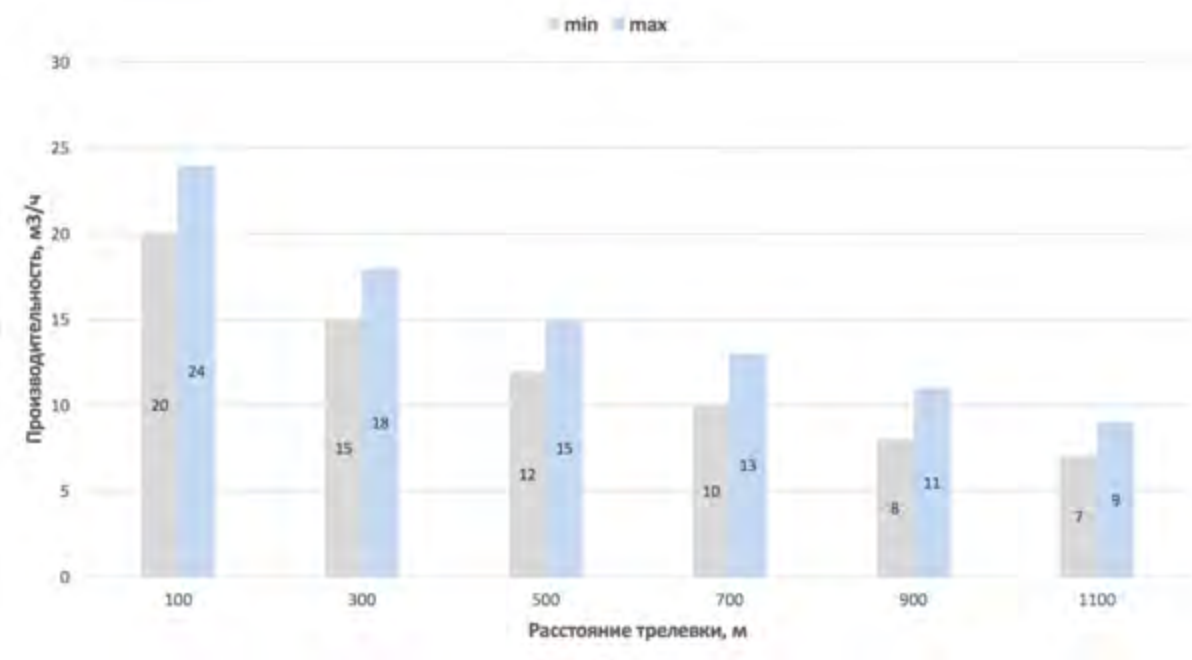


Рис. 4. Зависимость себестоимости вывозки древесины от скорости движения сортиментовоза

Попытки применения форвардеров при вывозке сортиментов от верхнего до промежуточного склада показали свою полную несостоятельность, как по себестоимости и производительности (рис.5), так и по количеству отказов гидростатической трансмиссии, не рассчитанной на длительное движение с относительно высокой скоростью. [2]



5. Производительность форвардера в зависимости от расстояния трелевки

Рис.

Создание нормальной сети лесных дорог с покрытием могло бы решить данный вопрос, однако при отсутствии законодательного регулирования на это рассчитывать не приходится.

Учитывая это, наиболее целесообразным представляется использование нового транспортного средства, так называемого форвардера второго звена. Новая машина должна обладать хорошей производительностью и проходимостью, как стандартный форвардер, но в то же время обладать способностью передвигаться на значительные (5-25 км) расстояния на относительно высокой (до 40 км/ч) скорости. Очевидно, что форвардер второго звена должен объединять в себе преимущества двух вышеназванных транспортных средств, сравнение характеристик которых представлено в табл.1.

Повышение скорости движения форвардера второго звена, помимо увеличения производительности может также положительно сказаться и на проходимости транспортного средства.

Приведём модель (рис.3), полученную как результат исследования в работе [3]. Вновь пользуясь прямой пропорциональностью между величиной давления и величиной деформации, сделаем вывод о том, что с увеличением нагрузки на колесо потери энергии на деформацию грунта возрастают по нелинейному закону. Причём, чем меньше скорость, тем больше эти потери.

Таблица 1

Сравнение характеристик форвардеров и сортиментовозов

Характеристика	Форвардер	Сортиментовоз
Грузоподъёмность	7 ÷ 20 т	11 ÷ 25 т
Мощность двигателя	180 ÷ 320 л.с.	230 ÷ 600 л.с.
Клиренс	580 ÷ 720 мм	270 ÷ 500 мм
Шины (наружный диаметр)	1 340 ÷ 1 800 мм	650 ÷ 1 260 мм
Шины (ширина профиля)	600 ÷ 800 мм	313 ÷ 500 мм
Трансмиссия	гидростатическая	механическая, гидромеханическая
Скорость	до 34 км/ч	до 90 км/ч
Рама	шарнирно-сочленённая	сплошная
Кабина	Панорамная с поворотным механизмом либо кресла, либо самой кабины	стандартная

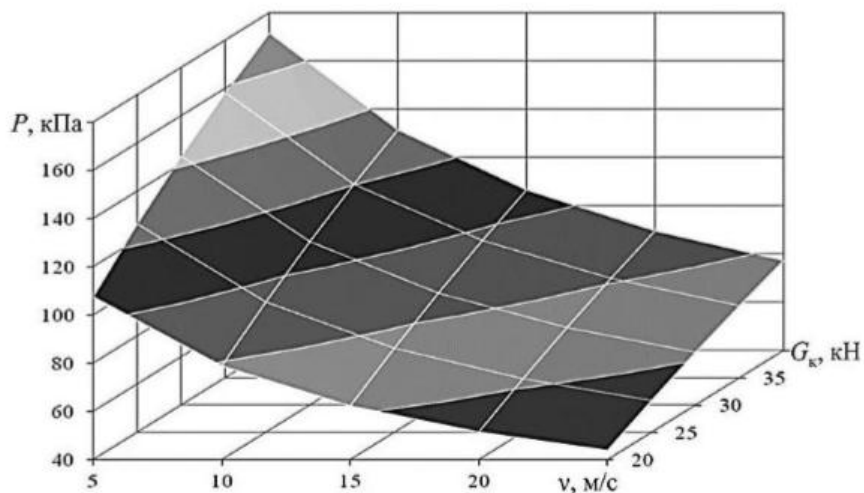


Рис.6. Зависимость давления в зоне контакта шины с грунтом от скорости машины и нагрузки на колесо

Воспользуемся данными, полученными ранее при исследовании зависимости показателей эффективности работы форвардеров на лесных почвогрунтах в зависимости от скоростей движения и энергонасыщенности машины. [4]

На почвогрунтах III категории, как наиболее труднопроходимых, для тяжелых форвардеров, то есть полной массой свыше 22 тонн, четко прослеживается зависимость максимальной скорости движения от коэффициента энергонасыщенности, то есть отношения максимальной мощности двигателя к массе лесотранспортной машины.

Форвардер второго звена несомненно по массогабаритным характеристикам принадлежит к тяжелым колесным сортиментоподборщикам, что позволяет принять данную зависимость, как руководящую при определении базовых параметров машины, в частности минимальной расчетной мощности двигателя для получения необходимого коэффициента энергонасыщенности.

Зависимость глубины колеи от коэффициента энергонасыщенности также позволяет убедиться в справедливости тезиса о необходимости применения максимально энергонасыщенной базовой машины для получения максимально возможной скорости движения, максимальной производительности и минимальной глубины колеи при движении по переувлажненным почвогрунтам.

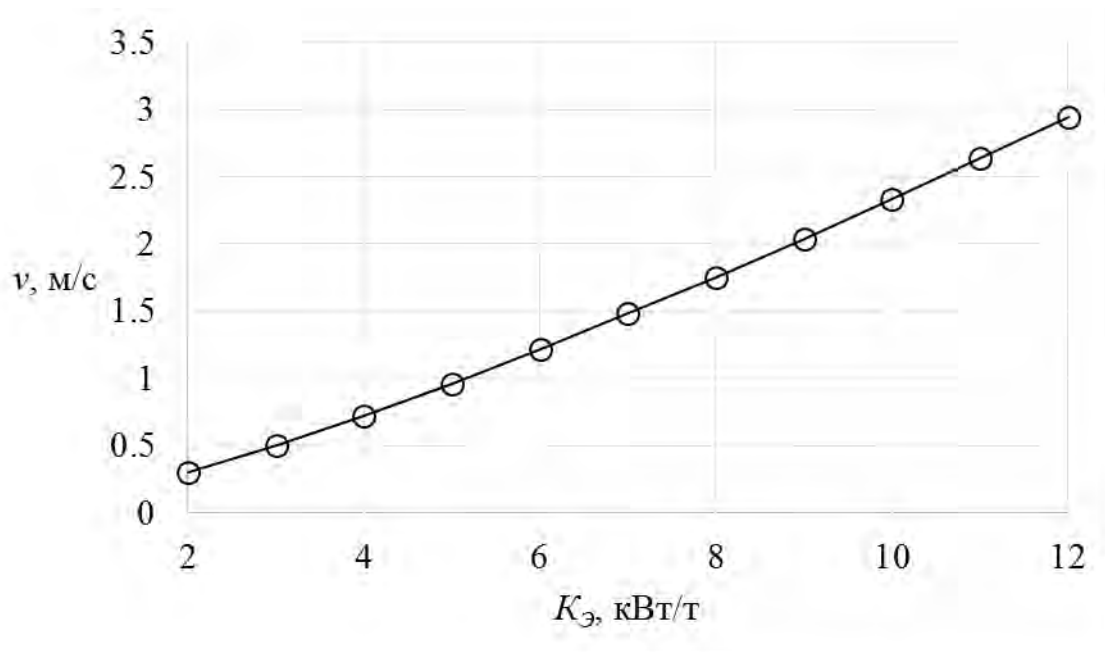


Рис. 8. Зависимость максимальной скорости от коэффициента энергонасыщенности колесного сортирментаподборщика на почвогрунтах III категории.

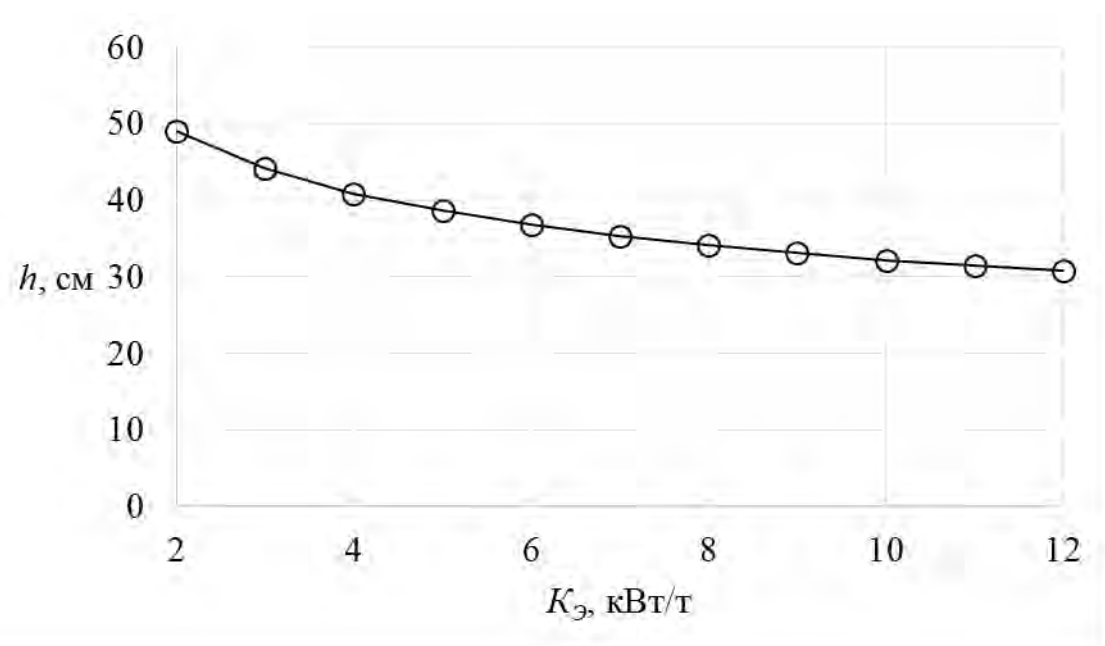


Рис 9. Зависимость глубины колеи от коэффициента энергонасыщенности колесного сортирментаподборщика на почвогрунтах III категории.

Заключение и выводы.

Климатические условия являются одним из основных факторов, влияющим на производительность лесотранспортных машин. Наиболее эффективным решением проблемы повышения производительности данного типа машин представляется создание форвардера второго звена. С одной стороны, он должен сохранить такие характеристики, как клиренс, ширину шин, шарнирно-сочленённую раму, панорамную кабину, из которой осуществляется управление манипулятором. В тоже самое время, новый

форвардер должен иметь сопоставимые с сортиментовозом следующие характеристики: грузоподъемность, относительно высокую скорость передвижения и механическую, либо гидромеханическую трансмиссию с достаточно высоким КПД. Идею создания подобной машины поддерживают как лесозаготовительные предприятия, так и производители транспортных машин, в связи с чем представляется достаточно важным дальнейшее исследование вопроса и уточнение основных характеристик создаваемого нового класса лесотранспортной машины.

Библиографический список

1. *Леонович И.И., Вырко Н.П., Демидко М.Н.* Влияние состояния транспортных путей на эффективность работы лесовозных автопоездов на вывозке заготовленного леса // Труды БГТУ. – Минск : БГТУ. 2014. № 2 (166). С. 37-39.
2. *Герасимов Ю.Ю., Сибиряков К.Н., Мошков С.Л., Вяльккю Э., Карвинен С.* Расчет эксплуатационных затрат лесосечных машин // НИИ леса Финляндии. Йоэнсуу., 2009. 44 с.
3. *Минаев А.Н., Никифорова А.И., Пельмский А.А., Киселев Д.С., Андронов А.В., Язов В.Н.* Математическая модель процесса образования колеи под воздействием колесных лесных машин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал – Архангельск : Северный (арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. 2013. №5 (335). С. 142–149.
4. *Андронов А.В.* Повышение эффективности трелевки путем учета энергонасыщенности колесных сортиментоподборщиков : дис. канд. тех. наук : 05.21.01 / Александр Вячеславович Андронов – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ. 2015. 154 с.

Сведения об авторах

ФИО	Андронов Александр Вячеславович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8345-3722
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Широкова Дарья Львовна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет SPIN-кода
e-mail	neptun1996@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена оценке зависимости производительности форвардера от таких факторов, как климатические условия, организация транспортировки древесины (скорость движения, расстояние трелёвки), нагрузка на колесо, энергонасыщенность. Приведены обоснования неприменимости современной схемы организации лесозаготовительного производства как с точки зрения производительности, так и с точки зрения себестоимости. Произведён анализ работы форвардера при движении по переувлажнённым почвогрунтам. Результатом работы является обоснование необходимости создания форвардера нового поколения, характеризующегося более высокой производительностью. Кроме того, использование нового транспортного средства будет способствовать уменьшению себестоимости лесозаготовок.

Ключевые слова: форвардер, трелёвка, производительность, forwarder, skidding, efficiency.

УДК 630*375.4, 630*375.5

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

Исследование параметров структуры терминальных сетей

Диева Л.Н., Матвейчикова Е.А.

Введение.

Важность новых методологических исследований в области расчета параметров, устройства и организации работы региональных транспортно-логистических систем связана с недостаточностью развернутости и комплексности существующих исследований. В современной транспортной науке все еще не сформированы интегрированные направления, которые прослеживали бы такие непростые логистические образования, как терминальные сети. Данное обстоятельство обусловило актуальность темы исследования.

Результаты исследования.

Разработка терминальной сети – сложная методологическая задача. В данном случае следует принимать во внимание круг интересов всех сторон перевозочного процесса и прочие нюансы регулирования грузодвижением (величину запасов и партии, вместимость склада, территориальное и количественное размещение терминалов, анализ рынков). Значимой стороной изучения логистики терминальных сетей и инфраструктуры считается процесс формирования и расчета основных параметров терминальной сети.

Терминальная сеть региона – совокупность взаимодействующих и централизованно управляемых узлов (терминалов), обеспечивающая межрегиональную интеграцию и выходы на транспортные коридоры страны [1].

Результативность транспортного обслуживания региональных промышленных потребителей состоит в минимизации расходов, сопряженных с перевозкой. К ним принадлежат расходы согласно доведению груза до конечного потребителя, собственно – на распределение (дистрибуцию, или распыление грузопотоков по направлениям доставки), на промежуточное хранение груза в ходе грузодвижения и расходы непосредственно на перевозку.

При расчете основных параметров терминальной сети необходимо принимать во внимание не только целый диапазон расходов, сопутствующих перевозке, но и альтернативность вероятных пространственно-количественных и транспортных решений сети.

К пространственно-количественным решениям сети мы относим число (один или несколько в районе) и дислокацию (географическое расположение) терминалов в её составе и области притяжения к ним промышленных предприятий. Это позиционирует сеть в едином транспортно-экспедиционном пространстве региона. На пространственно-количественные параметры терминальной сети выражают воздействие такие показатели, как размещение и плотность размещения значительных промышленно-транспортных узлов, число и дислокация отправителей и потребителей грузов, наполненность внешними и внутренними транспортно-хозяйственными связями, мощность и направленность грузопотоков, существующая складская инфраструктура,

присутствие выходов на транспортные коридоры, географическое размещение региона и несколько других.

К транспортным решениям сети относятся: вид транспорта (автомобильный/железнодорожный, определяется по каждой транспортной связи); вид доставки (одно- или многовидовая); вид перевозки (прямая или терминальная). В то же время виды транспортного обслуживания по каждой транспортной связи могут оказаться разными. На транспортные параметры терминальной сети выражают воздействие такие показатели, как развитие (разветвленность) и структура дорожной сети, наличие магистральных транспортных направлений, присутствие и формирование видов транспорта в регионе, дислокация и взаимное размещение транспортных узлов как пунктов стыка различных видов транспорта и несколько других.

Оптимальный вариант терминальной сети – это совокупность числа и дислокации терминалов в ее составе, вида (видов) транспорта для их обслуживания, затраты согласно которому минимальны по сравнению с иными возможными вариациями [2].

Заключение.

При таких обстоятельствах, формирование терминальной сети должно обеспечить управляемость системы накопления и распределения грузопотоков, что, в свой черед, даст возможность увеличить результативность транспортно-логистического обслуживания регионов.

Библиографический список

1. *Покровская О.Д.* Формирование терминальной сети региона для организации перевозок грузов. ТрансЛит, 2012. – 192 с.
2. *Миротин Л.Б.* Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов / Л. Б. Миротин, А. В. Бульба, В. А. Демин.; Феникс, 2009. - 408 с.

Сведения об авторах

ФИО	Диева Л.Н.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9390-1793
e-mail	diewa.lyuda2014@yandex.ru
ФИО	Матвейчикова Е.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9363-8124
e-mail	katya199499@mail.ru

Аннотация

Приведены основные параметры структуры терминальных сетей. Обоснована актуальность и дана характеристика терминальной сети.

Ключевые слова: терминальная сеть, терминальная сеть региона

УДК 656.1/.5 **Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.01** Транспортирование леса

Перспективы увеличения объемов лесозаготовок в РФ и пути решения на примере увеличения объемов плотового лесосплава в Сибирском ФО

Григорьев Г.В. Дмитриева И.Н. Кутузов Д.А.

Введение.

Запасы лесных ресурсов и фактические объемы лесозаготовок в РФ.

При оценке рисков вложения инвестиций в перерабатывающие отрасли лесного комплекса с длительным сроком окупаемости и большим объемом переработки возникла потребность в достоверной информации по запасам лесных ресурсов РФ и местам их расположения, схема которых по данным Росстата показана на рис.1.

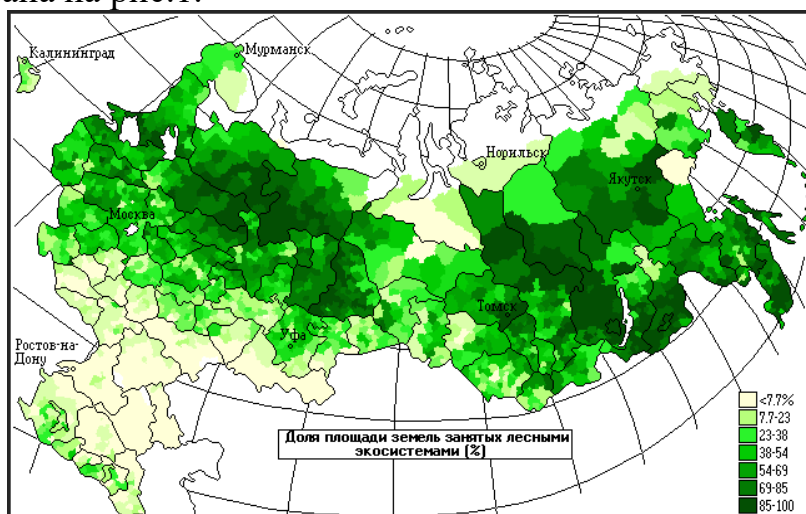


Рис. 1. Распределение основных объемов лесных ресурсов в России по данным Росстата

На схеме 2 приведены сведения по максимально допустимому годовому объему изъятия древесины в стране и фактических объемах лесозаготовки за период с 2008 -2016г. График показывает, что фактические объемы заготовки древесины не за рассмотренный период времени колеблются в интервале 30-36%, не достигая даже 40% от допустимого ежегодного объема заготовки древесины

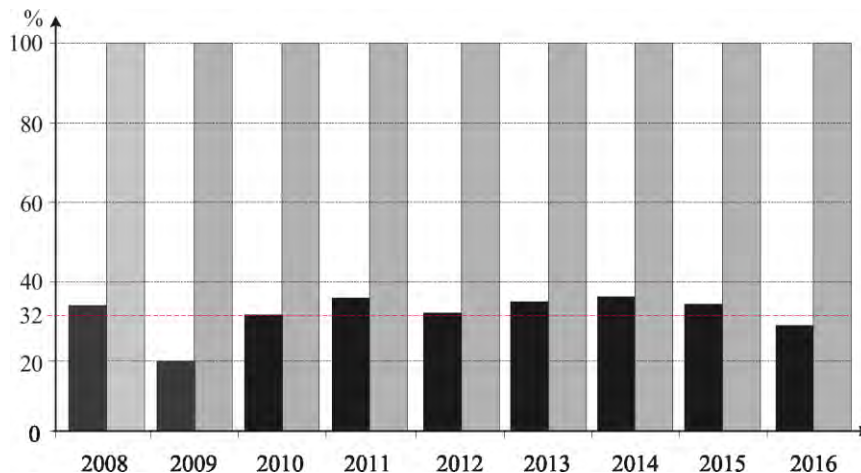


Рис.2. Фактические объемы заготовки древесины в РФ в процентах к допустимому объему заготовки

Данные ряда открытых источников свидетельствуют о том, что РФ в значительно недоиспользует свои лесные ресурсы, и в то же время в 2017 году крупные и средние деревоперерабатывающие производства столкнулись с дефицитом сырья, основными причинами которого называют истощенность лесов в зоне транспортной доступности и низкую достоверность данных о лесоустройстве. Сопоставление данных диаграммы рис.2 свидетельствует о том, что объемы ежегодной заготовки древесины в стране не превышают трети от допустимого объема расчетной лесосеки.

На рис.3. представлена схема освоения годовой расчетной лесосеки по лесным регионам европейской части РФ в % к расчетной лесосеке.

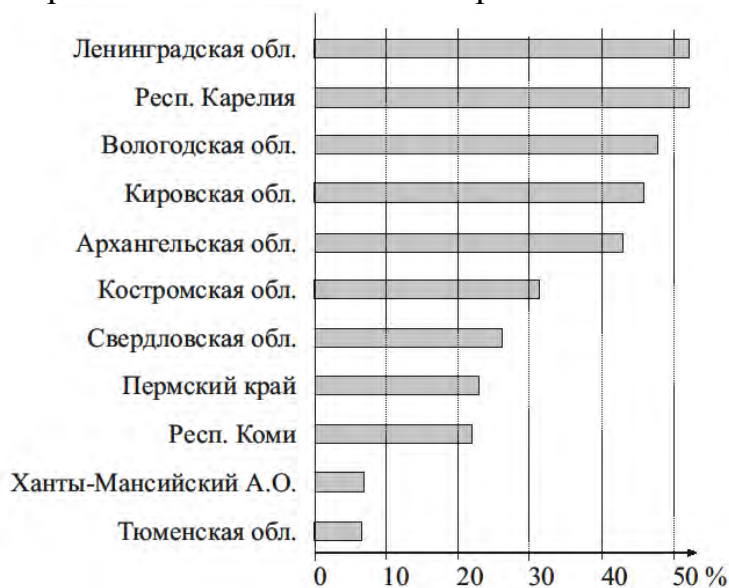


Рис.3. Годовое освоение лесосеки региона европейской части РФ в % от расчетной лесосеки.

Из графика четко прослеживается зависимость объемов заготовки древесины от развитости дорожной сети и инфраструктуры региона. Для подтверждения этой зависимости выберем два крайних субъекта на диаграмме рис.3.: Ленинградскую и Тюменскую область. В таблицу 1 сведены показатели этих регионов по площадям территории, лесного массива, запасам древесины, протяженности автомобильных и железных дорог всех типов назначения и водных путей. Таблица составлена на основании данных Росстата и Росавтодора и управления по транспорту за 2017 год. На основании обработанных данных таблицы 1 можно сделать выводы, что Ленинградская область, при запасах древесины, составляющих 16% от запасов Тюменской области ежегодно заготавливает объемы древесины в 9 раз больше, или по приведенным показателям в расчете на 1 м^3 расчетной лесосеки Ленинградская область ежегодно заготавливает в 243 раза больше древесины. Сравнение же транспортной инфраструктуры, показывает, что автомобильная сеть на единицу площади территории в 37 раз превосходит аналогичный показатель Тюменской области, железнодорожная - в 17.5 раз, водная - в 30 раз. Следовательно, слаборазвитая транспортная сеть Тюменской области - это важный, но не единственный фактор, влияющий на низкие объемы заготовки древесины.

Показатели запасов древесины и транспортных путей двух областей РФ

Показатель	единицы измерения	область		доля показателя Ленинградской к показателю Тюменской области	
		Ленинградская	Тюменская		
Площадь территории	тыс км ²	83.9	1464.2	0.06	
площадь лесов	млн га	5.7	43	0.13	
запасы древесины	млрд м ³	0.8	5.0	0.16	
освоение расчетной лесосеки	%	52	6	8.67	
длина дорог	автомобильных всего	км	18737	8982	2.1
	региональные и муниципальные		9772	5131	1.9
	на единицу площади территории	км/км ²	0.22	0.006	37
	железнодорожных	км	0.11	0.003	
	на единицу площади территории	км/км ²	0.035	0.002	17.5
речная система	тыс. км	50	32.7	1.53	
в т.ч. на единицу площади территории	км/км ²	0.6	0.02	30	

На рис.4. представлена схема освоения годовой расчетной лесосеки по лесным регионам Дальнего востока РФ в % к расчетной лесосеке, которое в среднем не превышает 25%. Сопоставление этих показателей с данными диаграммы 2 показывает, что регионы Дальнего востока показывают значения на 20% ниже средних по стране по заготовке древесины.

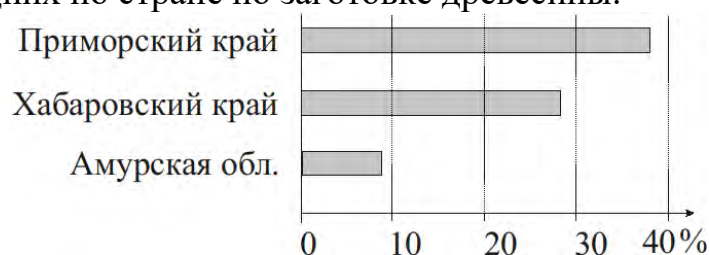


Рис.4. Годовое освоения лесосеки региона Дальнего востока % от расчетной лесосеки.

Цели и задачи.

Анализ возможностей освоения запасов древесины Сибирского Федерального округа и оценка возможности увеличения водных поставок древесины в плотках в Томской области.

На долю Сибирского Федерального округа (СФО) приходится 30% территории РФ, 40% запасов древесины, четверть водных путей и 11% дорог всех назначений. В таблице 2 приведены сравнительные показатели по запасам

лесов СФО и в целом по РФ по данным Росстата и транспортные показатели СФО.

Табл.2.

Сравнение запасов древесины инфраструктуры СФО и РФ

Показатель	единицы измерения	СФО	РФ	доля показателя СФО к показателю РФ
Площадь территории	тыс км ²	5145	17125	0.3
площадь лесов	млн га	295	718	0.41
запасы древесины	млрд м ³	31.7	76.7	0.42
освоение расчетной лесосеки	%	12	35	0.34
протяженность рек	тыс.км	1583.4	6500	0.24
в т.ч. на единицу площади территории	км/км ²	0.31	0.38	0.82
дорожная сеть	тыс.км	155.1	1398	0.11
в т.ч. на единицу площади территории	км/км ²	0.03	0.08	0.38
протяженность рек/протяженность дорог	раз	10.2	4.6	2.2

На рис. 5 представлены сведения по объемам освоения годовой расчетной лесосеки по лесным регионам СФО в % к расчетной лесосеке, которое в среднем не превышает по региону 12%.



Рис.5. Годовое освоение древесины по СФО % от расчетной лесосеки

Это почти втрое ниже среднего показателя по стране, показанного на диаграмме рис.1. Приведенные значения подтверждают, что увеличение объема заготовки древесины возможно при условии готовности вкладываться в развитие дорожной сети СФО в расчете долгосрочной окупаемости. Другой и возможно единственный путь увеличения объема заготовок древесины - организация поставок лесоматериалов по водным путям СФО.

Изучение Лесного плана Томской области показало, что наибольшие запасы древесины имеются в Тегульдетском лесничестве – 128.1млн.м³ [1].

Общий годичный прирост запаса древесины составляет 2,23 тыс.м³. Эти показатели могут служить ориентирами при назначении возможных годовых объемов поставок древесины предприятиям водным путем. Доля хвойных пород в спелых и перестойных лесах составляет 38,3%, доля мягколиственных древесных пород 61,7%. Такое соотношение пород отвечает Правилам подготовки древесины к плотовому сплаву. Водной артерией этого района является река Чулым.

Результаты и обсуждение исследований.

Для обеспечения безаварийной доставки древесины в плотях были исследованы гидрометрические и гидрологические характеристики в 6 створах реки, которые позволили определить период плотового лесосплава и минимально допустимые уровни воды для буксировки плотов [2]. Значения расчетных параметров для оценки объемов плотового лесосплава приведены в таблице 3. Максимально возможный период лесосплава составил 110 суток

Таблица 3

Значения расчетных параметров плотового лесосплава в створах реки Чулым

Расчетные параметры		створ реки					
		1	2	3	4	5	6
Минимальные уровни, м		12,3	10,9	10,5	10,8	10,5	11,0
Ширина реки, м		440	350	340	172	216	275
Средняя скорость течения, м/с		0.79	0.86	0.71	0.70	0.72	0.76
колебания скорости, м/с	в начале периода	0.88	0.97	0.75	0.85	0.77	0.88
	в конце периода	0,70	0,74	0.66	0.75	0.67	0,64

Формирование двухсекционных хлыстовых плотов длиной 212м, шириной 31,2м и осадкой 1,2м происходит на плотбищах, расположение которых определено на основе анализа лоцманских карт и результатов обследования участков реки [3]. Всего было выбрано 8 мест, в которых возможно разместить плотбища. Результаты выполненных расчетов сведены в таблицу 4. В таблице 5 представлены результаты выполненного расчета времени рейса плотов с плотбищ до пункта приемки в городе Асино и потребного количества буксиров ЛС-56Б. Общий объем плотов за навигацию может составить около 300 тысм³ древесины.

Сложным участком реки для безопасной буксировки плотов, где река образует петлю малого радиуса кривизны судового хода является участок, показанный на рис.7. Здесь происходит снижение минимальной ширины судового хода и буксируемому плоту трудно вписаться в поворот реки. Результатом этого может быть навал хвоста плота на берег и как следствие разрушение хвостовой части. Для исключения аварии плота необходимо существенно снизить скорость буксировки. Это было учтено введением поправочного коэффициента на число участков изгиба реки и снижение скорости буксира [4].

Также был выполнен дополнительный расчет выполнения прокопа для спрямления русла реки. Расположение прорези также показано на рисунке 7. Подсчет объема грунта для проведения одного прокопа произведен

относительно проектного уровня воды в реке на глубину 0,95 м [4]. Общий объем земляных работ по спрямлению русла реки составил 131,1 тыс. м³

Таблица 4

Результаты расчетов габаритов плотбищ количество техники

плотбище	участок	Длина плотбища (участка), м	Ширина плотбища, м	Объем древесины на плотбище, м ³	Производительность трактора, м ³ /смену	количество тракторов, шт.	Количество формируемых плотов, шт.
1	1	786	728	119232	188	13	54
2	1	690	50	6624	261		3
	2	244	90	4416	407		2
	3	226	50	2208	435		1
3	1	840	145	15456	286	3	6
4	1	470	90	8832	360	3	7
5	1	509	346	26496	272		12
	2	938	128	17664	279		8
6	1	250	122	4416	389	2	2
7	1	1038	168	19872	259		9
	2	228	123	6624	394		3
	3	700	48	6624	336		3
8	1	450	87	8832	364		4
	2	956	120	17664	279		8
	3	350	62	2208	397		1
	4	435	42	4416	389		2
Итого				33120		4	15
Всего				271584		37	121

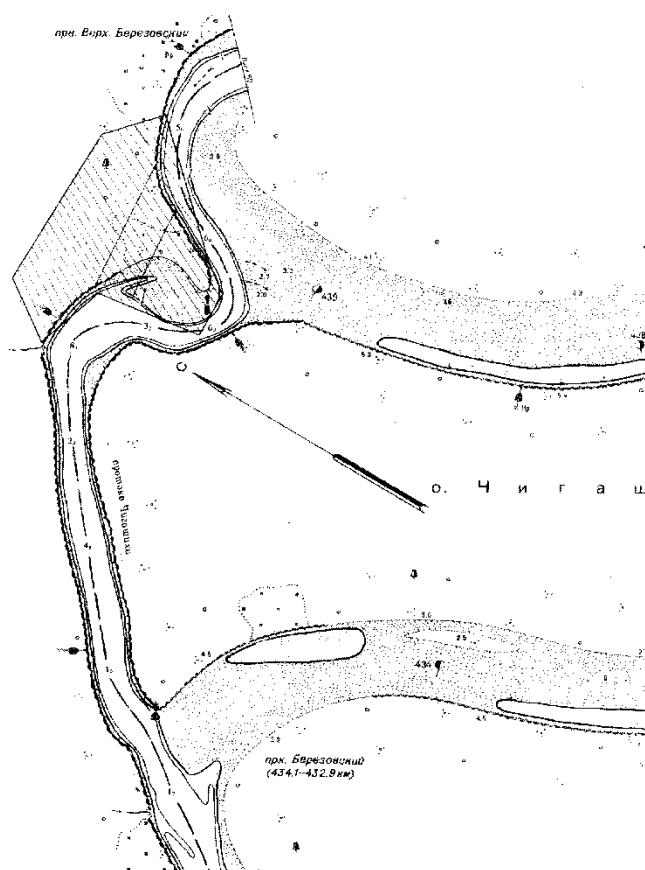


Рис. 7. Расположение прорези у протоки реки

Таблица 5

Результаты расчета времени рейса и потребного количества буксиров

плотбище	Расстояние от устья, км	Расстояние буксировки, км	Количество плотов, буксируемых за навигацию, шт.	Скорость буксировки плота с цепями, км/ч	Возможное количество рейсов одного буксира за навигацию, рейсы	Время рейса, сут.	Потребное количество буксиров, шт.
1	675,4	330	54	5,2	8	7	9
2	663,0	318	6				1
3	655,0	310	7				1
4	656,0	311	4				1
5	522,0	177	20	6,1	18	3	2
6	522,0	177	2				1
7	518,0	173	15				1
8	512,0	167	15				1
всего плотов			121				
Итого:							17

Заключение и выводы.

1.РФ имеет площадь лесов 718 млн га и запасы древесины по разным оценкам составляют от 76 до 83 млрд м³. Разброс значений в 8%

свидетельствует о недостаточной достоверности данных из-за устаревших данных и запоздалом внесении сведений о лесных пожарах, отсутствии сведений о незаконных рубках

2. Освоение расчетной лесосеки не превышает трети от возможных значений и ведется крайне неравномерно, в основном в местах наличия транспортной сети. Это привело в 2017 году к дефициту лесного сырья.

3. СФО занимает 30% площади РФ, и владеет 42% запаса леса страны.

4. От значений расчетной лесосеки ежегодно используется только 12%.

5. Имея низкие показатели дорожной сети СФО имеет самый высокий по стране показатель речной системы - свыше 1.5 млн км, т.е. является наиболее интересным для долгосрочного инвестирования в разработку и организацию технологических работ по возобновлению водных поставок лесных грузов.

6. Для оценки возможности увеличения водных поставок древесины в плотях выбран объект - река Чулым с запасом древесины 128.1млн.м³.

7. На основании изучения гидрологических характеристик реки были установлены возможная продолжительность периода плотового лесосплава 110 суток [5] и определены месторасположение и размеры 8 плотбищ для формирования плотов, определена их возможная вместимость, составившая около 300 тыс.м³ древесины в хлыстах, определены транспортные характеристики плотов и потребное количество буксиров.

8. На основании выполненных расчетов принят двухсекционный хлыстовый плот, объем плота составляет 2.2. тыс м³ древесины. Дано обоснование необходимости в разработке прорези для спрямления участка реки, составлен план и произведен подсчет объема земляных работ и подобрано оборудование для производства работ (Подробно расчеты приведены в магистерской диссертации Кутузова Д.А.).

9. Выполненный расчет для возобновления плотового лесосплава только для одного участка реки СФО вселяет оптимизм для возможностей увеличения лесозаготовок с использованием в качестве транспортных магистралей водной системы СФО.

Библиографический список

1. Лесной план Томской области. 19.03.2015 № 57. ДЛХ Томской обл.Томск.
2. Гидрологические ежегодники. т.6 М. 1987г. ГУ Томской ЦТМС 2017г.
3. Правила (технические условия) сплотки пучков и формирования плотов конструкции ЦНИИлесосплава – Томлеспром для буксировки в границах Западно-Сибирского пароходства. 1986 г. Л.–Томск, 1986. – 40с.
4. *Овчинников М.М., Полищук В.П. Григорьев Г.В.* Лесосплав и судовые перевозки лесоматериалов. Учебник. - М.: Изд. «Академия», 2009.– 204 с.
5. *Кутузов Д.А., Дмитриева И.Н.* Анализ гидрометрических характеристик русла реки Чулым // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА материалы Международной научно-технической конференции. Вологда. 2017. С. 74-77.

Сведения об авторах

ФИО	Григорьев Г.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9029-2864
e-mail	vtl-lta@mail.ru
ФИО	Дмитриева И.Н.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5509-6592
e-mail	in2907@mail.ru
ФИО	Кутузов Д.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4289-5510
e-mail	dmitriy.kutuzov1@yandex.ru

Аннотация

В статье собран и проанализирован материал по объемам лесных ресурсов, допустимому объему изъятия и фактическому объему лесозаготовок для ряда субъектов и РФ в целом. Сопоставлены данные о протяженности автомобильных, железных дорог и водных транспортных путей в целом и на единицу площади субъектов федерации и степени их влияния на объемы заготовки леса.

С целью возобновления водных поставок выбран Сибирский Федеральный округ, Томская область и на примере конкретной реки выполнены расчеты объема водных поставок круглого леса в плотях и необходимые мероприятия для реализации технологии плотового лесосплава.

Ключевые слова: водный транспорт леса, плотовой лесосплав, период лесосплава, буксировка плотов, расчетная лесосека, плотбище

УДК 656.6

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.17: Водное транспортирование леса. Сплав леса

Моделирование процесса использования передаточных чисел механической трансмиссии трелёвочного трактора

Добрынин Ю.А.

Введение.

Эксплуатация трелёвочного трактора на лесозаготовках, как правило, проходит в сложных природно- производственных условиях с преодолением различного рода препятствий, избыточно увлажненных мест, подъемов и прочих особенностей лесосеки изменяющихся в различные периоды года. При этом трактористу (оператору) приходится систематически использовать механическое включение той или иной передачи коробки перемены передач (КПП) при движении вперед, а также передачу заднего хода, что непосредственно связано с изменением передаточного числа механической трансмиссии определяющего его скорость движения, транспортную производительность, энергозатраты, нагруженность элементов конструкции, то есть в целом эксплуатационную эффективность.

Цель и задача.

В настоящем исследовании предлагается: на основе сложившегося подхода к выбору передаточного ряда трансмиссии трелевочного трактора с соответствующим двигателем, использовать стохастическую математическую модель, описывающую процесс включения той или иной передачи КПП трелевочного трактора в процессе его работы на лесозаготовках.

Методика исследования. Неизбежное частое переключение передач трансмиссии может быть уменьшено установкой двигателя с большим запасом мощности, однако это ведёт к повышенному расходу топлива, а также масла на угар.

Мощность двигателя и её запас, должна рационально сочетаться с передаточными числами и передаточным рядом механической трансмиссии трактора, чтобы была возможность преодоления временных перегрузок без перехода на низшую передачу с повышенным передаточным числом. В этой связи коэффициент приспособляемости двигателя должен быть $K_M = 1,2 - 1,4$.

Идеальной тягово-скоростной характеристикой трактора принято считать характеристику, при которой произведение касательной силы тяги на скорость движения есть величина постоянная [Антипин В.П., 2017],

$$N_0 = F_{к0} * U_0 * \eta_M^{-1} = \text{const}, \quad (1)$$

где $N_0, F_{к0}, U_0$ – средние составляющие мощности двигателя, касательной силы тяги и скорости двигателя соответственно; η_M – механический коэффициент полезного действия (КПД) трансмиссии и двигателя трактора.

Условие (1) выполняется при распределении передаточного ряда трансмиссии по закону гиперболы, что непосредственно связано с величиной приращения цикловой подачи топлива в двигатель также по закону гиперболы.

В исследовательской работе [Анисимов Г.М., Кочнев А.М., 2010] отмечается, что определение рационального ряда передаточных чисел трансмиссии трелёвочного трактора целесообразно проводить на основании

прогнозирования времени использования различных передаточных чисел и применительно к вероятностно-статистическим характеристикам нагружения трактора при трелёвке леса с учётом параметров двигателя.

Конструктивная особенность механических КПП, которыми оснащаются множество гусеничных и колесных трелёвочных тракторов состоит в том, что каждое переключение с одной передачи на другую (изменение передаточного числа) происходит дискретно и непосредственно через нейтральное положение рычага переключения передач. Случайные переходы в рассматриваемом процессе имеют характер мгновенных скачков, что несколько идеализируют картину, но не противоречат ей. В этой связи, процесс переключения передач при рассмотрении работы трелёвочного трактора на лесозаготовках может быть представлен совокупностью конечных дискретных состояний с топологией звездного графа (Рис.1).

Очевидно, что процесс использования передаточного числа в трансмиссии трактора посредством КП является случайным с дискретными состояниями, обладающими марковским свойством, а именно, вероятность появления каждого последующего состояния зависит только от настоящего и носит цепной характер, который может быть смоделирован простой марковской цепью. Считается, что марковская цепь задана, если известен вектор начальных вероятностей и матрица переходов [Андреев В.Н., Иоффе А.Я., 1987; Вентцель Е.С., 1980].

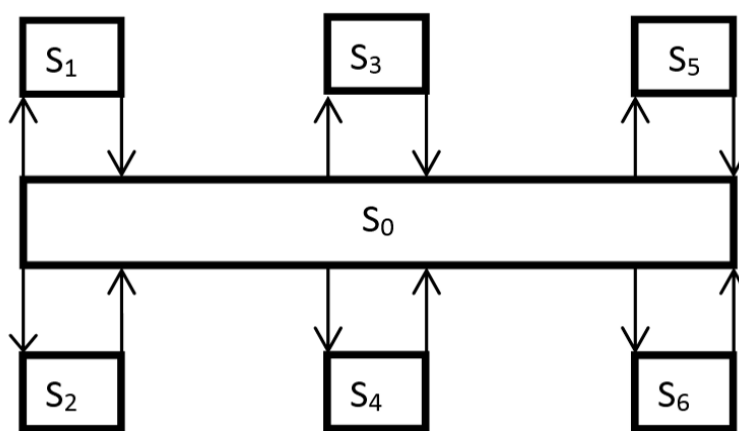


Рис.1. Граф процесса функционирования коробки передач трелёвочного трактора «Онежец» с механической трансмиссией.

S_0 - состояние нейтральной передачи;

S_1, \dots, S_5 - состояния включения соответствующих передач с первой по пятую;

S_6 - состояние включения передачи заднего хода.

Вектор начальных вероятностей (вектор строка) в рассматриваемом процессе имеет вид

$$\mathbf{P}_{\langle 7 \rangle}^{(0)} = \langle 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle, \quad (2)$$

так как процесс работы КПП начинается с нейтральной передачи (состояние S_0).

Матрица переходов для КПП, представленной на рисунке имеет вид

$$\Pi_{[7]} = \begin{matrix} & S_0 & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ \begin{matrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} & \left| \begin{array}{cccccc} P_{00} & P_{10} & P_{20} & P_{30} & P_{40} & P_{50} & P_{60} \\ P_{01} & P_{11} & P_{21} & P_{31} & P_{41} & P_{51} & P_{61} \\ P_{02} & P_{12} & P_{22} & P_{32} & P_{42} & P_{52} & P_{62} \\ P_{03} & P_{13} & P_{23} & P_{33} & P_{43} & P_{53} & P_{63} \\ P_{04} & P_{14} & P_{24} & P_{34} & P_{44} & P_{54} & P_{64} \\ P_{05} & P_{15} & P_{25} & P_{35} & P_{45} & P_{55} & P_{65} \\ P_{06} & P_{16} & P_{26} & P_{36} & P_{46} & P_{56} & P_{66} \end{array} \right. & \end{matrix} \quad (3)$$

Сделаем предположение, что условные вероятности, составляющие матрицу (3) не зависят от номера опытов, при которых они получены, тогда дискретная марковская цепь является однородной, а так как не учитывается предыстория рабочих состояний на каждой передаче, то она – простая.

Объединяя (2) и (3) в виде произведения вектора начальных вероятностей на матрицу переходов, получим выражение для определения состояния КПП после первого шага процесса.

$$P_{(7)}^{(1)} = P_{(7)}^{(0)} \Pi_{[7]}. \quad (4)$$

Для второго шага

$$P_{(7)}^{(2)} = P_{(7)}^{(1)} \Pi_{[7]}, \quad (5)$$

а для шага «n» и «k» состояний приходим к уравнению Колмогорова-Чепмена, позволяющему вычислить вероятности состояний марковского случайного процесса на любом шаге при наличии информации о предшествующих состояниях [Вентцель Е.С., 1980].

$$P_{\langle k \rangle}^{(n)} = P_{\langle k \rangle}^{(n-1)} \Pi_{|k|}.$$

Или

$$P_{\langle k \rangle}^{(n)} = P_{\langle k \rangle}^{(0)} \Pi^n. \quad (6)$$

При возведении матрицы переходов в степень «n» значения переходных вероятностей стабилизируются и приближаются к финальным, то есть будут иметь одинаковые значения по всем столбцам и строкам, при этом сумма вероятностей состояний по строкам будет равна единице. А финальные вероятности указывают на среднее время использования каждой передачи КПП, то есть приводят к возможности прогнозирования времени использования каждой передачи, необходимого для установления рационального ряда передаточных чисел КПП, в соответствии с рекомендацией, изложенной в работе [Анисимов Г.М., Кочнев А.М., 2010].

Результаты и обсуждение исследований. Испытаниями гусеничных трелёвочных тракторов Онежского тракторного завода [Анисимов Г.М., Кочнев А.М., 2010] в различных условиях эксплуатации, с различными

рейсовыми нагрузками и двигателями с различными коэффициентами приспособляемости установлено, что для дизельного двигателя с коэффициентом приспособляемости $K_M = 1,4$ вероятности использования передаточных чисел (передачи КПП) без учёта включения передачи заднего хода (S_6) и времени пребывания в нейтральном состоянии составили: $S_1=0,34$; $S_2=0,25$; $S_3=0,18$; $S_4=0,13$; $S_5=0,10$ (Рис.2).

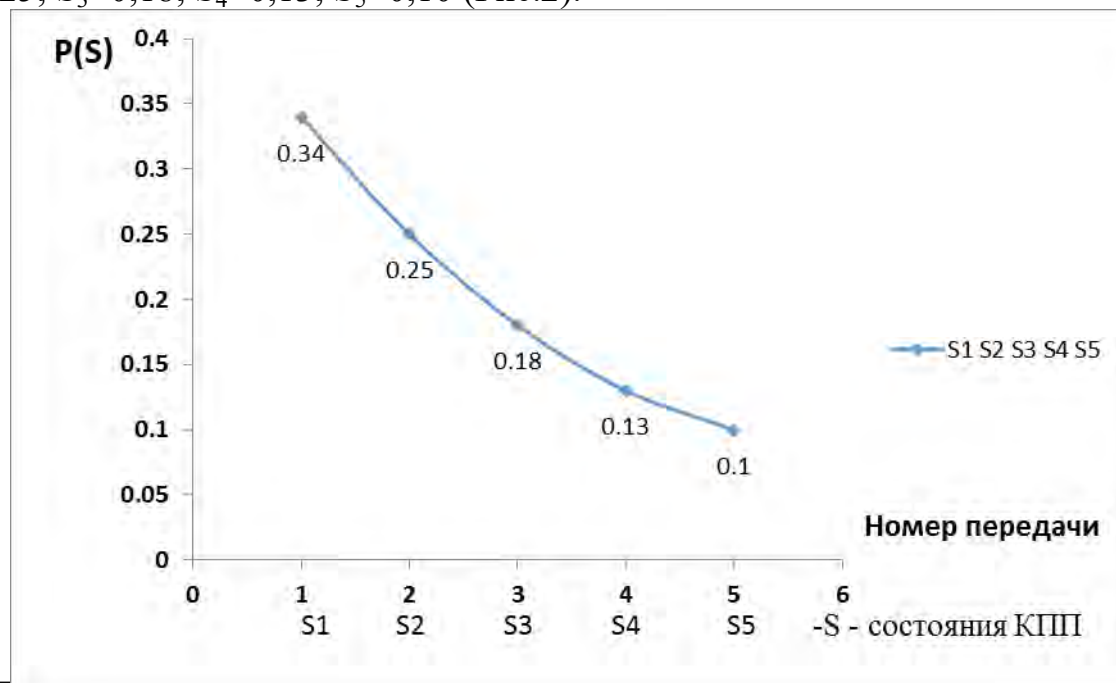


Рис. 2. Вероятности состояний КПП трелёвочного трактора

По предлагаемой модели (6), с исключением состояний S_0 и S_6 , на эти же результаты, или близкие к ним, указали бы значения финальных вероятностей.

Распределение передаточного ряда трансмиссии по закону гиперболы (Рис. 2) подтверждает реализацию в конструкции гусеничного трелёвочного трактора проектной тягово-скоростной характеристики, соответствующей выражению (1).

Заключение. Данные по вероятностному использованию передаточных чисел трансмиссии в процессе работы КПП позволяют оценить согласование параметров двигателя и трансмиссии, корректировать ряд передаточных чисел и конструктивных особенностей КПП с целью повышения эксплуатационной эффективности трелёвочного трактора.

Результаты моделирования процесса использования передаточных чисел механической трансмиссии могут быть востребованы (как основа) при создании и совершенствовании параметров трелёвочного трактора с автоматической трансмиссией.

Библиографический список

1. Андреев В.Н., Иоффе А.Я. Эти замечательные цепи.- М.: Знание, 1987. -176с.
2. Анисимов Г.М., Кочнев А.М. Основы научных исследований лесных машин: Учебник. 2-е изд., испр. – Спб.: Издательство «Лань», 2010. - 528с.: ил.- (Учебники для вузов. Специальная литература).

3. *Антипин В.П.* Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата / *В.П. Антипин, М.Я. Дурманов, Г.В. Каршев.* – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. - 484с.
4. *Вентцель Е.С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1980. -208с.

Сведения об авторе

ФИО	Добрынин Ю.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5526-1250
e-mail	dobrynina-ltu@mail.ru

Аннотация

Предложена модель процесса функционирования механической коробки передач в виде простой однородной цепи Маркова с дискретными состояниями. Матрица переходов процессов и вектор начальных состояний образуют уравнение Колмогорова-Чепмена, по которому вычисляются значения финальных вероятностей, указывающих на среднее время использования каждой передачи.

Ключевые слова: трактор, трелёвка, коробка перемены передач, передаточное число, дискретные состояния, марковская цепь, вероятностная модель, финальные вероятности.

УДК 630*377

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

Выявление проблемных участков лесной дорожной сети на основе данных ГСП

Артемьев В.В., Вальдер М.А.

Введение.

Эксплуатация существующих лесных дорог и дорог общего пользования в целом требует проведение их содержания, средних и капитальных ремонтов, реконструкции для обеспечения пропускной способности без оставления как остаточных деформации на дорожном покрытии, так и повреждений агрегатов автопоезда.

Лесные дороги, в основном, имеет щебеночное (гравийное) или грунтовое покрытие. Основными видами деформаций конструктивных слоев дорожной одежды из щебня и гравия, которые могут повлиять на уменьшение средней скорости проезда или совершение маневров автопоезда являются:

- продавливание слоев с выпучиванием материала вследствие полного разрушения структурных связей и потери несущей способности;
- «гребенки», образование колеи на поверхности покрытий вследствие недостаточной сопротивляемости слоя сдвигу;
- образование волн;
- внутренний износ в результате расшатывания структуры слоев, построенных по принципу расклинивания, при многократном воздействии напряжений, которые не могут быть погашены структурными связями в слое.

Данные нарушения покрытия напрямую влияют на скорость движения, полезную нагрузку на рейс, расход топлива, выброс углекислого газа в атмосферу и другие отрицательные воздействия, как на процесс вывозки древесины, так и на окружающую среду.

Выявления проблемных участков лесных дорог является актуальной.

Цель исследования.

Применения данных глобальных систем позиционирования (ГСП) на лесном транспорте для выявления участков лесных дорог затрудняющих проезд или снижающие заданные эксплуатационные параметры движения автопоездов.

Сведения о состоянии тематики.

Глобальные системы позиционирования - это комплекс операций с использованием спутниковых систем по определению координат местонахождения объекта (подвижного лесотранспортного состава), с технологией передачи данных на персональный компьютер оператора для последующего хранения, обработки и анализа программными комплексами на основе цифровых карт.

Основными функциями мониторинга ГИС являются:

- контроль перемещения транспортного средства с отображением на электронной карте в режиме реального времени;
- оперативное управление транспортным средством в режиме реального времени;

- спутниковый мониторинг транспорта;
- составление отчетов по использованию транспортного средства: пробег, остановки, время в пути, маршрут на карте и т.д.

Дистанционное выявление проблемных участков лесовозных дорог дает возможность оперативно принимать решения о проведения работ по восстановлению дорожной конструкции.

Методика и анализ исследования.

Исходные данные для исследования являются показания GPS/ГЛОНАСС датчика установленного на автопоезде, и часть их представлены в таблице 1.

Таблица 1

Время в пути, сек.	Широта, рад.	Долгота, рад.
1	2	3
34.66	1.7772750788030	0.9246883812371
36.78	1.7772753233364	0.9246884290022
37.40	1.7772755552859	0.9246884791866
37.90	1.7772757934806	0.9246885366398
38.30	1.7772760154173	0.9246885937557

Основополагающими данными показателей мониторинга на транспорте являются значения координат местоположения (широта и долгота) и время фиксации данных. Объем исходных показаний составил 35153 момента считывания значений за 35 км пути следования автопоезда.

При оцифровке показателей широты и долготы формируется отображение маршрута передвижения автопоезда в плане. Построение выполнено в системе автоматизированного проектирования (САПР) AutoCAD Civil 3D – Рис.1.

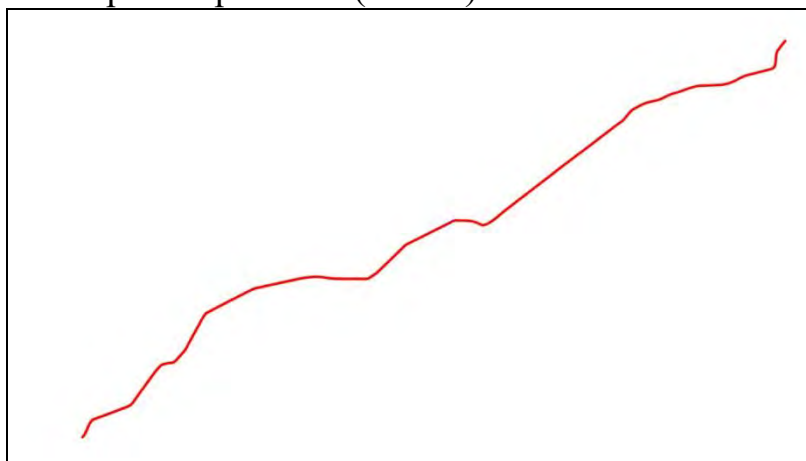


Рис.1 – Плановое положение пути следования автопоезда

Имея время фиксации координат автопоезда и расстояние перемещения его за данный временной интервал (разница значений координат) вычислим значение скорости перемещения. Диаграмма скоростного режима автопоезда представлена на рис.2.

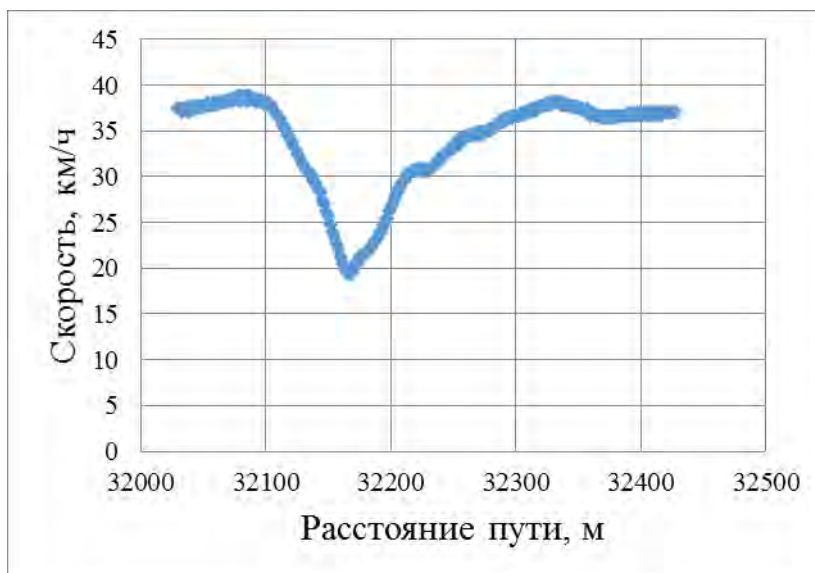


Рис.2 – Диаграмма скоростного режима автопоезда

На диаграмме приведен участок пути с 32 км протяженностью 400 метров. На данном участке скорость автопоезда имеет значительное снижение до 20 км/ч при средней скорости его движения 37 км/ч.

Изменение скорости на данном участке может быть обусловлено как следствием деформаций дорожной одежды лесовозной дороги, но также и иными факторами: при заходе в радиус поворота, разъезд со встречным автопоездом, заезд на возвышенность, отвлечение шофера от процесса управления, недостаточная видимость трассы и пр.

При анализе однократных данных (одного) рейса нельзя определенно сказать, следствием чего является изменение скоростного режима автопоезда, так как возможны варианты как необеспеченные эксплуатационные характеристики трассы, но также и влияние человеческого фактора на процесс управления автопоездом (отвлечение водителя).

Заключение и выводы.

Применение ГСП для выявления проблемных участков дорог является возможным. Для исключения участком трассы, на которых снижение эксплуатационных показателей автопоезда происходит на основе человеческого фактора, необходимо накопление данных мониторинга по одному рейсу.

Установка и считывание данных с дополнительных модулей контроля, обеспечит возможность более точного анализа состояния автопоезда при его эксплуатации для выявления пиковых моментов работы подвижного состава.

Библиографический список

1. Ларионов В.Я. Повышение транспортно-эксплуатационных характеристик лесных дорог/ Камусин А.А., Левушкин Д.М.//Вестник МГУЛ-Лесной вестник –Вып.№2- S2014, т.18.

Сведения об авторах

ФИО	Артемьев Владислав Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2826-8170
e-mail	artemev.vladislav@gmail.com
ФИО	Вальдер Марина Аркадьевна
Организация	Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	martishatr@yandex.ru

Аннотация

Эксплуатация существующих лесных дорог и дорог общего пользования в целом требует проведение их содержания, средних и капитальных ремонтов, реконструкции для обеспечения пропускной способности без оставления как остаточных деформации на дорожном покрытии, так и повреждений агрегатов автопоезда.

Деформации покрытия напрямую влияют на скорость движения, полезную нагрузку на рейс, расход топлива, выброс углекислого газа в атмосферу и другие отрицательные воздействия, как на процесс вывозки древесины, так и на окружающую среду.

Применения данных глобальных систем позиционирования (ГСП) на лесном транспорте для выявления участков лесных дорог затрудняющих проезд или снижающие заданные эксплуатационные параметры движения автопоездов.

В статье приведен анализ данных ГСП, как один из методов дистанционного определения проблемных участков лесовозных дорог.

Для исключения участком трассы, на которых снижение эксплуатационных показателей автопоезда происходит на основе человеческого фактора, необходимо накопление данных мониторинга по одному рейсу.

Установка и считывание данных с дополнительных модулей контроля, обеспечит возможность более точного анализа состояния автопоезда при его эксплуатации для выявления пиковых моментов работы подвижного состава.

Ключевые слова: глобальные системы позиционирования, мониторинг на транспорте, дорожное строительство, эксплуатационные показатели.

УДК 630.383

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15 сухопутное транспортирование леса.

Исследование физико-механических свойств дорожно-строительного материала на основе смеси песчаного грунта и нефелинового шлама

Зубова О.В., Артемьев В.В., Ефимов В.И., Гудебский А.Н.

Состояние вопроса.

Нефелиновый шлам (НФШ) как продукт для производства цемента получают на ЗАО «БазэлЦемент–Пикалево», расположенном в городе Пикалево Бокситогорского муниципального района Ленинградской области.

Основная продукция производства: глинозем, гидрат алюминия, известь, галлий, карбонатный раствор и нефелиновый шлам. Предприятие является крупнейшим налогоплательщиком в Ленинградской области – ежегодно перечисляет 600 миллионов рублей налогов во все уровни бюджета. В 2016 году завод произвел более 252 тысяч 924 тонн глинозема и добыл более 2 миллионов тонн известняка. При этом количество нефелинового шлама доходит до 2,5 тыс. тонн в сутки. Часть нефелинового шлама используется для производства цемента и поставляется «Пикалевскому цементу», но значительный его объем остается невостребованным. В связи с этим, острой для предприятия является проблема реализации нефелинового шлама.

Одним из возможных направлений реализации данного продукта является дорожное строительство. Использовать нефелиновый шлам в качестве дорожно-строительного материала возможно как для строительства дорог общего пользования, так и лесовозных дорог круглогодочного действия.

Проводимые исследования были направлены на изучение свойств нефелинового шлама, как дорожно-строительного материала, а так же для определения возможных смесей с местными грунтами. В данной статье представлены результаты исследования смеси нефелинового шлама и отсева известняка.

Использование нефелинового шлама в дорожном строительстве отражено в ряде нормативно-технических документах таких как "Инструкции по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов" СНиП 3.06.03-85 (М. Союздорнии, 1990.) в части укрепления грунтов минеральными вяжущими материалами.

"Методические рекомендации" по устройству дорожной конструкции с использованием нефелинового шлама предназначены для использования при проектировании и строительстве автомобильных дорог во II - IV дорожно-климатических зонах и рассматривают возможность укрепления грунтов следующими материалами:

- вяжущими, приготовленными из нефелинового шлама;
- молотым и немолотым нефелиновым шламом в сочетании с портландцементом.

Грунты, укрепленные шламонфелиновыми вяжущими или нефелиновым шламом в сочетании с портландцементом, а также рядовой отвалный нефелиновый шлак рекомендуется применять для устройства верхнего и нижнего слоев оснований под асфальто- и цементобетонные покрытия, а также морозозащитного слоя в районах, не имеющих требуемых дренирующих материалов, в соответствии с табл.4 и п.1.11 "Инструкции" СНиП 3.06.03-85.

Цель и задачи исследования. Повышение физико-механических свойств песчано-гравийных материалов на инженерных сооружениях добавкой нефелинового шлама (НФШ).

Задачи исследования. Определение показателей прочности и водостойкости образцов из смеси ПГС и нефелинового шлама в соотношениях 9:1; 8:2; 7:3; 6:4; 5:5; 4:6; 3:7; 2:8; 1:9;

- предела прочности при сжатии образцов (воздушно-сухих, водонасыщенных), $R_{сж}$, МПа;
- модуля упругости (воздушно-сухих, водонасыщенных), $E_{упр}$, МПа;
- водопоглощение, $W_{вп}$, %;
- коэффициент водостойкости, $K_{вод}$, доли ед.;
- объемная плотность, $\gamma_{об}$, г/см³.

Патентный поиск. Тема « Использование нефелинового шлама в дорожно-строительной отрасли и промышленном строительстве».

В результате поиска патентов и изобретений в периодической печати и материалах Государственном реестре изобретений РФ были обнаружены следующие патенты:

- заявка: 2011142672/03.21.10.2011. Смесь для автоклавного пенобетона; нефелиновый шлак, молотый до удельной поверхности 430 м²/кг, нефелиновый шлак 5,46-6.23.

- заявка: 97115688/03.23.09.1997. Способ получения пористых стекломатериалов из нефелиновых шламов.

- заявка: 5058969/33.18.08.1992. Композиция для устройства автомобильных дорог.

Вывод по патентному поиску: Анализ существующих патентов в строительной области по использованию нефелинового шлама показывает, что прототипом наших исследований может быть заявка: 2011142672/03, 21.10.2011

Методы планирования и обработки эксперимента.

В планировании эксперимента был принят двухэтапный метод, который заключался на 1-ом этапе в предварительных поисковых исследованиях в научной литературе с последующей постановки задачи и лабораторных работ с формированием образцов из заданной смеси. На 2-ом этапе использование математического метода планирование эксперимента – полнофакторного ПФЭ-2².

Матрица двухфакторного метода планирование эксперимента (ПФЭ-2²) приведена в табл.1.

Таблица 1

Номер опыта	Факторы				Значения выходных величин
	Натуральные значения		Кодированные значения		
N	x_1	x_2	z_1	z_2	у - отклики
1	$x_1 \min$	$X_2 \min$	-1	-1	y_1
2	$x_1 \max$	$X_2 \min$	+1	-1	y_2
3	$x_1 \min$	$X_2 \max$	-1	+1	y_3
4	$x_1 \max$	$X_2 \max$	+1	+1	y_4

Характеристика исходных материалов.

Нефелиновый шлам - шламообразный отход, образующийся при производстве глинозема, содержащий 80 - 85 % $2CaO - SiO_2 - xH_2O$ и $2CaO - SiO_2$; остальное количество массы - гидраты глинозема, железа, сульфаты натрия и калия, комплексные гидраты. Нефелиновый шлам содержит около 80 % белита или двухкальциевого силиката. Смесь из нефелинового шлама и песка при температурах 100 - - 250 С и давлении до 700 кгс / см² обладает длительными сроками схватывания и не требует добавки замедлителей.

Физико-механическая характеристика нефелинового шлама для дорожного строительства

По лабораторным исследованиям кафедры сухопутного транспорта леса

- насыпная плотность во влажном состоянии 1200- 1390 кг/м³; расчётный модуль упругости (статистический МПа) 850 – 1000; коэффициент теплопроводности 0,6-0,7. Вт/мх*град; предел прочности образцов при сжатии (МПа) после 90 суток нормального твердения 2,5-5,0 (категория «активный»);

- оптимальная влажность при стандартном уплотнении шлама 20-25%;

- коэффициент внутреннего сцепления 0,15МПа;

- удельное сопротивление на сдвиг шлама 0,22МПа;

- водопоглощение шлама после 90 суток структурообразования 1-2,5 %;

- объемная плотность шлама при уплотнении 150 кг/см³ составляет в среднем 2,1

т/м.

Зерновой состав нефелиновый шлам приведен в таблице 2.

Таблица 2

Содержание частиц различной крупности, мм							
> 5мм	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0.25-0.1.	< 0.1	Всего
0,26	0,23	1,96	19,67	41,04	32,81	5,02	100%

Песок – продукт ледникового периода разрушения горных пород в реках и море с размером частиц менее 5 мм (отсев) с модулем крупности 2,8 и относится к разнотельным пескам, пригодным для дорожных работ.

Зерновой состав песка приведен в таблице 3.

Таблица 3

Содержание (%) частиц различной крупности, мм							
> 5мм	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0.25-0.1.	< 0.1	Всего
-	4,35	7,68	8,75	12,42	18,23	48,56	100

Показатели свойств образцов и состав смесей приведены в таблице 4

Таблица 4

Свойства	Содержание НФШ	Содержание в песке частиц < 0.1 мм		
		48,00%	56,00%	68,50%
R _{сж} , МПа	30,00	5,20	5,60	0,70
	60,00	9,00	18,20	0,90
	90,00	16,00	23,50	1,50
	100,00	19,00	25,90	2,17
E _{упр} , МПа	30,00	514,00	727,00	100,00
	60,00	742,00	1028,00	128,00
	90,00	1028,00	1090,00	229,00
	100,00	1168,00	1200,00	501,00
W _{вп} , %	30,00	4,30	5,40	5,85
	60,00	6,20	5,90	6,91
	90,00	9,20	9,63	10,42
	100,00	10,40	10,52	14,77
Квод.	30,00	0,69	0,84	0,60
	60,00	0,86	1,00	0,70
	90,00	0,89	1,28	0,80
	100,00	0,92	1,44	0,88

Методика исследования. Поисковые исследования состава смеси с обработкой по программе EXCEL и с математическим планированием двухфакторного эксперимента ПФЭ 2².

Приборы: - металлические цилиндры с плунжерами диаметром 3,5 см; - 4-х тонный гидропресс; - рычажный настольный пресс; разновесы; - эксикаторы; кристаллизаторы; - электронные весы ВЛТ500; - индикаторы часового типа; цилиндры мерные; - штангенциркуль и др. оборудование.

Условия проведения эксперимента: - давление при формовании образцов в металлическом цилиндре – 100МПа; - выдержка под давлением 3мин с отчетом на песчаных часах; - взвешивание ($G_{св}$, г), измерение высоты ($H_{обр}$, см) и диаметра ($D_{обр}$, см); - хранение изготовленных образцов воздушно - влажное в эксикаторах 90 сут; - замачивание образцов в кристаллизаторах 7 суток; - взвешивание водонасыщенных образцов ($G_{вп}$, г); - испытание на рычажном настольном прессе с определением упругого прогиба ($l_{упр}$, см) под расчетной удельной нагрузкой ($p_{уд}$, МПа), модуля упругости.

Испытания образцов выполнены в соответствии периода требования СНиП 3.06.3-85, ГОСТ25100-11 и других стандартов в дорожно-испытательной лаборатории кафедры промышленного транспорта СПбГЛТУ им. С.М. Кирова.

Выводы:

1) Полученный материал из смеси отсева ПЕСКА и НФШ обладает $R_{сж}$ от 5,2 до 25,9 МПа, $E_{упр} = 1200$ МПа - относится к I классу прочности по СН25-74. Водопоглощение материала больше нормы т. е. $W_{вп} = 4,3-14,77\%$.

2) Полученный строительный материал пригоден для устройства конструктивных слоев дорожных одежд и строительных изделий.

3) Влияние факторов в ПФЭ- 2^2 показывает:

- на $W_{вп}$ наибольшее значение имеет при добавке НФС более 40%

- на $E_{упр}$ все три фактора (содержание НФС, давление и их совместное содействие)

- на $R_{сж}$ совместные действия давления и содержание НФС.

4) Коэффициент водостойкости материала составляет более 0,6, что указывает на его морозостойчивость при низких температурах.

Библиографический список

1. СНиП 3.06.03-85 Пособие по строительству покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов из грунтов, укрепленных вяжущими материалами. Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт союздорнии. Москва 1990.

2. Гончарова Л. В. Основы укрепления грунтов. М.: Транспорт, 1982. 140с.

3. Тюрин Н.А. Дорожно-строительные материалы и машины: учебник для студ. высш. Учебных заведений / Н.А.Тюрин, Г.А. Бессараб, В.Н.Язов. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 304с.

Сведения об авторах

ФИО Зубова Оксана Викторовна
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 6997-4065
e-mail Ok_z19@mail.ru

ФИО Артемьев Владислав Владимирович
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 2826-8170
e-mail artemev.vladislav@gmail.com

ФИО Ефимов Вячеслав Игоревич
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail Slavka_Efimov12@mail.ru

ФИО Гудебский Александр Николаевич
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail G250370@mail.ru

Аннотация

Использовать нефелиновый шлам в качестве дорожно-строительного материала возможно как для строительства дорог общего пользования, так и лесовозных дорог круглогодичного действия.

Проводимые исследования были направлены на изучение свойств нефелинового шлама, как дорожно-строительного материала, а так же для определения возможных смесей с местными грунтами. В данной статье представлены результаты исследования смеси нефелинового шлама и отсева известняка.

В планировании эксперимента был принят двухэтапный метод, который заключался на 1-ом этапе в предварительных поисковых исследованиях в научной литературе с последующей постановки задачи и лабораторных работ с формированием образцов из заданной смеси. На 2-ом этапе использование математического метода планирование эксперимента – полнофакторного ПФЭ-2².

В статье даны методы планирования и обработки эксперимента, характеристика исходных материалов, методика исследования, приборы, условия проведения эксперимента

Получены физико-механические характеристики материалов их влияние на прочностные характеристики. Полученный строительный материал пригоден для устройства конструктивных слоев дорожных одежд и строительных изделий. Так определено, коэффициент водостойкости материала составляет более 0,6, что указывает на его морозоустойчивость при низких температурах.

Ключевые слова: смесь, нефелиновый шлам, грунт, модуль упругости, укрепление грунтов, дорожное строительство.

УДК 630.383

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15 сухопутное транспортирование леса.

Использование климатической информации для определения расчетных параметров при проектировании лесных дорог

Коваленко Т.В.

Введение.

Как известно, сезонность работы лесозаготовительных и лесотранспортных производств обусловлена значительным влиянием природно-климатических факторов. В свою очередь, в лесном транспорте наиболее зависимыми от погоды и климата являются технологические лесовозные дороги (усы), работоспособность которых определяется, прежде всего, влажностью грунта и его модулем деформации. Следовательно, для повышения эффективности работы лесных грунтовых дорог, рациональной организации всего лесотранспортного процесса необходимы знания закономерностей изменения влажности грунтов, их водно-теплового режима.

Цели и задачи.

В лесной промышленности отсутствуют многолетние систематические наблюдения за параметрами грунтов лесных дорог. Однако, агроклиматологией накоплен большой многолетний статистический материал наблюдений за грунтами открытого поля. Эти данные, как видно из исследований [1; 2; 4], могут быть использованы и для определения расчетных параметров грунтов на грунтовых дорогах летнего и круглогодичного действия.

Методика исследования.

Работоспособность лесных дорог напрямую зависит от режимов их эксплуатации, которые определяются несущей способностью грунтового основания. Резкое снижение несущей способности в весенне-осенний период приводит к невозможности эксплуатации технологических путей и дорог.

Основным параметром, позволяющим оценить прочностные характеристики лесных дорог, является модуль деформации. Исследованиями, проводившимися кафедрой промышленного транспорта [1], установлено, что существует зависимость между количеством проходов автопоезда и модулем деформации проезжей части:

$$N = e^{aE-b},$$

где E – модуль деформации грунта, МПа; a , b – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида подвижного состава.

Возможная работоспособность лесовозной дороги может быть определена по следующей зависимости:

$$Q = Q_{пол} \cdot N \cdot k_{ши} \cdot k_{рем},$$

где $Q_{пол}$ – полезная нагрузка; $k_{ши}$ и $k_{рем}$ – коэффициенты, учитывающие влияние ширины проезжей части и ее ремонта соответственно.

Простейшие типы дорожных конструкций, которые наиболее часто используются при организации лесотранспортных процессов являются чрезвычайно зависимыми от природно-климатических факторов и, в первую очередь, от влажности грунтов.

Связь модуля деформации и влажности грунта может быть выражена через следующую зависимость [3]:

$$E_z = \frac{N}{W_z^n},$$

где N и n – показатели, зависящие от вида и степени уплотнения грунта, W_z^n – влажность грунта.

Для определения значения влажности грунтового основания можно воспользоваться несколькими методами.

Расчетно-вероятностный метод. При наличии продолжительной серии наблюдений, ежегодные сезонные максимумы X_i располагаются в статистический ряд, с последующим вычислением среднемаксимального значения X_0 . Для каждого календарного года вычисляются модульные коэффициенты, коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s . По известным значениям X_0 , C_v и C_s вычисляются значение расчетной характеристики.

Анализ [1] позволил предположить, что распределение модуля деформации грунтов в весенне-летне-осенний период можно описать биномиальной асимметричной кривой.

Метод корреляции. Применение вероятностного метода теоретического определения расчетных параметров требует наличия продолжительных рядов наблюдений. В случае их отсутствия наблюдаются существенные отклонения от наблюдаемых значений.

Решением данной проблемы может стать использование наблюдений агрометеостанций, с установлением корреляционных зависимостей между параметрами грунтов земляного полотна и открытого поля [1; 3].

По данным наблюдений ближайшей в районе проектирования автомобильной дороги агрометеостанции, имеющей одинаковые с земляным полотном дороги климатические, грунтовые и гидрологические условия, составляется статистический ряд и через переходные коэффициенты рассчитываются искомые параметры.

Метод аналога. Для надежного определения расчетного состояния грунта ЗП необходимы длительные наблюдения. Однако, в настоящее время систематических наблюдений за грунтами земляного полотна лесных дорог не ведется. Имеются эпизодические наблюдения. Из нескольких расположенных в аналогичных климатических и грунтово-гидрологических условиях станций подбирается аналог – агрометеостанция с длительным журналом наблюдений, которые, затем, выписывают в статистический ряд, обобщают в форме кривых распределения и вероятностей повторения наблюдаемых величин [3].

Результаты и обсуждение.

Весенне-осенний период является неблагоприятным с точки зрения эксплуатации лесотранспортных путей, вынуждая приостанавливать вывозку заготовленной древесины. Это вызвано с кратковременным сезонным снижением прочности дорожных конструкций, связанных, в первую очередь, с повышением влажности грунтов земляного полотна.

Разрабатываемая на кафедре промышленного транспорта СПбГЛТУ методика учета климатических факторов позволит определять продолжительность сезонной приостановки вывозки по действующим лесотранспортным путям, а также учитывать климатические характеристики района расположения предприятия при оценке доступности лесных массивов и проектировании новых лесных дорог.

Дальнейшие исследования следует направить на улучшение качественного и количественного описания сущности и закономерностей влияния климатических факторов на лесные дороги и совершенствование методик расчета дорожных одежд на прочность с учетом влияния климата.

Заключение и выводы.

Прогнозирование величины модуля деформации грунтов с применением теории вероятности позволяет совершенствовать методики расчета дорожных одежд лесных дорог с учетом климатических особенностей региона строительства и эксплуатации элементов лесотранспортной инфраструктуры, что позволит вести круглогодичное неистощительное пользование лесными ресурсами.

Библиографический список

1. Тюрин, Н.А. Проектирование лесосечно-транспортных процессов с учетом влияния климата. /Сухопутный транспорт леса: Сб. науч. тр. – СПб.: ЛТА, 1994 г. С. 53-57.
2. Ильин Б.А. Обоснование параметров размещения путей лесотранспорта. - М.: Лесная пром-ть, 1965 г. – 148 с.
3. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. / И.А. Золотарь, Н.А. Пузаков, В.М. Сиденко [и др.] – М.: Транспорт, 1971 г., – 416 с.
4. Шелопаев, Е.И. Устойчивость лесовозных автомобильных дорог в переувлажненных районах – М.: Лесная пром-ть, 1968 г. – 80 с.

Сведения об авторах

ФИО	Коваленко Т.В.
Организация	ФГБОУВО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова.
Адрес организации	194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д.5, литер У
SPIN-код	2565-3233
e-mail	taras.kovalenko.spb@gmail.com

Аннотация

В статье предлагается методика учета влияния климатических факторов при организации и планировании лесотранспортных процессов. Приводятся математические зависимости, позволяющие учитывать климатические параметры района местоположения предприятия.

In article the technique of taking note of climatic factors at the organization and planning of forest transport processes is offered. The mathematical dependences allowing to consider climatic parameters of the region of location of the enterprise are given.

Ключевые слова: климат, планирование, лесные дороги, лесные грунты, climate, planning, forest roads, forest soil

УДК 625.7:630 Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

Металлургический шлак в смесях с местными грунтами – материал прочных дорожных одежд лесных регионов Северо–Запада РФ

Луговов В.К., Башкиров К.Г., Вальдер М.А., Кулик Д.М.,
Бессараб Г.А.

Введение. Северо-западные регионы Российской Федерации (Вологодская, Костромская, Ленинградская области) в низменной их части не имеют прочных каменных материалов для дорожного строительства, но на своей территории предприятия тяжелой промышленности т.к. Череповецкий металлургический завод, Тихвинский машиностроительный завод, Ижорский завод и другие производят металлургические шлаки.

Цели и задачи. Исследование возможности устройства слоев дорожных одежд с конструктивными слоями из смеси металлургических шлаков и местных грунтов лесной зоны расчетной толщиной в соответствии с требованиями инструкции ОДН 218.046–01 [1].

Задачами работы является определение конструктивных особенностей слоев из шлакогрунтовых смесей и их использование для различных категорий дорог с переходным типом покрытий I-в, II-в, III-в и IV-в и ветки согласно СНиП 2.05.07 – 85 [2].

Дорожные одежды лесовозных автомобильных дорог с применением шлакового щебня следует проектировать в соответствии с основными положениями СНиП 2,05,02-85 [3] и разработанной технологии - укладка, увлажнение и уплотнение до требуемой плотности

Земляное полотно под дорожные одежды из шлакового щебня должно удовлетворять требованиям СНиП 2,05,02-85 и СНиП II-60-75.

Характеристика исходных материалов.

Металлургический шлак (МШ) – отход сталеплавильного производства представляющий собой легкоплавкие силикатные материалы в виде сплавов различных окислов пустой породы, золы от сжигания топлива и окислов флюсов. Содержание окислов железа FeO до масс. % - 27, окислов фосфора до масс.% -3.

Шлаковый щебень ГОСТ 3344-83 [4] в зависимости от его физико-механических свойств и способа обработки может применяться для устройства верхнего и нижнего слоя основания под усовершенствованные капитальные и усовершенствованные облегченные покрытия, а также для устройства усовершенствованных облегченных, переходных или низших покрытий с устройством слоя износа.

Щебень из мартеновских шлаков без фракционирования размером частиц 0–400мм (ТУ 14-105-800-85 производства Череповецкого металлургического завода).

Химический состав мартеновских шлаков представлен в табл.1.

Таблица 1

CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	MnO	FeO	S
-------	---------	-----------	-------	-------	-------	-----

43,2	14,6	4,6	12,4	3,0	14,6	0,64
------	------	-----	------	-----	------	------

Физико-механические свойства мартеновских шлаков: - насыпная объемная масса, т/м³ -1,52; - силмкатный распад, % - 6,9; железистый распад, % - 4,7; морозостойкость, потеря веса после 15циклов замораживания и оттаивания водонасыщенного щебня, масс. % - 4; истираеиость в полочном барабане, масс.% - 28; -дробимость в цилиндре в сухом состоянии, масс., % - 17; дробимость в цилиндре в водонасыщенном состоянии, масс., % - 15,4.

Металлургический шлак рядовой (без сортировки) доменного производства характеризуется высоким модулем основности, т.е. отношением содержания $CaO + MgO$ соответственно, масс. % (48,2 + 12,4) к содержанию $SiO_2 + Al_2O_3$ соответственно, масс. % (14,6 + 4,6) значением более 1,0 и значительным содержанием RO фазы окислов щелочноземельных металлов ($MgO+MnO+FeO$), масс. % -30.

Марка шлакового щебня по ГОСТ3344-85 по дробимости-800, по истираемости И1 и класс прочности – 2.

Производство работ по строительству слоев дорожных одежд с использованием шлакового щебня должны выполняться в соответствии с требованиями нормативных документов ВСН 01-82 «Правила по охране труда в лесной, деревообрабатывающей промышленности и лесном хозяйстве», ГОСТ 3344-83. Щебень шлаковый и сталеплавильный для дорожного строительства.

Показатели и нормы экологической безопасности автомобильной дороги учтены в ВСН 8-89 «Инструкция по охране природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. ОДН 218.5.016-2002».

При устройстве шлакощебеночных покрытий и оснований дорожных конструкций из плотных смесей шлакового щебня, он должен отвечать требованиям ГОСТ 25607-83[5] (смеси №3 и №5 для покрытий и №1,2,3,4,6,7 для оснований). Марки по прочности и морозостойкости шлакового щебня, входящего в состав смесей, должен соответствовать требованиям табл.2.

Таблица 2

Требования к шлаковым щебням для шлакощебеночных слоев из плотных смесей

Показатели свойств металлургического щебня	Для покрытий		Для оснований		
	Категория автомобильной дороги				
	Шв	IVв ветки	Iв	IIв	IIIв IVв ветки
Марка по прочности испытания на дробимость в цилиндре после водонасыщения, не ниже	Др12 600	Др16 400	Др12 600	Др16 400	Др24 200
Марка по истираемости в полочном барабане	И-III	И-III	И-III	И-III	И-IV
Марка по морозостойкости (Мрз, циклов)	25	25	25	15	-

Расчетные характеристики шлакощебеночных смесей для определения толщины слоев дорожной конструкции необходимо принимать по табл. 3.

Таблица 3

Расчетные характеристики шлакощебеночных смесей

Наименование материала	Модуль упругости ($E_{упр}$, МПа)	Примечания
Шлаковая смесь с подобранным зерновым составом с активностью: - активный (А) - малоактивный (МА)	350 – 450 200 - 300	Большие значения при устойчивой структуре шлака
Рядовой шлаковый щебень (без подбора)	150 - 200	

Металлургический шлак используют в качестве гранулометрических добавок к местным грунтам на объектах строительства дорог с содержанием в смеси более 60 масс. % по крупности зерен более 5мм до максимального размера 75мм.

Активные металлургические шлаки использованы для укрепления некондиционных песчано-гравийных смесей и малопрочных известняковых щебней добавкой шлака в мелкораздробленном (до 10мм) виде объемом 30 - 40% от массы исходного материала.

Малопрочный известняковый щебень в смеси с металлургическим шлаком укрепляют добавкой бокситового шлама с показателями прочности. Указанными в табл.4.

Таблица 4

Требования к шлаковым щебням и смесям его с бокситовым шламом для слоев из малопрочных известняков

Наименование расчетных показателей	Смесь известнякового щебня и металлургического шлака в соотношении 60% и 40% соответственно		
	Шлак без добавок	Смесь шлака и бокитового шлама соотношен. 1:1	Смесь шлака и бокитового шлама соотношен. 1:4
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа	1,5	2,9	4,3
Модуль упругости, МПа	150	260	280
Водопоглощение, %	2,0	3,0	1,7

Щебеночные смеси из металлургического шлака не обеспечивающие требований прочности необходимо улучшать вяжущими материалами (см. табл.5).

Таблица 5

Классификация материала из смеси шлакового щебня и минерального вяжущего

Марка материала	Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов в возрасте 28 суток, МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов в возрасте 28 суток, МПа

75	7,5	1,5
60	6,0	1,2
40	4,0	0,8
20	2,0	0,4

Расчетные характеристики шлакового щебня: - модуль упругости ($E_{упр}$, МПа) и прочность на растяжение при изгибе ($R_{изг}$, МПа), укрепленного вяжущими материалами должны соответствовать инструкции ОДН 218.046.-01 и данным табл. 6.

Таблица 6

Расчетные характеристики крупнообломочные материалы, гравийно-песчаные смеси и грунты, укрепленные гранулированным шлаком, то же комплексными вяжущими

Наименование материала и классы прочности	Расчетные характеристики	
	модуль упругости ($E_{упр}$, МПа)	прочность на растяжение при изгибе ($R_{изг}$, МПа)
Крупнообломочные материалы и гравийно-песчаные смеси оптимального или близких к оптимальному составов		
1 класс прочности	700-530	0,40-0,32
2 класс прочности	500-330	0,31-0,22
3 класс прочности	300-250	0,20-0,18
Супеси тяжелые и пылеватые, суглинки легкие		
1 класс прочности	500-350	0,22-0,16
2 класс прочности	350-230	0,16-0,12
3 класс прочности	200-120	0,09-0,07

Конструкция дорожной одежды из оптимальной гравийной смеси и металлургического шлака приведены на рис.1.

Слой основания дорожной одежды принят из металлургического шлака с размером зерен до 120мм II и III классов прочности. Толщина слоя основания из шлака ($h_{осн}$) составляет 20см при модуле упругости ($E_{упр}$) 160МПа. Тип покрытия – корытный, обочины устроены присыпные из крупнозернистого песка. Грунт земляного полотна – суглинок пылеватый.

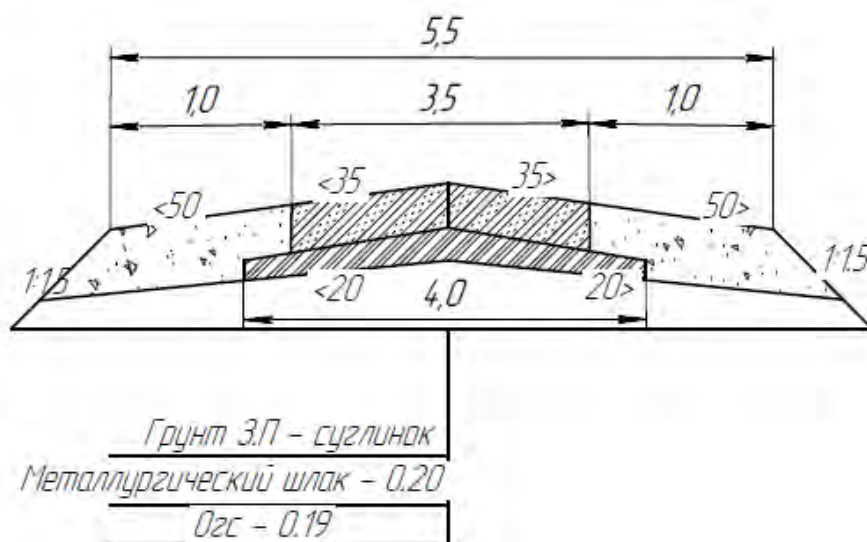


Рис.1.Конструкция дорожной одежды с покрытием из ОГС и основанием из металлургического шлака (МШ)

Слой покрытия дорожной одежды принят из оптимальной гравийной смеси (ОГС), приготовленной в карьере в соответствии с требованиями ГОСТ.25607-2009 и СНиП 2.05.02-85* «Автомобильные дороги».

Толщина слоя покрытия для лесовозной дороги IV-Л при модуле упругости материала ($E_{упр}$) 180МПа составляет 0,19м.

Исследованиями установлено, что рН водной вытяжки создаваемой шлаком равно 6,0, что соответствует требованиям к сточным водам. Содержание фосфатов, силикатов в металлургических шлаках не превышает предельно допустимых концентраций с точки зрения охраны окружающей среды.

Выводы:

1. Металлургические шлаки различных производств (доменные, сталеплавильные, конверторные, гранулированные, сортированные на фракции и без сортировки) по своим физико-механическим свойствам обеспечивают прочность и длительную стойкость в конструкциях дорожных одежд лесных дорог.

2. При выполнении работ по строительству слоев дорожных одежд с использованием шлакового щебня должны выполняться в соответствии с требованиями нормативных документов ВСН 01-82 «Правила по охране труда в лесной, деревообрабатывающей промышленности и лесном хозяйстве».

3. В целом, при условии выполнения данных исследований по применению металлургических шлаков в предложенных композициях и конструктивных слоях вредное экологическое воздействие на окружающую среду исключается или существенно снижается.

Библиографический список

1. ОДН 218.046 – 01. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. М.: Транспорт, 1985. – 78с.
2. СНиП 2.05.07-91* Промышленный транспорт М.: 1996.
3. СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги. М.; -2004. -78с.
4. ГОСТ 3344-83. Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические. М.: Транспорт.1984. 24с.
5. ГОСТ.25607-2009. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. М.: 2009. - 28с.

Сведения об авторах

ФИО Бессараб Геннадий Александрович
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7189-8050
e-mail vtkgлта@mail.ru

ФИО Вальдер Марина Аркадьевна
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail martishatrв@yandex.ru

ФИО Луговов Валентин Игоревич
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail valentinlugovov@gmail.com

ФИО Башкиров Константин Григорьевич
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vtkgлта@mail.ru

ФИО Калик Даниил Махайлович
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail danil-kulik@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены результаты физико-механических свойств различных смесей на основе металлургического шлака и грунтов лесной зоны с приведением прочностных показателей, позволяющих использовать их в расчете конструкции дорожных одежд нежесткого типа вместо природных каменных материалов.

Принятая в настоящее время методика расчета конструкции дорожных одежд с использованием укрепленных материалов ОДМ 218.5.002-2008

учитывает условия использования металлургических шлаков в том числе и лесных дорог.

Методика расчета нежестких дорожных одежд переходного типа (укрепленных грунтов) на прочность ОДН 218.046-01 учитывает принятие показателей прочности таких материалов в конструктивных слоях оснований и покрытий.

Ключевые слова: металлургические шлаки, дробимость, истираемость, активность, шлакогрунтовые смеси, конструктивные слои.

УДК 630.383

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15 Сухопутное транспортирование леса.

Совершенствование структуры лесотранспортной сети Усть-Илимского ЛПК

Моисеева К.С., Тюрин Н.А.

Введение. Лесная территория занимает 45% площади Российской Федерации, что составляет более 877 млн га, где произрастает около 80 млрд м³ древесины. Однако запас леса, составляющий примерно 25% от мирового запаса леса, изымается вполовину возможного объема лесозаготовок, что обуславливается низкой развитостью инфраструктуры лесодорожной сети в районах произрастания древесины, поэтому совершенствование уже существующих сетей и строительство новых является перспективным направлением в лесозаготовительной отрасли.

Цели и задачи. Цель работы – усовершенствовать существующую дорожную инфраструктуру Усть-Илимского ЛПК с помощью разработанных в СПбГЛТУ программных средств MS Excel по критерию минимума затрат на трелевку, вывозку, лесовозобновление, строительство и содержание лесотранспортной сети, а также на строительство погрузочных пунктов, затрат на содержание автодорог, перевозку автомобилем и основные лесосечные работы: валка, обрезка сучьев, раскряжевка и трелевка.

Практическая ценность: разработанный вариант лесотранспортной сети рекомендуется к применению на Усть-Илимском ЛПК. Внедрение проекта позволит организации экономно расходовать транспортный ресурс. Более того, разработанные рекомендации позволят предприятию более рационально подходить к вопросу строительства дорог и облегчить процесс планирования.

Методика исследования. Для исследования использовалась логистическая модель оптимизации структуры лесотранспортных путей по критерию минимума затрат на трелевку, вывозку, лесовозобновление, строительство и содержание лесотранспортной сети, которая дает возможность определить такие параметры сети как зоны тяготения лесных грузов, густоту, потребность магистралей, веток и усов на единицу осваиваемой площади и единицу объема заготовки, а также средние расстояния трелевки и вывозки древесины. Структура сети лесных дорог характеризует ее устройство (строение), определяет взаиморасположение ее элементов. Одним из основных параметров структуры сети лесных дорог является зона тяготения лесных грузов. Зоной тяготения лесных грузов к любому лесовозному пути называется участок лесной грузосборочной площади, грузы с которой должны транспортироваться по данному пути.

Задача эксперимента сводится к тому, чтобы получить оптимальные значения зон тяготения к дорогам общего пользования, к магистрали, к ветке, к усу, к магистральному и пасечному волокам, а также определить оптимальное расстояние между магистральными и пасечными волоками.

Геоинформационный анализ территории арендных лесов Усть-Илимского ЛПК показал, что протяжённость путей автотранспорта на 1000 га площади

составляет 1,38 км, в том числе автомобильных 1,38 км из них с твёрдым покрытием 0,554 км, грунтовых 0,83 км.

Рациональное ведение лесного хозяйства и пользование лесом в данном регионе, считается при густоте сети дорог протяжённостью 5 км на 1000 га общей площади сырьевой базы, следовательно, обеспеченность территории лесосырьевой базы ОАО ПО УИ ЛПК дорожной сетью является недостаточной (около 25%).

Результаты и обсуждение исследований. В результате проведения вычислительного эксперимента была получена целевая функция, включающая в себя удельные приведенные затраты на строительство дорог общего пользования, магистралей, веток, усов, магистрального и пасечных волоков, погрузочных пунктов, затрат на содержание, перевозку автомобилем, лесовосстановление и основные лесосечные работы: валка, обрезка сучьев, раскряжевка и трелевка. При введенных данных, описанных выше, целевая функция составила 673 руб./м³ в условиях одноступенчатой вывозки древесины.

Рассматривая по отдельности удельные составляющие целевой функции (рис. 1), важно отметить, что наибольшие затраты приходятся на удельную приведенную себестоимость лесосечных работ, строительство усов и веток. Транспортировка также значительно высока по сравнению с оставшимися составляющими. Исходя из этого, можно сказать, что к данным операциям необходимо повышенное внимание с экономической точки зрения, поскольку представленные затраты составляют более 80% суммы от общей целевой функции.

Также программой была произведена оптимизация расстояний грузосборочных зон лесовозных дорог. Результаты сведены в таблицу 1.

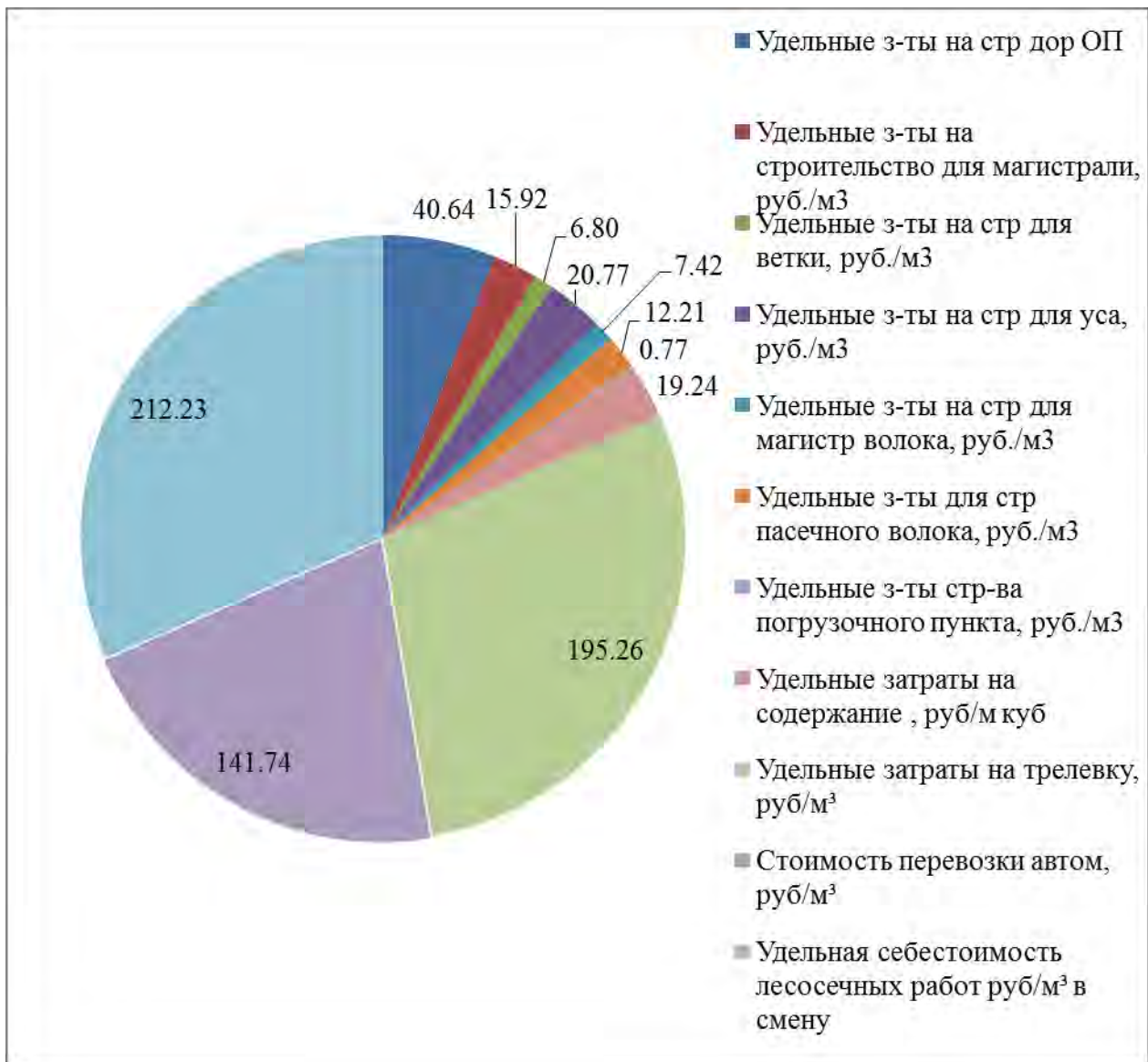


Рисунок 1 – Круговая диаграмма составляющих целевой функции, руб/м³

Таблица 1

Оптимизированные зоны тяготения, км

Оптимальная зона тяготения к дорогам ОП, км	34,45
Оптимальная зона тяготения к магистрали, км	10,26
Оптимальная зона тяготения к ветке, км	7,19
Оптимальная зона тяготения к усу, км	1,44
Оптимальное расстояние между погрузочными пунктами, км	0,20
Оптимальное расстояние между пасечными волоками, км	0,01

В ходе эксперимента было выявлено: чем больше вылет стрелы манипулятора, тем выше его производительность (рис. 2)

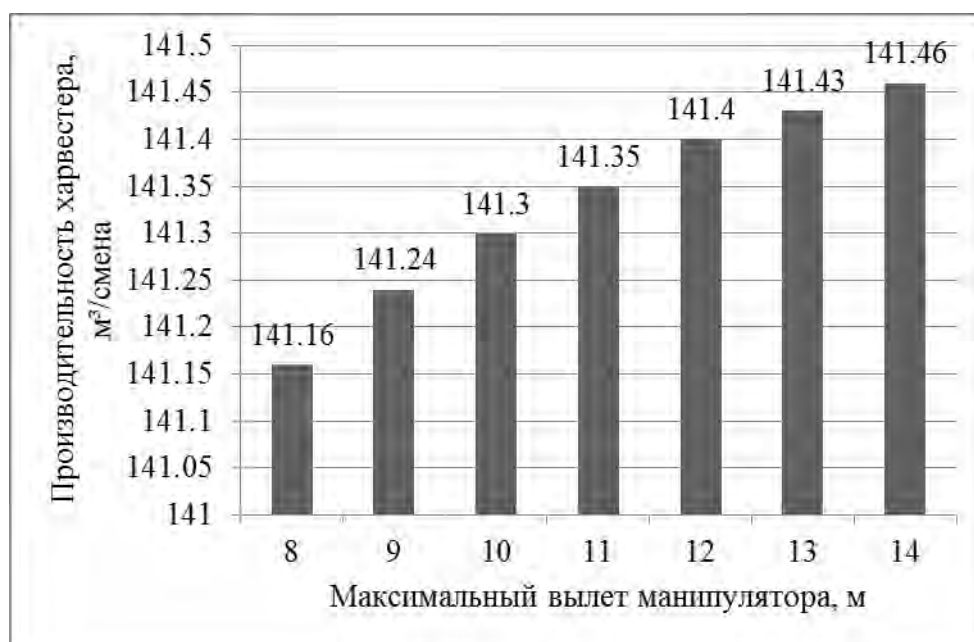


Рисунок 2 – Диаграмма зависимости производительности харвестера от максимального вылета манипулятора

Кроме того, был проведен сравнительный анализ зависимостей различных стоимостных параметров, представленных ниже, на оптимальные зоны тяготения, рассчитываемые программой. Изменяя значения стоимостей строительства 1 км дорог общего пользования, магистралей, веток, усов, магистральных и пасечных волоков, стоимости строительства погрузочного пункта, а также стоимости машино-смен харвестера и форвардера, автомобиля для вывозки древесины были получены определенные зависимости.

На основе приведенных таблиц (табл. 2 – 7) и полученных данных были составлены графики зависимостей оптимальных зон тяготения от стоимостей основных факторов (рис. 4 - 8)

Где условно обозначены:

d_o – зона тяготения к дороге общего пользования, км;

d_m – зона тяготения магистралей, км;

d_b – зона тяготения веток, км;

d_{yc} – зона тяготения усов, км;

$d_{пн}$ – зона тяготения погрузочных пунктов, км;

$d_{пв}$ – зона тяготения пасечных волоков;

Таблица 2

Таблица зависимостей зон тяготения от стоимости машино-смены автомобиля

Стоимость машино-смены, руб.	d_o	d_m	d_b	d_{yc}	$d_{пн}$	$d_{пв}$
2 000	84,54	25,19	17,60	1,75	0,18	0,01
4 000	84,54	25,19	17,60	1,75	0,19	0,01
6 000	48,75	14,52	10,17	1,79	0,19	0,01
8 000	48,75	14,52	10,17	1,79	0,19	0,01
10 000	48,48	12,83	9,14	1,79	0,19	0,01
12 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,01
14 000	31,85	9,49	6,67	1,86	0,20	0,01
16 000	31,85	9,48	6,67	1,86	0,20	0,01

18 000	28,06	8,36	5,88	1,90	0,20	0,01
20 000	28,06	8,36	5,88	1,90	0,20	0,01

Из таблицы следует, чем дешевле стоимость машино-смены автомобиля для вывозки древесины, тем большие зоны тяготения следует делать между дорогами. Однако расстояние между пасечными волоками остается неизменным ввиду того, что по ним производится трелевка форвардером, а не автомобилем для вывозки.

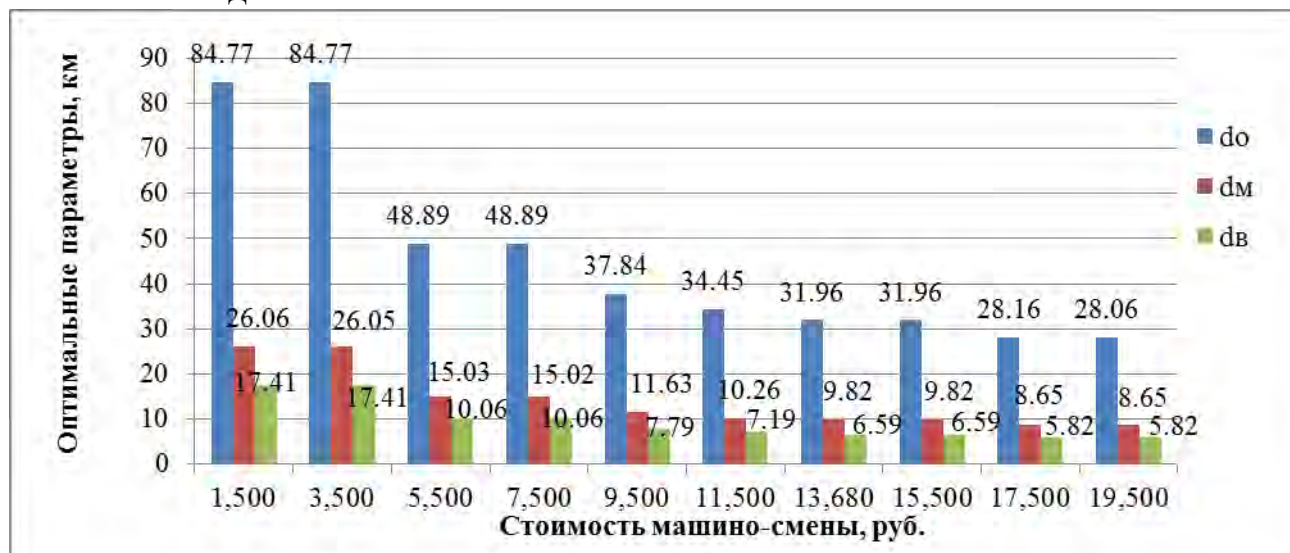


Рисунок 4 – Диаграмма зависимостей зон тяготения дорог общего пользования, магистралей и веток от стоимости машино-смены автомобиля

Таблица 3

Таблица зависимостей зон тяготения от стоимости машино-смены форвардера

Стоимость машино-смены, руб.	d_o	d_m	d_b	d_{yc}	$d_{пп}$	$d_{пв}$
1 500	34,21	10,17	7,23	4,15	0,47	0,01
3 500	34,21	10,17	7,23	3,52	0,47	0,01
5 500	34,43	10,22	7,19	3,00	0,33	0,01
7 500	34,44	10,23	7,19	2,21	0,27	0,01
9 500	34,44	10,24	7,19	1,87	0,24	0,01
11 500	34,44	10,25	7,19	1,63	0,21	0,01
13 680	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,01
15 500	34,46	10,26	7,19	1,34	0,18	0,01
17 500	34,46	10,26	7,19	1,26	0,17	0,01
19 500	34,46	10,26	7,19	1,18	0,16	0,01

В большей степени стоимость трелевочного механизма сказывается на изменении зон тяготения между погрузочными пунктами и усами, поскольку трелевка к одному погрузочному пункту чаще всего сводится к вывозке по усу и магистрали.

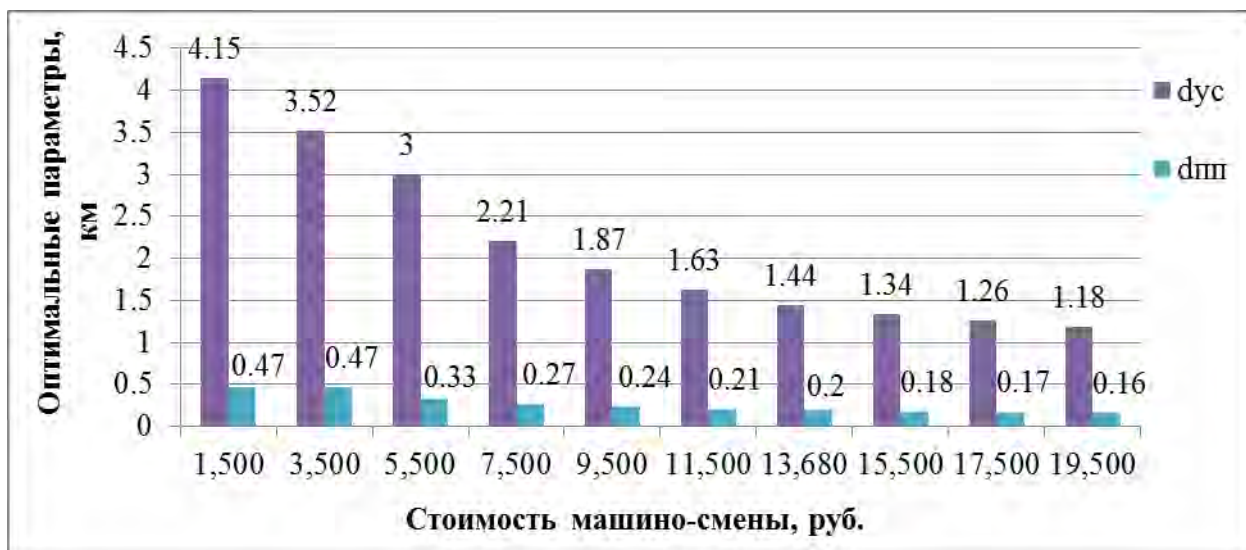


Рисунок 5 - Диаграмма зависимостей зон тяготения усов и погрузочных пунктов от стоимости машино-смены трелевочного трактора - форвардера

Таблица 4

Таблица зависимостей зон тяготения от стоимости строительства 1 км магистрали

Стоимость строительства, руб.	d_0	d_m	d_b	d_{yc}	$d_{пп}$	$d_{пв}$
2 000 000	34,06	9,11	7,52	1,44	0,20	0,01
2 500 000	34,20	9,51	7,39	1,44	0,20	0,01
3 000 000	34,31	9,89	7,29	1,44	0,20	0,01
3 500 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,01
4 000 000	34,50	10,60	7,12	1,44	0,20	0,01
4 500 000	34,58	10,94	7,05	1,44	0,20	0,01
5 000 000	34,64	11,27	7,00	1,44	0,20	0,01
5 500 000	34,71	11,59	6,94	1,44	0,20	0,01
6 000 000	34,76	11,89	6,90	1,44	0,20	0,01
6 500 000	34,81	12,20	6,85	1,44	0,20	0,01

Из таблицы следует, что экономически целесообразно при увеличении стоимости строительства магистрали увеличивать расстояние между магистралями, но компенсировать это увеличением числа веток лесной сети. На остальные исследуемые параметры увеличение стоимости никак не влияет. Для наглядности ниже приведена диаграмма (рис. 6).

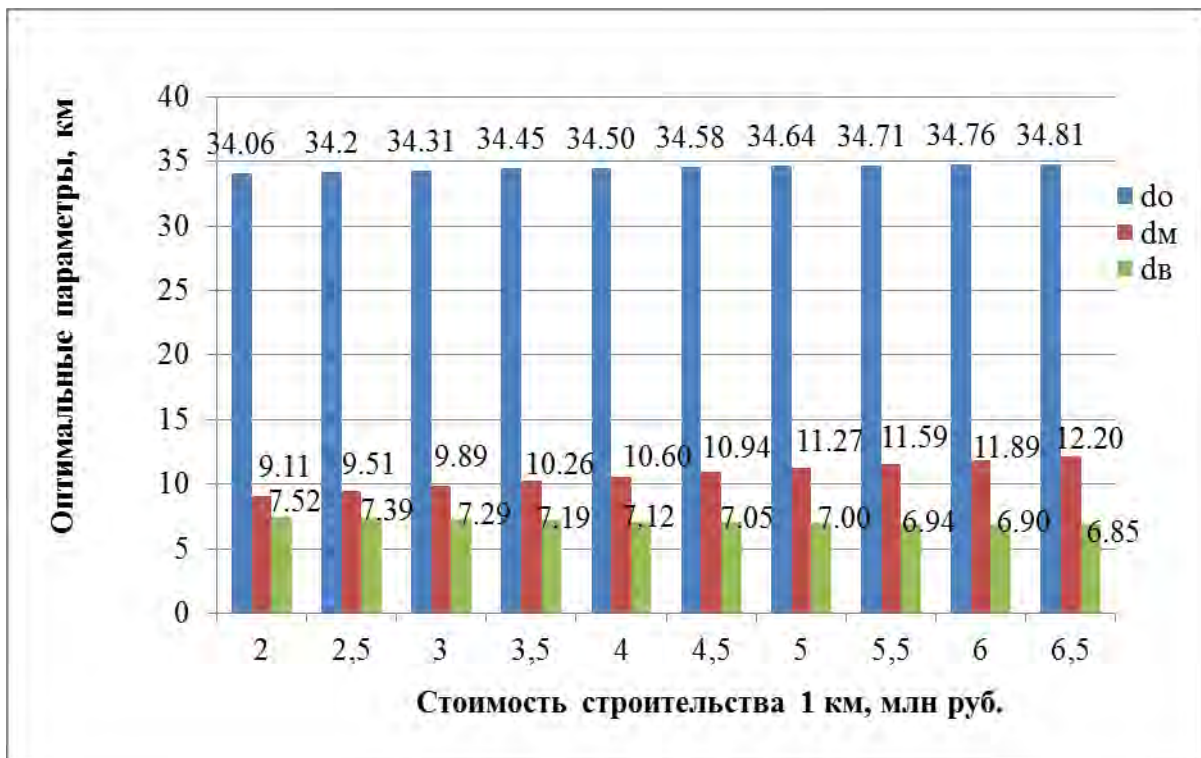


Рисунок 6 – Столбчатая диаграмма зависимостей зон тяготения дорог общего пользования, магистралей и веток от стоимости строительства магистралей

Далее исследовалось влияние стоимости строительства ветки на оптимизируемые параметры (табл. 5)

Таблица 5

Таблица зависимостей зон тяготения от стоимости строительства 1 км ветки

Стоимость строительства, руб.	d_o	d_m	d_b	d_{yc}	$d_{пп}$	$d_{пв}$
700 000	34,75	10,36	5,99	1,44	0,20	0,01
800 000	34,63	10,32	6,41	1,44	0,20	0,01
900 000	34,63	10,32	6,41	1,44	0,20	0,01
1 000 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,01
1 100 000	34,31	10,22	7,56	1,44	0,20	0,01
1 200 000	34,31	10,22	7,56	1,44	0,20	0,01
1 300 000	34,11	10,15	8,25	1,44	0,20	0,01
1 400 000	34,02	10,15	8,58	1,44	0,20	0,01
1 500 000	34,02	10,12	8,58	1,44	0,20	0,01
1 600 000	33,83	10,06	9,21	1,44	0,20	0,01

Как видно из таблицы, стоимость строительства ветки отразилась на зоны тяготения дорог общего пользования, магистралей и самих веток. При увеличении стоимости строительства веток, расстояния между дорогами общего пользования и магистральями сокращаются, в то время как между ветками, наоборот, увеличиваются. Ниже приведена диаграмма зависимостей.

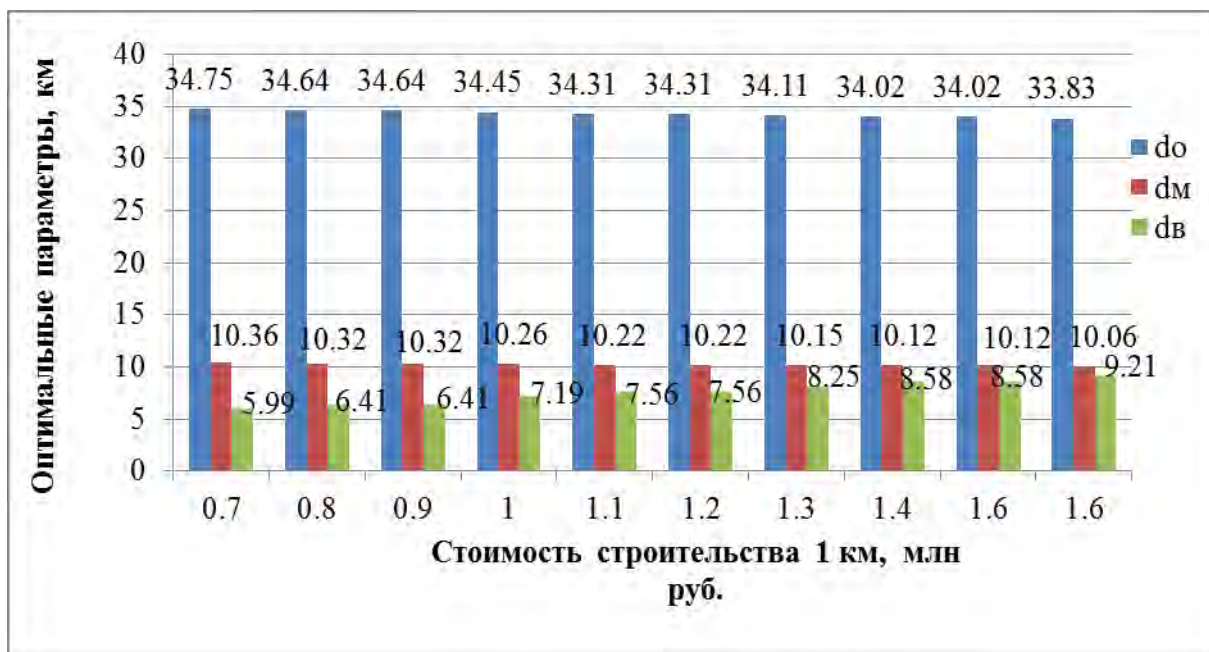


Рисунок 7 - Столбчатая диаграмма зависимостей зон тяготения дорог общего пользования, магистралей и веток от стоимости строительства ветки

Также анализировалось влияние стоимости строительства уса на зоны тяготения дорог (табл. 6)

Таблица 6

Таблица зависимостей зон тяготения от стоимости строительства 1 км уса

Стоимость строительства, руб.	d_o	d_m	d_b	d_{yc}	$d_{пп}$	$d_{пв}$
100 000	34,51	10,28	7,18	0,63	0,21	0,01
200 000	34,49	10,28	7,19	0,86	0,20	0,01
300 000	34,48	10,27	7,19	1,03	0,20	0,01
400 000	34,47	10,27	7,19	1,18	0,20	0,01
500 000	34,46	10,26	7,19	1,31	0,20	0,01
600 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,01
700 000	34,44	10,26	7,20	1,55	0,20	0,01
800 000	34,43	10,26	7,20	1,65	0,19	0,01
900 000	34,42	10,25	7,20	1,75	0,19	0,01
1 000 000	34,41	10,25	7,20	1,84	0,19	0,01

Из таблицы видно, что при увеличении стоимости уса, сокращается расстояние между дорогами общего пользования, магистралями. Погрузочные пункты также целесообразнее располагать чаще. Ниже представлено графическое изображение (рис. 3.8)

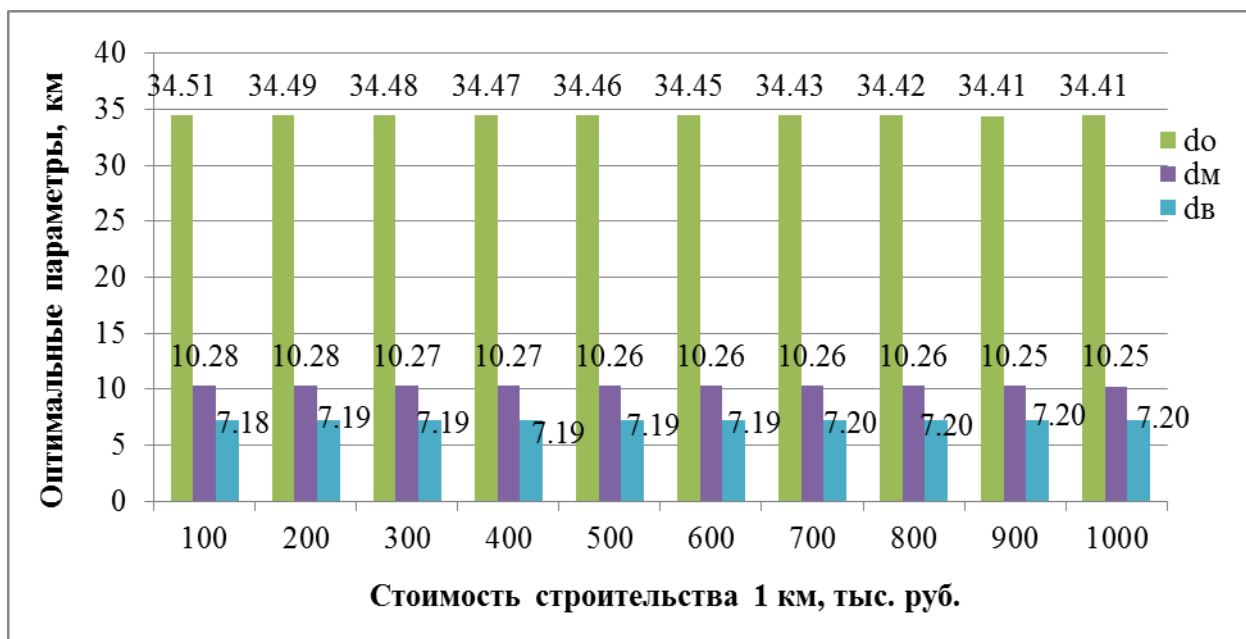


Рисунок 8 – Столбчатая диаграмма зависимостей зон тяготения дорог общего пользования, магистралей и веток от стоимости строительства уса

Стоимость строительства пасечного волка оказывает влияние только на расстояние между ними. В рамках данного эксперимента с увеличением стоимости строительства величина зоны варьируется от 10,9 до 26,6 м. Для наглядности представлена диаграмма (рис. 9).

Безусловно, при уменьшении расстояния между пасечными волоками оператору харвестера гораздо легче производить валку леса ввиду сокращения временных затрат на прицеливание и подачу головки манипулятора к дереву.

Таблица 7

Таблица зависимостей зон тяготения от стоимости строительства 1 км пасечного волокна

Стоимость строительства, руб.	d_0	d_m	d_b	d_{yc}	$d_{пп}$	$d_{пв}$
1 500	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,0109
2 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,0125
3 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,0154
4 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,0177
5 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,0198
6 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,0217
7 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,0234
8 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,0251
9 000	34,45	10,26	7,19	1,44	0,20	0,0266



Рисунок 9 – Диаграмма зависимости стоимости строительства пасечного волокна на расстояние между ними

На производстве среднее расстояние трелевки суммарно по магистральным и пасечным волокнам приблизительно равно 1000 м. В результате расчетов после операции оптимизации расстояние общей трелевки снизилось до 550 м, из которых 100 м приходится на трелевку по пасечным волокнам и 450 м – по магистральным.

Средняя вывозка по усу составляет 2 км, по веткам – 2,4, по магистралям – 7,15 км, по дорогам общего пользования – 5,39 км. Общая протяженность вывозки составляет 16,94 км.

Заключение и выводы. Грузосборочная зона к дорогам общего пользования по данным расчетов для Арендованного лесного массива Усть-Илимского ЛПК составляет 34,46 км, при этом величина буфера (полигональный слой, образованный путем расчета и построения эквидистант) составит 17,23 км. Для лесных магистралей в оптимальной структуре лесотранспортной сети их грузосборочная зона согласно расчету составляет 10,26 км. Следовательно, буферная зона имеет радиус 5,13 км вокруг всех существующих дорог общего пользования и лесных магистралей.

В производственных условиях Усть-Илимского ЛПК рекомендовано строительство погрузочных пунктов на расстоянии 2000 м. При данном значении расстояние трелевки по магистральным волокнам составляет 450 м, по пасечным волокнам всего 100 м, итого среднее расстояние трелевки до погрузочного пункта равно 550 м вместо 1000 м, проходимых трелевочным трактором на производстве. Уменьшение расстояния трелевки способствует минимизации воздействия на почву без ущерба на средний показатель густоты дорог, а также общему повышению эффективности лесопромышленного производства.

Библиографический список

1. Тюрин Н.А. Оптимизация структуры лесотранспортной сети лесозаготовительных предприятий//Сухопутный транспорт леса: материалы научно-методического семинара – СПб: СПбГЛТА, 2007. С 42.
2. Моисеева К.С. «Оптимизация структуры технологических путей лесовозных автомобильных дорог»
3. Моисеева К.С., Тюрин Н.А. «Исследование влияния технологических схем лесозаготовительного процесса на структуру лесотранспортной сети»
4. Тюрин, Н.А. Проектирование лесотранспортной инфраструктуры: учебное пособие для подготовки магистров по направлению 250400 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» / Н.А. Тюрин, Л.Я. Громская, Т.С. Антонова. – СПб.: СПбГЛТУ, 2013. – 112 с.

Сведения об авторах

ФИО	Моисеева К.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8923-9806
e-mail	kseny-0705@yandex.ru
ФИО	Тюрин Н.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8998-5234
e-mail	tnalif@mail.ru

Аннотация

В статье представлен результат вычислительного эксперимента по усовершенствованию структуры дорожной сети Усть-Илимского ЛПК с помощью разработанных в СПбГЛТУ программных средств MS Excel по критерию минимума затрат на трелевку, вывозку, лесовозобновление, строительство и содержание лесотранспортной сети, а также на строительство погрузочных пунктов, затрат на содержание автодорог, перевозку автомобилем и основные лесосечные работы: валка, обрезка сучьев, раскряжевка и трелевка. Разработанный вариант лесотранспортной сети рекомендуется к применению на Усть-Илимском ЛПК. Внедрение проекта позволит организации экономно расходовать транспортный ресурс. Более того, разработанные рекомендации позволят предприятию более рационально подходить к вопросу строительства дорог и облегчить процесс планирования.

В результате проведения вычислительного эксперимента была получена целевая функция, включающая в себя удельные приведенные затраты на строительство дорог общего пользования, магистралей, веток, усов, магистрального и пасечных волоков, погрузочных пунктов, затрат на содержание, перевозку автомобилем, лесовосстановление и основные лесосечные работы: валка, обрезка сучьев, раскряжевка и трелёвка. При введенных данных, описанных выше, целевая функция составила 673 руб./м³ в условиях одноступенчатой вывозки древесины.

Ключевые слова: структура дорожной сети, Усть-Илимский ЛПК, трелёвка, вывозка, skidding, transportation, the road structure, target function, forestry .

УДК 625.7/.8

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

Формирование оптимальных грузопотоков в лесопромышленном комплексе

Антонова Т.С., Фомина Д.В.

Введение.

Логистика – один из способов увеличить производительность деятельности лесопромышленных предприятий. Лесозаготовительное производство предполагает собой процесс заготовки и перемещения древесины от их первичного источника до конечного потребителя. Лесопромышленное производство можно рассматривать как логистическую систему, то есть как цепочку технологических и транспортных операций, которое эффективно управляет материальными и связанными с ним информационными и финансовыми потоками. Критерием эффективности служат логистические издержки, доля которых в прибыли компаний составляет от 65 до 95%. Для того, чтобы уменьшить транспортные издержки, и снизить за счет этого общую стоимость готовой лесопродукции, следует находить оптимальные средства передвижения и наилучшие пути доставки лесного сырья к лесообработывающим предприятиям. [1]

Результаты исследования

Отличительной особенностью лесотранспортной логистики является то, что в единой логистической системе фигурируют все виды транспорта по назначению: внутрицеховой (трелевка), межцеховой промышленный транспорт (вывозка согласно лесовозным дорогам) и транспорт общего назначения (перевозка лесопродукции от лесозаготовительных предприятий до конечного потребителя).

Маршрутизация перевозок - это наиболее продуктивный метод организации рационального продвижения грузопотоков по логистическим каналам и цепям. Формирование оптимальных грузопотоков дает конкретно определять размеры перевозок грузов, рассчитывать количество транспортных средств, необходимых для обеспечения грузопотоков, стремится к существенному уменьшению простоев подвижного состава под погрузкой и разгрузкой. Безошибочная маршрутизация грузопотоков содействует наиболее тесной интеграции производственно-хозяйственной деятельности абсолютно всех звеньев логистических цепей. Для успешной работы предприятий необходимо решить вопрос об оптимальном планировании перевозок лесного сырья на транспорте, для этого целесообразно выполнить задачу с использованием транспортной задачи линейного программирования. Методы решения транспортной задачи часто пользуются спросом на автомобильном и железнодорожном транспорте для планирования путей доставки различной продукции. Планы перевозок, разработанные на основе алгоритма транспортной задачи, как правило, на 12-18% выгоднее планов, составленных без применения математических методов. [2]

В общем виде транспортная задача в рамках линейного программирования определяется следующим образом: существует несколько поставщиков (или локальных складов), располагающих конкретным ограниченным запасом однородного товара. Также имеются потребители этой продукции. Известны стоимость транспортировки единицы продукции от каждого поставщика к каждому потребителю. Следует прикрепить потребителей к тем или иным поставщикам, чтобы запросы всех потребителей были удовлетворены и суммарные транспортные расходы на доставку всей продукции были бы минимальны. Разработаны специальные способы решения задачи в такой постановке с помощью "ручного" счета. Все же они являются достаточно трудоемкими. Типовой характер подобных задач привел к тому, что появилось большое количество компьютерных программ, автоматизирующих процедуру их решения. Все они доступны пользователям и дают возможность стремительно увеличивать уровень используемых в практике экономико-математических расчетов, сократив в то же время их трудоемкость и продолжительность.

Заключение

Применение экономико-математических моделей и компьютерных методов их анализа дает возможность сформировать оптимальные маршруты транспортировок и графики доставки заказов потребителям.

Библиографический список

1. Салминен Э.О., Борозна А.А., Тюрин Н.А. Лесопромышленная логистика: Учебное пособие для студентов лесных вузов, обучающихся по направлению 250300.-СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005.-264 с.
2. Салминен Э.О., Еремеева Л.Э., Антонова Т.С. , Тюрин Н.А., Сухопутный транспорт леса. Лесопромышленная логистика: учебное пособие./; СПбГЛТУ, Сыкт. лесн. ин-т – Сыктывкар: СЛИ,2009.-96 с.

Сведения об авторах

ФИО	Фомина Д.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7162-3223
e-mail	fomina.darina24@yandex.ru
ФИО	Антонова Т.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4581-5931
e-mail	antonova.stl@mail.ru

Аннотация

Статья направлена на изучение логистических потоков лесопромышленного предприятия. Особое внимание уделяется формированию оптимальных грузопотоков в лесопромышленном комплексе.

Ключевые слова: транспортная логистика, грузопоток, логистические затраты.

УДК 656.1/.5 **Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.01** Транспортирование леса (общие вопросы)

5. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Перспективы создания колесного харвестера на базе сельскохозяйственного трактора «Кировец»

Пегов В.Ю., Дурманов М.Я.

Введение.

Неуклонное изменение отечественной экономики приводит к решению концептуальных проблем в отдельных отраслях. Так, постановлением Правительства Российской Федерации от 4 августа 2015 г. №785 о Правительственной комиссии по импортозамещению в п.3 положения одной из основных задач Комиссии выступает определение мер, направленных на удовлетворение потребностей внутреннего рынка в промышленной продукции российского производства [1]. Преодоление современного кризиса и развитие такой ключевой отрасли РФ, как лесная промышленность, должны базироваться, преимущественно, на отечественных лесозаготовительных и лесотранспортных машинах. Компанией «Подъемные машины» было установлено, что необходимое количество техники для заготовки 200 млн. куб. м древесины в год требуется порядка 35 тыс. соответствующих машин, в частности, 5 тыс. валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин (харвестеров).



а



б

Рис 1. а) – импорт харвестеров в период с 2010 по 2014 год; б) – сравнение текущего состояния импорта харвестеров с недостающей потребностью

Это обуславливается среднегодовым ввозом импортных харвестеров, который с 2010 по 2014 составил 206 шт. (рис. 1, а).

Таким образом, очевидно, что возрастает потребность в отечественной лесозаготовительной технике. По данным компании недостающая потребность составляет сегодня 794 ед. (рис 1, б).

Учитывая бóльшую распространенность сортиментной технологии лесозаготовок по сравнению с хлыстовой и вышеизложенные данные, стоит отметить острую проблему проектирования и изготовления отечественных машин и оборудования лесного комплекса.

Цели и задачи.

Целью исследования является анализ возможности использования сельскохозяйственных колёсных тракторов в качестве базовой машины для

отечественной лесозаготовительной техники. Проблема заключается как в отсутствии отдельных отечественных производств, которые могли бы удовлетворить потребности создания специализированной техники в полной мере, так и основных агрегатов, и узлов (танDEMная тележка, процессорная головка, система управления технологическим оборудованием и т.д.), определяющих эксплуатационную эффективность и надёжность лесосечных машин.

Методика исследования.

Для аналитического исследования использовались опубликованные технические характеристики зарубежных харвестеров фирм «John Deere» и «Ponsse» и их конструктивные особенности, по которым можно оценивать эксплуатационную эффективность рассматриваемых лесозаготовительных машин. Также был проведен анализ параметров отечественных сельскохозяйственных тракторов «Кировец», на базе которых возможно создание колесного харвестера.

Результаты и обсуждение исследований.

Колесные харвестеры John Deere универсальны и способны работать как на сплошных, так и на выборочных рубках. Все лесозаготовительные машины оснащены надежными и экономичными двигателями John Deere, системами охлаждения с автоматическим реверсивным гидравлическим вентилятором, а также усиленной трансмиссией. Также машины оснащаются системой измерения и контроля TimberMatic H-09 с операционной системой Windows. Благодаря этому управление базовой машиной, харвестерной головкой и системой измерений объединены в один пользовательский интерфейс. Также в систему управления TimberMatic H-09 входят несколько датчиков давления, позволяющие регулировать большинство параметров харвестера из кабины без использования сервисных инструментов [2]. Технические характеристики колесных харвестеров фирмы John Deere приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Технические характеристики колесных харвестеров фирмы John Deere

Характеристики машины	Модель харвестера		
	1170E	1270G	1470G
Двигатель	John Deere 6068 PowerTech Plus	John Deere 6090 PowerTech Plus	
Максимальная мощность двигателя, кВт, при $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$	136	200	
Максимальный крутящий момент, Н×м, при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$	850	1315	
Трансмиссия	Механическо-гидростатическая		
Колесная формула	4x4/6x6	6x6/8x8	6x6
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	6435×2600/6920×2660	7695×2950/7927×2950	7945×2990
Эксплуатационная масса, кг	15 050/15 750	20 500/22 800	22 900

Манипулятор	180S	CH7	CH9
Максимальный вылет, м	8,6/10/10,8	8,6/10/11,7	8,6/10/11
Грузовой момент, кН×м	143	197	225
Поворотный момент, кН×м	38	50	59
Марка многооперационного агрегата	H752HD, H754, H412, H413 и H414	H413, H414, H415, H480C и H270	H415, H480C, H270 II и H290
Максимальный диаметр пропила, см	40/62/47/62	58/62/75/71	75/71/65/75
Тяговое усилие, кН	130	180/210	200

Харвестеры компании Ponsse оснащены двигателями марки Mercedes-Benz. Отличительной особенностью данных машин выступает колесная формула 8x8, устанавливаемая опционально. Так же в харвестерных головках Ponsse предусмотрена функция групповой обработки нескольких стволов при заготовке частично очищенной и неочищенной от сучьев балансовой и топливной древесины [3].

Технические характеристики колесных харвестеров фирмы Ponsse представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Технические характеристики колесных харвестеров фирмы Ponsse

Характеристики машины	Модель харвестера		
	FOX	SCORPION	SCORPION KING
Двигатель	MB OM 924 LA EU Stage IIIA	MB OM 936 LA EU Stage IIIA	MB OM 936 LA EU Stage IIIA
Максимальная мощность двигателя, кВт,	145	205	205
Максимальный крутящий момент, Н×м, при $n = 1200 - 1600 \text{ мин}^{-1}$	705	1100	1100
Трансмиссия	Гидростатическая		
Колесная формула	8x8		
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	7900×2640×3640	8020×2630(3085)×3720	8020×2690(3085)×3720
Эксплуатационная масса, кг	18 200	21 900	22 900
Манипулятор	C44+	C50	C55
Максимальный вылет, м	10/11	10/11	10/11
Грузовой момент, кН×м	230	252	252
Поворотный момент, кН×м	52	57	57
Угол поворота, град	250	280	280
Тяговое усилие, кН	155	170	180

Исходя из приведенных технических характеристик зарубежных машин, проанализируем особенности базового трактора «Кировец» трех различных модификаций, которые сведены в табл. 3.

Таблица 3 – Технические характеристики колесных тракторов «Кировец»

Характеристики машины	Модель трактора		
	К-424	К-744РЗ «Стандарт»	К-744Р4 «Премиум»
Двигатель	ЯМЗ-53625	8481.10-02	Mercedes-Benz OM460LA E3A/4
Номинальная мощность двигателя, кВт	176	287	315
Максимальный крутящий момент, Н×м, при $n = 1300...1500 \text{ мин}^{-1}$	900	1860	2000
Трансмиссия	Гидромеханическая		
Колесная формула	4x4		
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	6960x2540x3505	7350x2875x3876	
Эксплуатационная масса, кг	10 000	16 890	18 265
Тяговый класс	4	8	

При этом особенный интерес вызывают гидроманипуляторы компании «Велмаш-С», которые можно агрегатировать с базовой моделью. Гидроманипулятор СФ-75 комплектуется гидравлическим распределителем RM-316 (Швеция), ротатором GV 6 (Швеция), стандартной подвеской, маслобаком, гидронасосом Sunfab SC-84 (Швеция) и грейферным захватом А-35. Манипулятор VC8L74 укомплектован насосом повышенной производительности и гидравлическим распределителем производства фирмы «Nord Hydraulic» (Швеция) с увеличенной пропускной способностью гидравлической жидкости. Специально разработанная для гидроманипулятора гидравлическая схема обеспечивает плавное управление движениями звеньев и дает возможность оператору уверенно совмещать несколько операций [4]. Другие технические характеристики манипуляторов сведены в табл. 4.

Таблица 4 – Технические характеристики гидравлических манипуляторов

Характеристики	Модель манипулятора		
	ВЕЛМАШ СФ-75	ВЕЛМАШ VC8L74	ВЕЛМАШ VM10L74
Максимальный вылет, м	7,1	7,4	
Грузовой момент, кН×м	75	80	100
Угол поворота колонны, град	415	420	425
Грузоподъемность на мин. вылете, кг	2550	2330	3100

Грузоподъемность на макс. вылете, кг	1100	1080	1350
Масса манипулятора, кг	1890	1580	1820

Самой ответственной частью валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины является харвестерная головка. Поскольку вопрос создания отечественной многооперационной головки остается открытым, то в качестве технического решения может выступить многооперационный агрегат компании «AFM Forest» (Финляндия). Данные харвестерные головки оснащены измерительной системой, позволяющей управлять процессом оптимизации раскряжевки [5]. Наиболее привлекательные модели данной марки – AFM 35, AFM 45 и AFM 55. Основные параметры многооперационных агрегатов компании «AFM» представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Технические характеристики харвестерных головок фирмы AFM

Характеристики харвестерной головки	Модель		
	AFM 35	AFM 45	AFM 55
Вес, кг	650	965	1090
Оптимальный диаметр ствола, см	5-25	5-35	20-45
Подвижные/фиксированные ножи, шт	4/1	4/2	
Открытие передних ножей, макс., мм	1100	495	670
Открытие задних ножей, макс., мм	1130	610	790
Открытие вальцов, макс., мм	400	550	720
Механизм протяжки	2 мотора/2 вальца	4 мотора/3 вальца	
Скорость протяжки, м/с	0-5	0,5-5	0,5-5
Сила протяжки, кН	17	18-22	26

В ближайшем будущем, очевидно, возникнет вопрос о разработке специальной отечественной тандемной тележки для лесосечных машин. ПАО «Кировский завод» имеет в своем оснащении металлургическое и термическое производства, а также современные технологии производства элементов и узлов трансмиссий, поэтому располагает всеми возможностями для разработки и внедрения на отечественный рынок тандемных тележек различных модификаций.

Заключение и выводы.

Сравнительный анализ харвестеров позволяет сделать вывод, что тракторы, выпускаемые АО «Петербургский тракторный завод» (дочерней компанией ПАО «Кировского завода»), удовлетворяют современным требованиям эксплуатации на лесозаготовках в качестве базовой машины. Из проведенного конструктивного анализа следует, что трактора «Кировец»

нуждаются в комплексном переоснащении узлами и агрегатами зарубежного производства (рис. 2, а, б), чтобы выполнять поставленные перед лесопромышленной отраслью задачи.

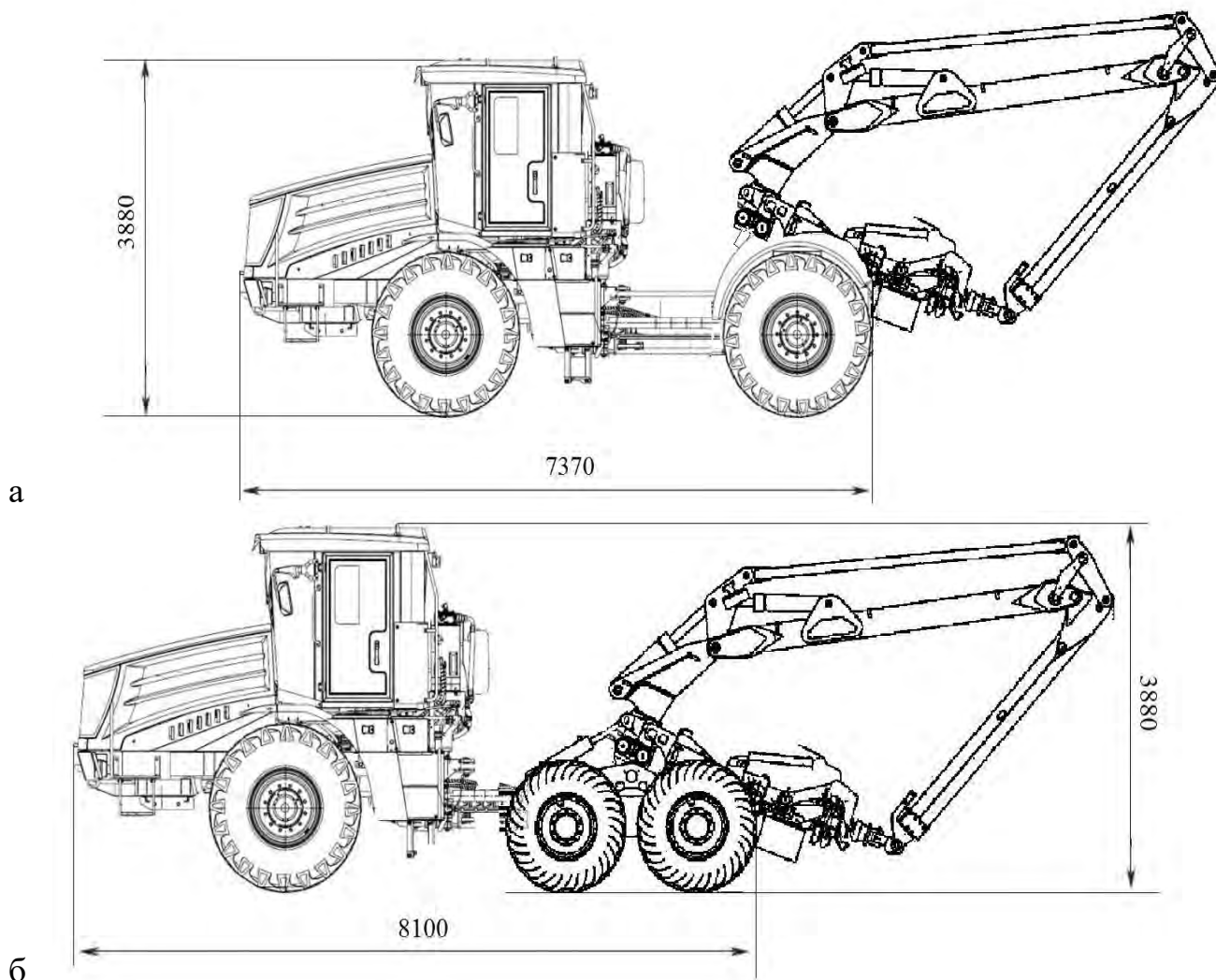


Рис. 2. Схема колесного харвестера на базе трактора «Кировец»: а) с колесной формулой 4х4; б) с колесной формулой 6х6

Библиографический список

1. Чеботарева В.В. Стратегические направления развития лесного комплекса России [Электронный ресурс] // mnr.gov.ru : сайт Министерства Природных Ресурсов и Экологии Российской Федерации, 2006 г. URL: <http://www.mnr.gov.ru/activities/detail.php?ID=11955&print=Y> (дата обращения 06.02.2018)
2. Продукция компании «Palfinger» [Электронный ресурс] // palfinger.com: сайт концерна Palfinger AG, URL: <https://www.palfinger.com/ru-ru/produksiya/gidromanipulyatory/gidromanipulyatory-dlya-lesa> (дата обращения 05.02.2018)
3. Компания «John Deere» [Электронный ресурс] // deere.com: Deere & Company is an American engineering company producing agricultural, construction and forestry equipment, URL: <https://www.deere.com/en/wheeled-harvesters/> (дата обращения 02.02.2018)

4. *Ponsse - A logger's best friend* [Электронный ресурс] // ponsse.com: The leading manufacturer of logging machines working on the assortment logging method, URL: <http://www.ponsse.com/products/harvesters> (дата обращения 05.02.2018)

5. *Продукции фирмы AFM* [Электронный ресурс] // afm-forest.ru: AFM-Forest Ltd – финская компания, производящая харвестерные, процессорные, валочные, комби и энергетические головки для тяжелых условий лесозаготовок, URL: <http://www.afm-forest.ru/produksiya/harvesternye-golovki/> (дата обращения 04.02.2018)

6. *ПАО Кировский завод* [Электронный ресурс] // <http://kirovets-ptz.com>: национальный производитель мощных энергонасыщенных колесных сельскохозяйственных тракторов, URL: <http://kirovets-ptz.com/catalog/> (дата обращения 04.02.2018)

Сведения об авторах

ФИО	Пегов Владимир Юрьевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2769-3819
e-mail	Vladimir.pegov95@yandex.ru
ФИО	Дурманов Михаил Яковлевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	pslm218@yandex.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены перспективы развития отечественного машиностроения в лесопромышленной отрасли. В качестве методов исследования были использованы технические характеристики харвестеров. Последующий сравнительный анализ параметров современной лесозаготовительной техники предоставил возможность понять текущее состояние зарубежного машиностроения в целом. Ввиду отсутствия специализированных производств принято решение использовать продукцию зарубежных компаний в качестве технологического оборудования лесозаготовительной машины. На основе полученных результатов представлена перспектива импортозамещения машин лесного комплекса и внедрения на отечественный рынок важного элемента ходовой части харвестера – тандемной тележки.

Ключевые слова: лесозаготовительная техника, харвестер, перспективы создания, трактор, тракторный завод.

УДК 62-114 Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.29 Тракторостроение

Оценка динамической нагруженности силовой передачи лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на стадии проектирования

Дурманов М.Я., Михайлов О.А., Спиридонов С.В.

Введение. В настоящее время для разработки и создания лесо- и сельскохозяйственных машин и агрегатов широко используются методы статистической динамики, научная база земледельческой механики и существующие теории машинно-тракторных агрегатов (МТА). Для лесохозяйственного МТА основными внешними воздействиями в моделях функционирования являются: профиль поверхности вырубki, задаваемый корреляционной функцией и спектральной плотностью; факторы разнообразия физико-механических свойств почвы; скорость движения МТА. Моделируется неустановившейся характер сил сопротивления движению МТА, описываемый эргодическим стационарным случайным процессом, для всего спектра частот входного момента нагрузки.

При детерминированном возмущении и стационарном процессе амплитуда переменной составляющей нагрузки постоянна во всем интервале частот. В условиях функционирования МТА, возмущение со стороны пути движения, как правило, – случайный процесс с наличием неровностей разной величины и вероятности их появления. Детерминированное возмущение целесообразно использовать в расчетах на стадии проектирования МТА, если неизвестны возможные величина и характер предполагаемых нагрузок.

Цели и задачи. Целью исследования является оценка динамической составляющей касательной силы и динамической нагруженности силовой передачи лесохозяйственного МТА на базе трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. Для решения этой задачи была разработана вычислительная модель функционирования МТА, позволяющая на стадии проектирования определять значения показателей эксплуатационной эффективности и согласовывать их с конструктивными параметрами. Задача исследования заключается в доказательстве реализуемости и достоверности результатов вычислений по предлагаемой модели.

Методика исследования. Модели функционирования МТА на разных режимах реализованы в математической среде «MathCAD», а для обработки результатов расчетов и графопостроения использовано приложение «Microsoft Office Excel». Методика вычислений описана ниже.

Очевидно [1], что функционирование двигателей МТА реализуется на регуляторной ветви скоростной характеристики. Поэтому двигатель можно рассматривать как линейный объект управления [2], что значительно упрощает

решение задачи энергозатрат. Выходные технико-экономические критерии можно определить совместным решением экспериментально или теоретически установленных зависимостей $v=f_1(F_c(t))$ при $h_0=\text{const}$ с известными аналитическими выражениями выходных показателей.

Для математического описания неустановившихся режимов функционирования МТА используем аппарат передаточных функций [3]. Входные воздействия для МТА: со стороны пашни – неровности микрорельефа и неоднородность почвы, являющиеся причиной колебаний сил сопротивления $F_c(t)$ на ведущих звездочках; со стороны оператора – изменения положения органа $h(t)$, задающего величину цикловой подачи топлива.

Передаточные функции по возмущающему воздействию (при $h_0=\text{const}$):

- частоты вращения энергосилового устройства МТА:

$$U_{11}(s) = \frac{\kappa_{д1}(T_2^2 s^2 + 2T_2 \xi_1 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_3^2 s^2 + 2T_3 \xi_2 s + 1)(T_4 s + 1)}, \quad (1)$$

где $\kappa_{д1}$ - коэффициент передачи частоты вращения; T_1, T_2, T_3, T_4 - постоянные времени; ξ_1, ξ_2 - коэффициенты затухания;

- колебаний остова МТА в продольно-вертикальной плоскости в пахотном режиме, при $s = j\omega$ [4]:

$$\left| \Theta_{\hat{a}}^{\ddot{i}}(j\omega) \right| = k'_0 c_1 \omega^2 \sqrt{\frac{[\mu_0 m_1 m_2 \omega^2 (\frac{1}{\tau \lambda_1} - 1) + c_1 (m' + \frac{1}{\tau \lambda_1} m'')]^2 + [\mu_0 m_1 m_2 \omega^4 - \omega^2 (m_1 c_1 + m_2 c_1 + \beta_1^2) + c_1^2]^2 + \dots}{\dots + \omega^2 \beta_1^2 (m' - \frac{1}{\tau \lambda_1} m'')^2 \dots + \omega^2 [\beta_1 (c_1 - m_2 \omega^2) - \beta_1 (c_1 - m_1 \omega^2)]^2}}, \quad (2)$$

где $k'_0 = \cos(2\pi l_{\hat{e}}/l_1) \approx 0,7$; l_k – расстояние между осями кареток; l_H – длина неровности микрорельефа пашни; c_1 – жесткость подрессоривания опор, $c_1=1400$ кН/м; ω – частота повторения неровности, $\omega = 2\pi v / l_H$; v – скорость движения МТА; β_1 – параметр демпфирования, $\beta_1 = 2v_{\Pi} \sqrt{c_1 m}$; $v_{\Pi}=0,3$;

$\mu_1 = 1 - \frac{m_0}{m_1 + m_2} = 0,66$; $m_0 = \frac{I_c - m_{\text{тп}} l_1 l_2}{l^2} = 5544,5$ кг; $m_1 = \frac{I_c + m_{\text{по}} l_2^2}{l^2} = 9599,2$ кг;

$m_2 = \frac{I_c + m_{\text{зо}} l_1^2}{l^2} = 7003,7$ кг; $m_{\text{тп}}$ – подрессоренная масса трактора, $m_{\text{тп}}= 8400$ кг;

$m_{\text{по}}$ – масса трактора, приходящаяся на ось передних кареток, $m_{\text{по}}= 4400$ кг; $m_{\text{зо}}$ – масса трактора, приходящаяся на ось задних кареток, $m_{\text{зо}}= 4000$ кг; l – межосевое расстояние, $l = l_1 + l_2 = 1,75$ м; $l_1= 0,31$ м; $l_2 = 1,44$ м; I_c – момент

инерции системы, $I_c \approx m_{\text{тп}} l_1 l_2$, $I_c = 23936 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $m' = m_0 + m_1$; $m'' = m_0 + m_2$; $\tau = l/v$; λ_n – доминирующая низшая частота собственных колебаний остова трактора.

Для МТА с двигателем СМД-20Т.04: $\kappa_{д1} = 1,80 \text{ (Н}\cdot\text{м}\cdot\text{мин)}^{-1}$; T_1 – постоянная времени МТА, $T_1 = \frac{\pi}{30} \left(I_{д} + \frac{mR^2}{i_{т}^2} \right) \frac{n_{н}^2}{N_{н}}$; $T_2 = 0,531 \text{ с}^{-1}$; $T_3 = 0,398 \text{ с}^{-1}$; $T_4 = 0,354 \text{ с}^{-1}$; $\xi_1 = 0,30$; $\xi_2 = 0,25$; $I_{д}$ – приведенный момент инерции двигателя, $I_{д} = 2,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $n_{н}$ – номинальная частота вращения двигателя; $N_{н}$ – номинальная мощность двигателя [5].

Касательная сила МТА с гусеничным движителем в пахотном режиме $F_{\hat{e}}^{\ddot{i}}$ состоит из двух компонент. Регулярная компонента касательной силы $F_{\hat{e}1}^{\ddot{i}}$ затрачивается на преодоление регулярных сил сопротивления, а переменная компонента $F_{\hat{e}}^{\ddot{i}}(\omega)$ – на преодоление переменной составляющей нагрузки на ведущих звездочках и в силовой передаче:

$$F_{\hat{e}1}^{\ddot{i}} = g(m \cdot \sin \alpha + f_{\hat{o}\hat{e}} m_{\hat{o}} \cos \alpha) + m_{\hat{i}\hat{e}} g(\sin \alpha + f_{\hat{o}\hat{n}} \cos \alpha) + \hat{e}_1 (1 - \delta_s) ab + \left(\frac{\pi R}{30 i_{\hat{o}}} \right)^2 \xi ab n_{\hat{o}}^2 + q_e \delta_s ab; \quad (3)$$

$$F_{\hat{e}}^{\ddot{i}}(\omega) = F_{\hat{n}}^{\hat{a}} R \cdot [2 A_3 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)| + A_4 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)|] + f_{\hat{o}\hat{e}} \cdot |\Theta_{\hat{a}}^{\ddot{i}}(j\omega)|, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения; m – масса МТА, $m = m_{т} + m_{\text{пл}}$; $m_{т}$ – масса трактора; $m_{\text{пл}}$ – масса плуга; α – угол подъема участка пути; $f_{\text{тк}}, f_{\text{тс}}$ – коэффициенты трения качения движителя и трения скольжения плуга о дно и стенку борозды, соответственно; $\kappa_{п}$ – удельное сопротивление почвы; a, b – глубина обработки почвы и ширина захвата плуга; ξ – коэффициент динамичности; q_k – удельное усилие для разрыва корней, находящихся в почве ($q_k = 2 \cdot 10^6 \dots 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$); δ_s – часть площади поперечного сечения пласта, которая зависит от свойств древесной породы распространять корни в пахотном горизонте ($\delta_s = 0,01 \dots 0,05$); $F_{\hat{n}}^{\hat{a}}$ – величина амплитуды переменной составляющей нагрузки; R – радиус ведущих звездочек.

Подставляя в (4) значения $|U_{11}(j\omega)|$ (1) и $|\Theta_{\hat{a}}^{\ddot{i}}(j\omega)|$ (2), вычисляем амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) касательной силы тяги МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в пахотном режиме: $i_{\hat{o}} = 34,84$; $R = 0,238 \text{ м}$; $\alpha = 3^\circ$; $m = m_{\hat{o}} + m_{\hat{i}\hat{e}}$; $m_{\hat{o}} = 10400 \text{ кг}$; $m_{\hat{i}\hat{e}} = 520 \text{ кг}$; $f_{\text{тк}} = 0,18$; $f_{\text{тс}} = 0,40$;

$a=0,15$ м; $b=0,7$ м; $\kappa_{\Pi}=6 \cdot 10^4$ Н/м; $\xi=2000$ кг/м³; $n_o=0,8n_n$; $n_n=1800$ мин⁻¹; $N_n=88$ кВт; $\delta_s=0,05$; $q_k=3 \cdot 10^6$ Н/м²; $F_{\Pi}^{\dot{a}}=1920$ Н; $\eta_m=0,68$.

Таким образом, математическая модель функционирования МТА (на примере трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в пахотном режиме) в стационарном установившемся режиме движения содержит передаточную функцию, описывающую колебания трактора в продольно-вертикальной плоскости [4] и передаточную функцию частоты вращения привода, полученные теоретически и экспериментально [6]. На основании такой модели становится возможным с большей точностью и достоверностью вычисление и анализ частотных характеристик показателей эффективности МТА, в зависимости от частоты колебаний нагрузки на ведущих звездочках и скорости движения [5]. Результаты моделирования представлены поверхностью состояния амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) касательной силы МТА (рис.1) для заданных конструктивных параметров.

Объем, ограниченный поверхностью состояния АЧХ и осями координат имеет размерность [кДж/с²]. Это соответствует размерности второй производной энергии \mathcal{E} по времени t или первой производной мощности N [кВт/с]. Поэтому объем, ограниченный поверхностью состояния АЧХ и осями координат, рассматривается как энергия, часть которой расходуется на реализацию регулярной касательной силы, а другая – как потери на динамическую составляющую касательной силы. Выполняя сечения в продольно-вертикальной плоскости (рис.2) при любом фиксированном значении регулярной скорости v_o движения МТА и по всему диапазону частот ω колебаний нагрузки на ведущих звездочках можно вычислить регулярную составляющую $F_{\dot{\epsilon}}^i$ и динамическую составляющую касательной силы $F_{\dot{\epsilon}}^i(\omega)$.

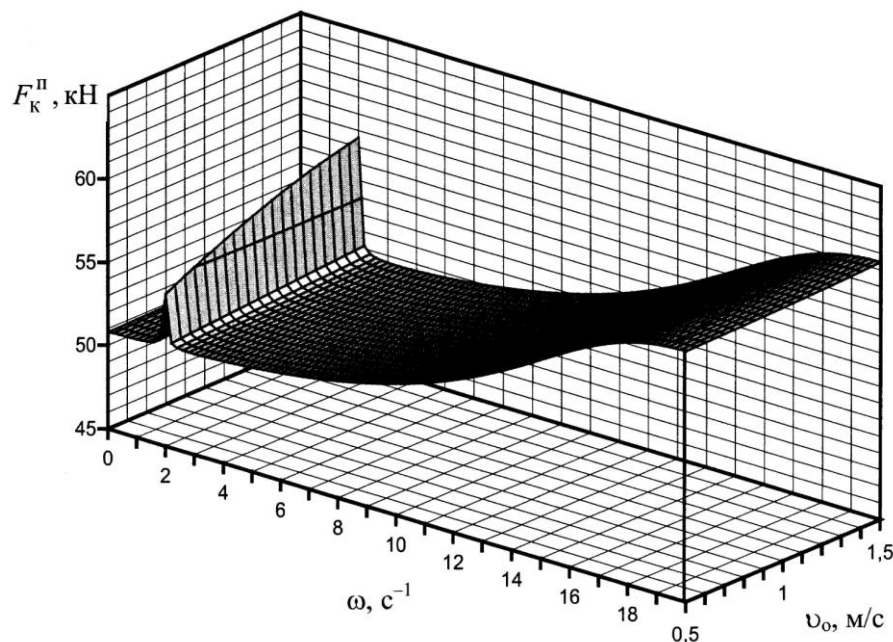


Рис.1. Поверхность состояния АЧХ касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в пахотном режиме ($c_1=1400$ кН/м)

Энергозатраты МТА определялись для варьируемых конструктивных параметров жесткости подвеса трактора $c_1=1400$ и 840 кН/м, и установке корректирующих устройств в топливный насос высокого давления и главную масляную магистраль (ГММ) двигателя [5]. В качестве первого корректирующего устройства использовался гаситель колебаний рейки топливного насоса (РТН). Гаситель колебаний был разработан [7] для того, чтобы уменьшить амплитуду колебаний рейки и отрицательное действие гидродинамической силы на качество процесса регулирования скорости. Его достоинство заключается в том, что демпфируя, он уменьшает действие гидродинамической силы при отсечке топлива и, в меньшей мере, оказывает сопротивление при перемещении РТН в сторону увеличения цикловой подачи топлива. Второе корректирующее устройство устанавливалось в ГММ и состояло из подключенных последовательно двух пневмогидроаккумуляторов и управляемого дросселя [8]. Устройство улучшило смазочный режим за счет изменения фазового запаздывания приращения давления масла в ГММ с -180° до -45° [6,9], уменьшив амплитуду колебаний момента механических потерь и величину сил трения.

АЧХ касательной силы (рис. 2, кривая 1) в пахотном режиме имеет два экстремума при собственных частотах $2,9$ и $20,0$ с^{-1} . Динамическая нагруженность при этих частотах соответственно равна $9,0$ и $2,8$ кН. Первая частота $\omega_c = 2,9$ с^{-1} соответствует собственной частоте колебаний частоты вращения двигателя, вторая – частоте колебаний подрессоренной массы МТА в продольно-вертикальной плоскости.

Применение гасителя колебаний РТН дизеля [6] и изменение жесткости подвеса c_1 в системе подрессоривания трактора, позволяют уменьшить амплитуду колебаний касательной силы в низкочастотном ($\omega_c=2,9$ с^{-1}), наиболее энергозатратном диапазоне с $9,0$ до $0,8$ кН (рис.2, кривая 4) [5].

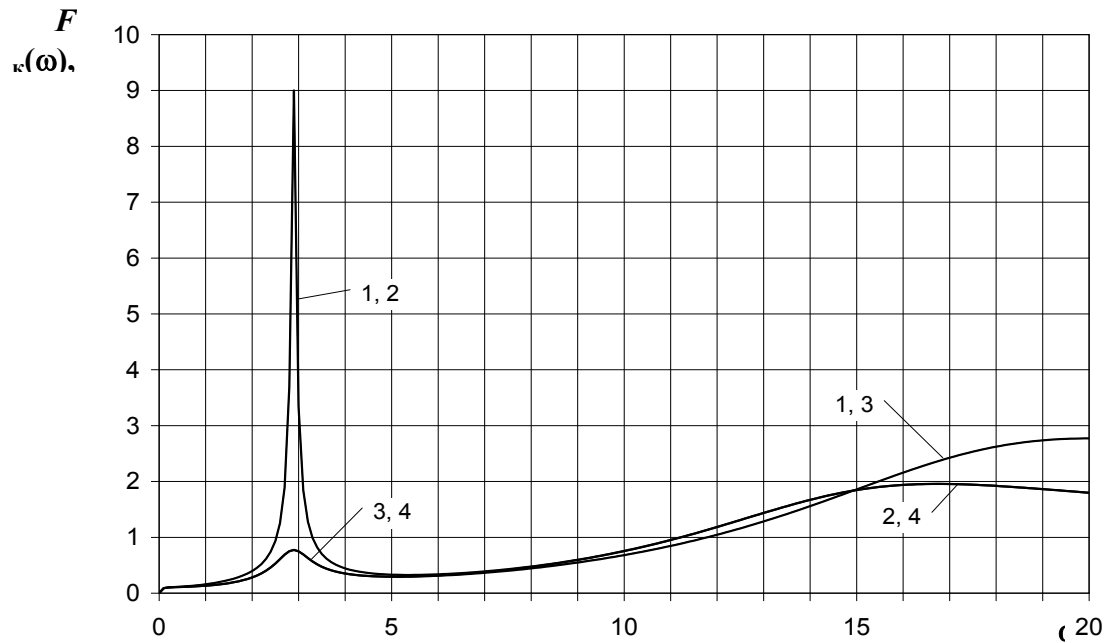


Рис.2. АЧХ касательной силы МТА "ЛХТ-100 + пflug ПКЛ-70-4"

в пахотном режиме при регулярной скорости движения $v_0 = 1,02$ м/с:
 1, 2 – без гасителей колебаний в системе поддрессоривания МТА и РТН;
 3, 4 – с гасителями колебаний в системе поддрессоривания МТА и РТН;
 1, 3 – при жесткости $c_1=1400$ кН/м; 2, 4 – при жесткости $c_1=840$ кН/м

Снижение суммарной жесткости поддрессоривания на 40% и установка гасителей колебаний в систему поддрессоривания МТА, РТН и ПГА в ГММ двигателя способствуют снижению амплитуды при собственной частоте $\omega_c = 16,4$ с⁻¹ до 2,0 кН (рис. 2, кривая 4). Очевидно, что с изменением суммарной жесткости поддрессоривания и установкой гасителей колебаний снижаются не только амплитуды, но и понижаются собственные частоты колебаний подвеса МТА в продольно-вертикальной плоскости (рис. 2, кривая 4).

Динамическая нагруженность в силовой передаче МТА в спектре частот $\omega = 0 \dots 30$ с⁻¹ и динамическая составляющая касательной силы в спектре частот $\omega = 0 \dots 12$ с⁻¹ вычислены по формуле (при $s=j\omega$)

$$F_{\hat{e}}^i(\omega) = \frac{F_{\hat{n}}^a R}{\omega_{\hat{n}i}} (2A_3 + A_4) \cdot \int_0^{\omega} |U_{11}(j\omega)| \cdot d\omega + \frac{f_{\hat{o}\hat{e}}}{\omega_{\hat{n}i}} \cdot \int_0^{\omega} |\Theta_{\hat{a}}^i(j\omega)| \cdot d\omega, \quad (5)$$

где $\omega_{\hat{n}i}$ – собственная низшая частота процесса; $A_3 = \left(\frac{\pi R}{30i_{\hat{o}}}\right)^2 \xi_{ab}$;

$A_4 = \frac{\pi R}{30i_{\hat{o}}} m$; $U_{11}(j\omega)$ – передаточная функция частоты вращения двигателя;

$\Theta_{\hat{a}}^i(j\omega)$ – передаточная функция колебаний поддрессоренной массы МТА в продольно-вертикальной плоскости.

Динамическая нагруженность в силовой передаче МТА, в штатной комплектации при $c_1=1400$ кН/м, в спектре частот $\omega = 0...30$ с⁻¹ равна 140 кН; при $c_1=840$ кН/м с установленными гасителями колебаний в системе подрессоривания, РТН и ПГА в ГММ двигателя – 98 кН.

Динамическая составляющая касательной силы в низкочастотном спектре, ограниченном инерционностью масс МТА и двигателя, вычислена при $c_1=1400$ кН/м – в штатной комплектации; при $c_1=1400$ кН/м и 840 кН/м – с гасителями колебаний в системе подрессоривания, РТН и ПГА в ГММ двигателя. Результаты вычислений динамической составляющей касательной силы сведены в таблицу.

Результаты и обсуждение исследований. При детерминированном возмущении в пахотном режиме, снижение жесткости подрессоривания на 40%, без гасителей колебаний, способствует увеличению динамической составляющей касательной силы на 18,0%. С гасителями колебаний динамическая составляющая снижается на 5,6%. Эффективно используемая касательная сила повышается с 37,79 до 38,33 кН.

Заключение и выводы. Разработанная модель позволяет выявить на стадии проектирования агрегатов МТА конструктивные параметры, позволяющие снизить энергозатраты и динамическую нагруженность силовой передачи.

Таблица - Результаты расчета динамической составляющей касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в пахотном режиме при детерминированном возмущении

Установка гасителей колебаний МТА, РТН и ПГА в ГММ двигателя	Касательная сила, кН	
	$c_1=1400$ кН/м	$c_1=840$ кН/м
отсутствуют	10,14	11,98
имеются	7,75	9,60
	$F_{ey}^{\ddot{}} = F_{ei}^{\ddot{}} - F_e^{\ddot{}}(\omega)$	
отсутствуют	37,79	35,95
имеются	40,18	38,33

Для дизельного двигателя СМД-20Т.04 выявлена резонансная частота $\omega_c = 2,5$ с⁻¹, сопровождаемая повышенной динамической нагруженностью и энергозатратами на реализацию касательной силы.

Причинами повышенных энергозатрат и динамической нагруженности в силовой передаче являются:

- близость собственных (резонансных) частот системы поддрессоривания МТА при колебаниях в продольно-вертикальной плоскости к резонансной частоте колебаний скорости вращения вала двигателя;

- несовершенство систем регулирования скорости, подачи топлива в камеру сгорания и смазочного масла к парам трения двигателя, выраженное в наличии резонансных частот, близких к собственным частотам системы поддрессоривания МТА.

Разработаны и опробованы пути снижения установленных негативных закономерностей введением демпфирующих и корректирующих устройств в системы поддрессоривания МТА, регулирования скорости и подачи масла к парам трения двигателя.

В заключение, выражаем благодарность за конструктивное обсуждение и помощь в подготовке настоящей статьи Антипину В.П. и Каршеву Г.В.

Библиографический список

1. Болтинский В. Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке. – М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1949. – 214 с.

2. Крутов В. И., Данилов Ф. М., Кузьмик П. К. и др. Основы теории автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1984. – 368 с.

3. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления. – М.: Наука, 1970. – 620 с.

4. Варава В.И. и др. Энергозатраты трактора ТБ-1. Лесной журнал, №5, 2007.- С.45-53.

5. Власов Е.Н. Определение количества энергии, затрачиваемой на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме / Е.Н. Власов [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 212.- СПб.: СПбГЛТУ, 2015.- С. 104-112.

6. Антипин В. П. Энергозатраты машинно-тракторного агрегата. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 324 с.

7. Антипин В. П., Грибов С. А., Шевцов А. А., Козлов А. В., Кристаль М. Е. Регулятор скорости прямого действия двигателя внутреннего сгорания. А.с. №1276843; опубл. 15.12.86. – Бюл. № 46, 1986.

8. Баринов К. Н., Антипин В. П., Карпилович А. И., Шевцов А. А., Демаков В. М., Щетинин Ю. В. Система смазки дизельного двигателя. А.с. № 1497383; опубл. 30.07.89. – Бюл. № 28, 1989.

9. Антипин В.П. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата / В. П. Антипин, М. Я. Дурманов, Г. В. Каршев – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 484 с.

Сведения об авторах

ФИО	Дурманов М.Я.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	Durmanov130266@rambler.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	its55@mail.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru

Для повышения качества проектных и конструкторских работ, совершенствования конструкции лесохозяйственных МТА необходима разработка и практическое использование различных методик оценки эксплуатационной эффективности МТА, особенно актуальных на этапе проектирования трактора. Метод, учитывающий энергозатраты на реализацию касательной силы тяги, позволяет оценивать на стадии проектирования МТА не только регулярную и динамическую составляющие касательной силы, но и динамическую нагруженность силовой передачи. Результаты моделирования представлены поверхностью состояния амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) касательной силы тяги МТА и сечениями поверхности для заданных конструктивных параметров. Объем, ограниченный поверхностью состояния АЧХ касательной силы и осями координат, рассматривается как энергия, часть которой расходуется на реализацию регулярной касательной силы, а другая - как потери на динамическую составляющую касательной силы. Выполняя сечения поверхности состояния АЧХ в продольно-вертикальной плоскости при любом фиксированном значении регулярной скорости движения МТА и по всему диапазону частот колебаний нагрузки на ведущих звездочках вычисляются динамическая составляющая касательной силы и динамическая нагруженность привода. В статье рассматривается пахотный режим работы трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4.

Ключевые слова: лесохозяйственный агрегат, энергозатраты, касательная сила, динамическая нагруженность, амплитудно-частотная характеристика

Keywords: forestry aggregate, energy consumption, tangent force, dynamic loading, amplitude-frequency characteristic

УДК 630*375.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.01.77; 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15; 68.85.29

Перспективы внедрения технических мышц в машины и оборудование лесного комплекса

Кизилов А.Б.

Введение: В настоящее время в лесной отрасли широко используются гидравлический (в лесозаготовительных машинах) и пневматический (в технологическом оборудовании) приводы. Однако, традиционные гидравлические и пневматические приводы, наряду с известными достоинствами, обладают существенными недостатками, непреодолимыми при сохранении классической структуры их элементов. В частности, высокие требования к точности и качеству поверхности деталей гидроаппаратуры определяют сложность технологии высокую стоимость данных устройств. Также необходимым является наличие гидростанции, пневматической магистрали или компрессора. Принципиально снизить затраты позволяет создание и внедрение приводных элементов типа технических мышц.

Цели и задачи: Представители данного класса используют различные источники давления и энергоносители. Однако общим для них являются использование упругих и анизотропных свойств цилиндрических оболочек по следующей упрощённой схеме. При возрастании давления во внутренней полости упругой непроницаемой оболочки происходит увеличение её диаметра. Специальная оплётка (анизотропная оболочка), расположенная снаружи упругой трубки, преобразует радиальное расширение оболочки в её продольное сокращение. Таким образом, описанный элемент работает подобно живой мышце, что и определило его название.

Результаты и обсуждение исследований: Источники рабочего давления могут быть различными, в зависимости от требуемых характеристик мышцы и условий её эксплуатации. Возможно применение гидравлической или пневматической энергии, а также нетрадиционных газовых приводов, например: волоконно-сорбционных технических мышц.

Технические мышцы всех типов отличают следующие преимущества:

- 1) Технологическая и конструктивная простота.
- 2) Высокая удельная силовая характеристика (до 5 H на 1 грамм собственного веса).
- 3) Низкая себестоимость и материалоемкость.
- 4) Простота включения в антропоморфные конструкции манипуляторов без применения сложных редукционных и передающих механических устройств.

Недостатки мышц определяются видом используемой энергии. Так пневматические и гидравлические мышцы, подобно классическим цилиндрам, требуют применения компрессоров или гидростанций, дорогостоящей регулирующей аппаратуры и трубопроводов. При этом несколько усложняется

система управления приводом, т.к. мышцы практически всегда работают в паре как антагонисты.

Существующие волоконно-сорбционные мышцы используют в качестве единого энергоносителя электрический ток и не требуют использования пневматической или гидравлической аппаратуры. Однако, поскольку рабочее давление в их внутреннем объёме создаётся при нагреве адсорбентного наполнителя, данные мышцы отличает тепловая инерция и низкое быстродействие. Также, эффективность волоконно-сорбционных мышц зависит от температуры окружающей среды. Избавиться, от этих недостатков позволит создание волоконно-сорбционных мышц, основанных на эффекте «холодной десорбции», который будет рассмотрен ниже. Эффект предлагает воздействие переменного электромагнитного поля непосредственно на частицы адсорбата без разогрева всей мышцы.

В этом случае молекулы поглощённого адсорбата (адсорбтива) покидают адсорбент не за счёт нагрева, а при воздействии внешнего переменного электромагнитного поля. Поскольку электромагнитное поле воздействует непосредственно на молекулы адсорбата, используя их дипольный момент, выделение и поглощение адсорбата происходит практически без изменения температуры. Быстродействие устройства в этом случае приближается к быстродействию пневматического привода. Однако, необходимо учитывать, что все технические мышцы, как и их биологические прототипы, могут работать только на сокращение. Соответственно, при переходе с пневматического привода на подобные элементы необходимо предусмотреть совместную работу пары мышц-антагонистов или пружинное силовое замыкание.

Рассмотрим теоретическое обоснование эффекта «холодной» десорбции для технических мышц.

Данный вариант можно назвать «электролитическим», поскольку он базируется на предполагаемой диссоциации специально введённого вещества (соли, основание или кислоты) в порах адсорбента за счёт большого дипольного момента молекул адсорбата. Подтверждением данной гипотезы служит значительная плотность квазижидкого адсорбата в поглощённом состоянии, соответствующая его максимальному сжатию. Для того, чтобы произошла диссоциация, то есть распад молекул вещества на ионы, необходимо выполнение двух условий – растворимость данного вещества и достаточная величина дипольного момента молекул растворителя (в нашем случае адсорбата). Свойства адсорбатов как растворителей не исследованы. Что же касается величины дипольного момента, целесообразно выбирать адсорбат, у которого данный параметр не ниже, чем у воды.

Итак, предположим, что диссоциация в адсорбате происходит. В качестве диссоциирующего вещества целесообразно выбрать соль с минимальной энергией диссоциации, например, хлорид ртути или её бромид. Использование кислот и щелочей влечёт опасность их химического взаимодействия с адсорбатом или адсорбентом.

Поместим адсорбент в слабый водный раствор соли, после чего воду выпарим. Это обеспечит наличие молекул соли в порах адсорбента. Будем считать, что при последующей зарядке мышц полярным адсорбатом последний, перейдя при адсорбции в квазижидкое состояние, обеспечит диссоциацию молекул соли. При этом, так же, как и при диссоциации в воде должны образоваться сольваты – комплексы, включающие ионы соли, окружённые несколькими слоями полярных молекул растворителя. Воздействие электрического поля на сольваты приведёт к их перемещению вдоль силовых линий поля. Если поле переменное, сольваты должны совершать возвратно-поступательное движение. Достаточно высокая частота переменного поля обеспечит ускорение данных компонентов и, как следствие, приобретение дипольными молекулами адсорбата дополнительной энергии, необходимой для десорбции. Вынуждаемое движение частиц совпадает с одной из степеней свободы теплового движения.

Эффект «холодной» десорбции предполагает выполнение двух условий: достаточности частоты поля и его напряжённости. Чтобы проверить частотное условие запишем уравнение кинетической энергии движения сольвата W_K по выбранной степени свободы (в направлении вектора напряжённости поля \vec{E}), которое описывается выражением 1.

$$W_K = \frac{m_{co} \times V^2}{2} \quad (1)$$

где m_{co} - масса сольвата;

V - скорость поступательного перемещения сольвата по выбранной степени свободы.

Будем считать, что характер теплового движения данных сольватов эквивалентен характеру перемещения частиц нормальной жидкости. При этом частицы совершает колебательное движение относительно неподвижной точки некоторое время, после чего происходит «прыжок» на новую позицию на расстояние d , описываемое формулой 2.

$$d = \sqrt[3]{\frac{M}{N_A \times \rho}} \quad (2)$$

где M – молярная масса;

ρ - плотность;

N_A - число Авогадро.

Если напряжённость переменного поля достаточна, подавляющее сольватов будет совершать такими «прыжками» возвратно-поступательное вдоль силовых линий поля. Средняя скорость V_{cp} при этом составит выражение 3.

$$V_{cp} = d \times \nu \quad (3)$$

где V - частота перемещений сольвата.

С другой стороны, рассматриваемая кинетическая энергия, может быть определена как функция (4) абсолютной температуры T :

$$W_k = 0,5 \times k \times T \quad (4)$$

Соответственно, частота перемещений сольвата описывается формулой 5:

$$\nu = \frac{\sqrt{\frac{k * T}{m_{co}}}}{\sqrt[3]{\frac{M_{co}}{N_A * P_{co}}}} \quad (5)$$

Рассмотрим параметры, входящие в правую часть уравнения. Количество молекул растворителя в сольвате и, следовательно, его массу можно оценить из энергетических соотношений. Известно условие диссоциации: энергия взаимодействия ионов диссоциированного вещества с полярными молекулами растворителя примерно равна энергии взаимодействия между ионами в молекуле вещества U_M .

Энергия диполя W_g в поле, создаваемом ионом (6):

$$W_g = P_e * E_u \quad (6)$$

где E_u - напряжённость поля иона;

P_e - дипольный момент молекулы растворителя.

Напряжённость поля иона описывается выражением 7:

$$E_u = \frac{q_u}{4\pi \times \epsilon_0 \times r^2} \quad (7)$$

где q_u - заряд иона;

ϵ_0 - электрическая постоянная;

r - расстояние до иона.

Чтобы оценить радиус сольвата r_{co} (8), определим близкое ему расстояние от иона, на котором выполняется энергетическое условие диссоциации $W_g = U_M$:

$$r_{co} \approx \sqrt{\frac{q \times P_e}{4\pi \times \varepsilon_0 \times U_M}} \quad (8)$$

Объём сольвата V_{co} равен (9):

$$V_{co} = \frac{4}{3} \pi \times r_{co}^3 \quad (9)$$

Поскольку в сольвате на один ион диссоциированного вещества приходится значительное количество полярных молекул растворителя, плотность сольватов ρ_{co} можно считать равной плотности адсорбата ρ_{ca} при соответствующих условиях (10):

$$\rho_{co} = \rho_{ca} = \rho_{кр} \times (1 + \beta_{ca}(T_{ca} - T_{кл})) \times e^{\gamma(T - T_{кл})} \quad (10)$$

где $\rho_{кр}$ - критическая плотность адсорбата;

β_{ca} - коэффициент объёмного расширения адсорбата, как нормальной жидкости;

$T_{кр}$ - критическая температура адсорбата;

$T_{кл}$ - температура кипения адсорбата;

T - текущая эффективная температура адсорбата;

γ - коэффициент предельной адсорбции.

Последний коэффициент имеет значение (11):

$$\gamma = \frac{\ln \left(\frac{\rho_{кр}(1 + \beta_{ca}(T_{кр} - T_{кл})) \times v_{ca}}{M_{ca}} \right)}{T_{кр} - T_{кл}} \quad (11)$$

где M_{ca} - молярная масса адсорбата;

v_{ca} - второй коэффициент в уравнении Ван-дер-Ваальса.

Уравнения (9) и (10) позволяют рассчитать массу сольвата по очевидной формуле 12:

$$m_{co} = \rho_{co} \times V_{co} \quad (12)$$

Если рассматривать сольват как единую частицу, молярная масса вещества, состоящего из таких частиц, может быть оценена выражением 13:

$$M_{co} = 10^{-3} \frac{m_{co}}{m_a} \quad (13)$$

где m_a - атомная единица массы.

Таким образом, искомая частота колебаний V определяется системой уравнений (1) – (13).

Параметры, необходимые для расчётов на примере аммиака представлены в таблице 1.

Значения энергии связи в молекулах U_m , приведены в таблице 1 для двух солей – $NaCl$, как наиболее распространённой, и $HgBr$, как вещества с наименьшей энергией связи.

Таблица.1

Параметр	Обозначение	Разрядность	Значение
Критическая плотность адсорбата.	$\rho_{кр}$	кг/м ³	235
Коэффициент объёмного расширения.	β_{ca}	1/К	2 10 ⁻³
Критическая температура адсорбата.	T _{кр}	К	405,5
Температура кипения адсорбата.	T _{кп}	К	233,4
Коэффициент Ван-дер-Ваальса.	ϵ_{ca}	м ³ /моль	3,74 10 ⁻⁵
Молярная масса адсорбата.	M _{ca}	кг/моль	0,017
Электрическая постоянная.	ϵ_0	Ф/м	8,85 10 ⁻¹²
Заряд иона.	q_u	Кл	1,6 10 ⁻¹⁶
Дипольный момент.	P_e	Кл× м	4,88 10 ⁻³⁰
Энергия связи в молекуле.	U_{MHgBr}	Дж Дж	6,72 10 ⁻¹⁹ 1,12 10 ⁻¹⁹
Число Авогадро.	N _a	МОЛЬ ⁻¹	6,022 10 ²³
Постоянная Больцмана.	k	Дж/К	1,38 10 ⁻²³

Расчеты показали, что требуемая частота колебаний составляет примерно 10 кГц. Таким образом, эффект "холодной десорбции" представляется

реализуемым и может служить базой при создании приводных элементов типа технических мышц для машин и оборудования лесного комплекса.

Библиографический список

1. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, А.К. Лебедев. - М.: Оникс 21 век, 2008.- 1056 с.

Сведения об авторах

ФИО	Кизилев А.Б.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8407-7024
e-mail	andreykiz@yandex.ru

Аннотация

Препятствием для внедрения технических мышц в машины и оборудование лесного комплекса является их низкое быстродействие. Работа посвящена созданию так называемых "быстрых" технических мышц, основанных на основе эффекта "холодной десорбции".

Ключевые слова: техническая мышца, лесной комплекс, привод, адсорбция, десорбция.

УДК 621.865:669.018.2 **Разделы рубрикатора ГРНТИ** 55.30.29 Приводы роботов и манипуляторов

6. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ

Повышение характеристик топливной щепы в условиях лесосеки

Локштанов Б.М., Орлов В.В., Парфенопуло Г.К., Неслухов В.В.

Введение.

При лесозаготовках образуются лесосечных отходы, величина которых зависит от большого количества факторов: породный состав древостоя, бонитет, технология лесозаготовок и т.п. и оценивается величиной 20-25% от объема лесозаготовок (стволовой части дерева) [1]. Часть лесосечных отходов используют для укрепления волоков, для повышения проходимости лесозаготовительной техники – на это уходит до половины отходов, а оставшуюся часть ~ 10-12% лесозаготовители должны убрать с лесосеки в соответствии с Лесным кодексом РФ. Кроме того, при раскряжевке образуются деловые сортименты и низкокачественная древесина (НКД), величина которой составляет 20-25% от объема стволовой части дерева.

В период 2012-2014 годов объем лесозаготовок в России составлял 190-200 млн. пл.м.³, а годовое количество лесосечных отходов, возможное для использования, оценивали в пределах 20-22 млн.м³. По данным Рослесхоза в РФ используется только 2,0 млн.м.³ в год лесосечных отходов на производство топливной щепы для местных котельных установок, а остальной объем лесосечных отходов лесозаготовители уничтожали (сжигали) на месте, на лесосеке. НКД лесозаготовители вынуждены продавать как дрова местному населению, но в основной массе оставляли в лесу.

Производство из лесосечных отходов и НКД щепы мобильными рубительными машинами широко распространено в Европе, США, Канаде. В России еще в конце XX века были созданы, а в начале XXI века закуплены различные мобильные импортные установки, но их количество очень мало, чтобы обеспечить утилизацию огромного количества лесосечных отходов и НКД.

Нарубленная из лесосечных отходов и НКД щепка имеет определенные показатели по фракционному составу, породному составу, засоренности минеральными примесями, по влажности, по плотности, теплотворной способности и т.п.(табл.№1,2).

Таблица 1.

Качественные показатели топливной щепы, нарубленной из лесосечных отходов

Фракции щепы	До очистки лесосечных отходов и щепы, в %		После очистки лесосечных отходов и щепы, в %	
	древесных веществ	минеральных включений	древесных веществ	минеральных включений
Крупная щепка >100 мм	16	3 – 4	2	< 1

Средняя (нормальная) 10–100 мм	64	5 – 8	93	<2
Мелкая 1–10 мм	20	10 – 15	5	<2
Всего	100	8 – 9	100	<2

Нарубленная щепа имеет не регулируемый породный состав, содержит повышенное количество крупной и мелкой щепы, засорена корой, ветками, зеленью, минеральными включениями (табл.1), ее нельзя отнести к технологической щепе, к которой предъявляются повышенные требования (ГОСТ 15815-83), поэтому она может быть отнесена к топливной щепе. Но к щепе, как к топливу, энергетики тоже предъявляют требования: по фракционному составу и по влажности.

Большое количество крупной фракции в щепе, во-первых, затрудняет ее перемещение транспортерами, приводит к сводообразованию при хранении в бункерах, во-вторых крупная щепа дольше сгорает, что нарушает процесс автоматизации горения в топках. Большое количество мелкой фракции щепы (типа опилок) так же нарушает процесс горения, так как мелочь быстро высыхает и под действием тяги поднимается в верхние слои топки и там сгорает, нарушая процесс горения. Нормальной щепы (длиной 10-50мм) должно быть в пределах 75-80%[2]. Влажность щепы, нарубленной из лесосечных отходов, составляет 90-120% (абс.) или 45-60% (отн.), поэтому ее относят к высоковлажным видам топлива.

Влажность щепы должна быть как можно ниже, так как при этом повышается ее теплотворная способность [3] и повышается эффективность использования щепы как топлива. (табл.2).

Таблица 2

Теплотворная способность древесины при разной влажности

Абсолютная влажность %	Теплотворная способность некоторых пород древесины, ккал/кг			
	Ель	Сосна	Осина	Береза
120	2000	2000	2100	2400
100	2400	2600	2500	2800
80	2700	3000	2800	3300
60	3200	3500	3400	3800
40	3600	3900	3800	4300
30	3800	4200	4000	4500
10	4800	5000	4900	5200

Обеспечить требуемый фракционный состав топливной щепы мы можем сортированием щепы и измельчением ее крупной фракции (табл.1), (рис.1). Снижение влажности щепы, особенно в условиях лесосеки, представляет определенную проблему.

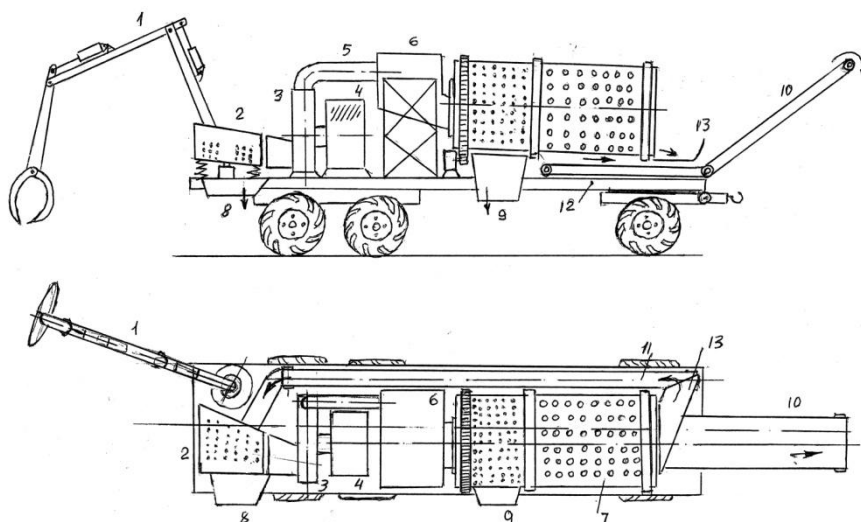


Рис. 1. Передвижная рубительная установка для производства щепы из лесосечных отходов и ее очистки от посторонних минеральных включений

1–манипулятор; 2–вибрастол; 3–рубительная машина; 4–двигатель рубительной машины; 5–щепопровод; 6–бункер для щепы; 7– барабанная сортировка; 8–лоток для удаления минеральных примесей; 9–лоток для удаления отсева; 10–транспортер для очищенной щепы; 11–транспортер для крупной щепы; 12–рама установки; 13–лоток для крупной щепы.

И еще один вопрос – что мы перевозим из лесосеки к котельной? Щепу как топливо? То зачем мы возем такое огромное количество влаги? Если мы снизим влажность щепы, например, со 120% (абс.) или 60% (отн.) до 30% (абс.) или 40% (отн.), то мы снизим массу

1 пл.м³ щепы (древесины) на 20% или с 800 кг до 640 кг, что позволит привлечь на перевозку щепы меньше автомобилей, снизит эксплуатационные расходы на перевозку щепы и т.д.

Известно несколько способов снижения влажности древесины[4]:

- термический способ (естественный или искусственный),
- механические способы обезвоживания, которые включают: пневматический, вибрационный, центробежный, электрокинетический, вибрационно–конвективный, конвективно–центробежный (ротационный), центробежно–высокочастотный и т.д.,

Нами выбран способ снижения влажности щепы центрифугированием, так как он наиболее простой и может быть осуществлен на лесосеке одновременно с рубкой лесосечных отходов на щепу, а приводом для вращения центрифуги может быть использован двигатель самой рубительной машины.

Известно [5], что влажность древесины до 30% (абс.) – это связанная влага, находящаяся в волокнах, и удаление этой влаги представляет большую сложность, а вот остальная влага – свободная и она находится в капиллярах, а ее удаление осуществляется легче.

Таким образом, если мы удалим из щепы, нарубленной из лесосечных отходов, почти всю свободную влагу, находящуюся в капиллярах древесины, то мы повысим теплотворную способность щепы до 4500 ккал, т.е. почти в 2 раза (табл.2).

Методика исследования.

Обезвоживание щепы мы рассматриваем как процесс отделения в поле центробежных сил жидкости, находящейся в древесине (в капиллярах) [8]. Центробежные силы возникают во вращающемся вертикальном барабане (центрифуге) с угловой скоростью ω_a , радиусом R_0 , высотой H . Щепа, засыпанная в барабан, образует определенный слой с внутренним радиусом R_0 и со средним радиусом R_c .

В слое щепы хаотично ориентирована в пространстве, а капилляры древесины находятся под некоторым углом к направлению действия центробежной силы. Для описания процесса удаления свободной влаги из капилляра используем уравнение динамики тела с переменной массой [6] (жидкости в капилляре) при движении вдоль оси X_k .

$$F = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}, \text{ Н} \quad (1)$$

где: F – сумма сил, действующих на отсек жидкости в капилляре; m – масса отсека жидкости в капилляре, $m = \rho_{ж} r^2 \pi \cdot (R-l)$; v – скорость движения жидкости в капилляре вдоль его оси $v = \frac{d(R-l)}{dt} = -\frac{dl}{dt}$; t – время удаления жидкости из капилляра; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, находящейся в капилляре; R – расстояние от оси вращения центрифуги до капилляра (до торца капилляра); l – расстояние от оси вращения капилляра (от оси вращения центрифуги) до ближайшего к оси центра мениска жидкости в капилляре; r – радиус капилляра.

Подставив значение m и v в формулу (1) получим:

$$F = \rho_{ж} r^2 \pi \cdot \left[\left(\frac{dl}{dt} \right)^2 - (R-l) \frac{d^2 l}{dt^2} \right], \quad (2)$$

Известно [1], что на движение столбика жидкости по капилляру при воздействии центробежных сил оказывают следующие силы:

Центробежная сила:

$$F_{ц} = \rho_{ж} r^2 \pi \cdot \omega^2 \frac{R^2 - l^2}{2} \cos^2 \alpha, \quad (3)$$

Сила поверхностного натяжения:

$$F_{н} = -2\sigma 2\pi \cdot r \cos \theta, \quad (4)$$

Сила сопротивления движению жидкости в капилляре:

$$F_{с} = -8\pi \cdot \mu \cdot (R-l) \frac{dl}{dt}, \quad (5)$$

где в формулах (3), (4), (5) обозначено:

ω – угловая скорость капилляра в центрифуге; α – угол наклона капилляра (ориентация щепы в слое); σ – напряжение поверхностного натяжения жидкости в капилляре; θ – угол краевого смачивания жидкости в капилляре; μ – динамический коэффициент вязкости.

Время t , в течение, которого из капилляра будит удаляться жидкость под действием центробежных сил:

$$t = \frac{16\mu}{\rho_{ж}r^2\omega^2 \cos^2 \alpha} \ln \left(\frac{\sqrt{R^2 - \frac{\rho_{ж}r^2\omega^2 \cos^2 \alpha}{16\mu}} + R}{2R - l_0} \right). \quad (6)$$

Рассмотрим процесс удаления жидкости из слоя щепы, ориентированных под произвольными углами к оси x .

Будем считать, что угол разброса частиц является нормально распределенной величиной в пределах от $-\frac{\pi}{2}$ до $+\frac{\pi}{2}$, тогда эффективное время обезвоживания слоя щепы можно найти из выражения:

$$t = \frac{\pi}{2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{16\mu}{\rho_{ж}r^2\omega^2 \cos^2 \alpha} \ln \left(\frac{\sqrt{R^2 - \frac{\rho_{ж}r^2\omega^2 \cos^2 \alpha}{16\mu}} + R}{2R - l_0} \right) d\alpha. \quad (7)$$

Количество жидкости, удаляемой из слоя щепы (древесины), содержащей систему капилляров, найдем по формуле (8) :

$$\overline{dQ} = \frac{\omega_{ФОН} R_{СН} \cdot \rho_{Щ} \rho_{ж} r^2 \omega^2 \cdot (2R - l_0)}{16\mu \cdot \rho_{Щ}} \cdot \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \alpha \cdot \exp \left(\frac{\rho_{ж} r^2 \omega^2 \cos^2 \alpha}{16\mu} \cdot t \right) d\alpha \quad (8)$$

где $\omega_{ФОН}$ - площадь фильтрации среды в продольном направлении, мм² (в относительных единицах $\omega_{ФОН}$ для березы 0,259, для сосны 0,495).

$\rho_{Щ}$ – насыпная плотность щепы в барабане центрифуги;

$\rho_{Щ}$ – плотность цельной древесины (щепы) при заданной (начальной) влажности.

Так же, как и для формулы (7) применяем численное интегрирование с теми же исходными данными. Расчет ведем по относительному времени T (отношение абсолютного времени к эффективному времени обезвоживания)

После обработки результатов расчетов по методу наименьших квадратов получим следующие зависимости для березы и сосны соответственно:

$$\overline{dQ} = 2,38R_C H \omega^{1,722} l_0 \cdot (0,0005l_{щ} + 0,00013) \cdot \exp(-5,947T); \quad (R^2=0,92) \quad (21)$$

$$\overline{dQ} = 1,281R_C H \omega^{1,722} l_0 \cdot (0,0005l_{\dot{U}} + 0,00013) \cdot \exp(-5,947T); (R^2= 0,93) \quad (22)$$

Результаты исследования.

Опыты по обезвоживанию щепы березы и сосны на центрифуге с факторами разделения $F=350G$, $690G$, $1050G$, показали, что обезвоживание происходит тем интенсивнее, чем выше первоначальная влажность щепы (рис.2). Кроме того, время обезвоживания березовой щепы происходит быстрее, чем у сосны, что связано с разной структурой этих пород.

Обезвоживание щепы с различными факторами разделения показало, что скорость удаления жидкости повышается с увеличением F (рис.3). Чем меньше свободной влаги в щепе, тем больше времени требуется для достижения влажности 35-40% (абс.) – удаления свободной влаги (рис.4).

Полученные зависимости и экспериментальные данные позволяют рассчитывать промышленные центрифуги непрерывного действия для обезвоживания щепы непосредственно на лесосеке [7], чтобы получать топливную щепу с повышенными показателями по калорийности и не возить лишнюю влагу (рис.5).

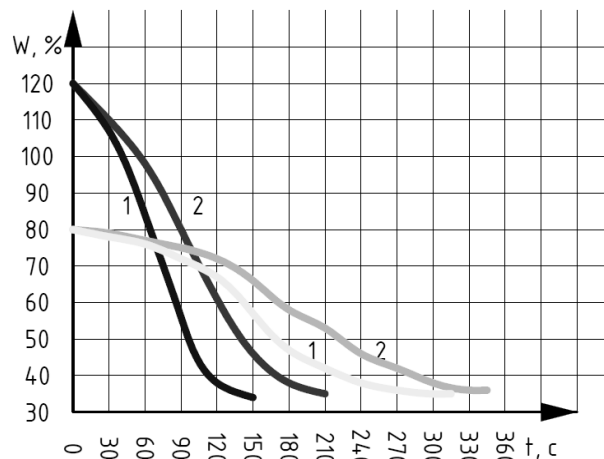


Рис.2 Интенсивность обезвоживания щепы в зависимости от ее первоначальной влажности 120%, 80% при факторе разделения $F=700G$. 1-береза; 2-сосна.

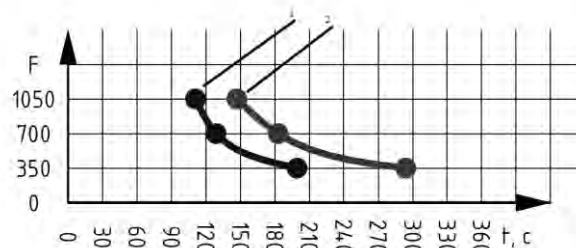


Рис.3 Диаграмма определения времени центрифугирования щепы с первоначальной влажности 120% до влажности 35-40% при различных факторах разделения 1-береза; 2-сосна.

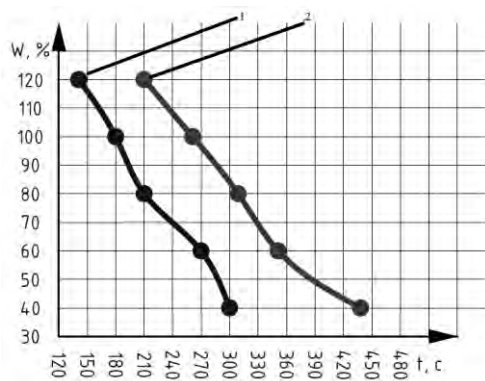


Рис. 4 Диаграмма определения времени центрифугирования щепы в зависимости от ее первоначальной влажности до влажности 35-40% при факторе разделения $F=700G$ 1-береза; 2-сосна.

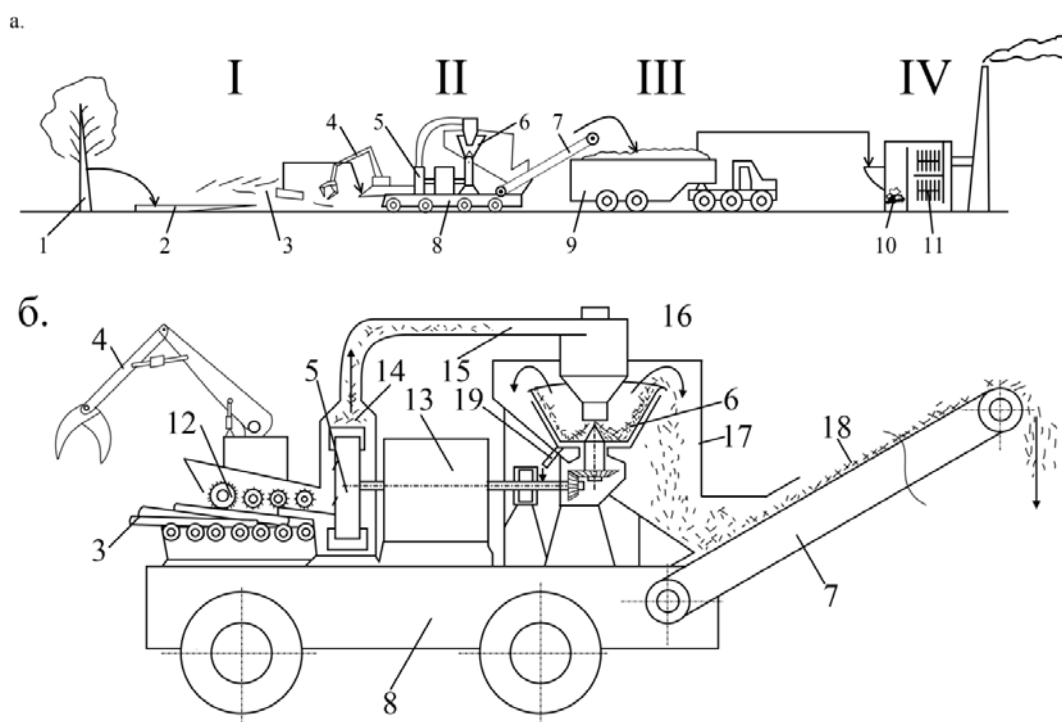


Рис. 5. Система производства топливной щепы из лесосечных отходов
 а – технологический процесс производства щепы; б – передвижная рубительная машина с центрифугой; I – участок лесозаготовки; II – участок по производству топливной щепы; III – участок перевозки щепы; IV – участок по производству тепловой энергии; 1 – деревья; 2 – хлыст; 3 – лесосечные отходы; 4 – манипулятор; 5 – передвижная рубительная машина с центрифугой; 6 – центрифуга; 7 – транспортер загрузки щепы в щеповоз; 8 – треллер; 9 – щеповоз; 10 – топка; 11 – котельная; 12 – загрузочный патрон; 13 – двигатель внутреннего сгорания; 14 – нарубленная щепа; 15 – щепопровод; 16 – циклон; 17 – наклонный кожух центрифуги; 18 – щепа готовая к погрузке; 19 – патрубок для слива жидкости, удаленной из щепы.

Выводы.

Таким образом, разработанные мобильные установки для сортирования топливной щепы и ее обезвоживания, позволяют получить щепу с повышенными энергетическими показателями: щепа очищена от минеральных включений (до 1-1,5%); крупная фракция щепы не превышает требования

энергетиков (1,5-2%); абсолютная влажность щепы находится в пределах 40%; теплотворная способность такой щепы составляет 4000-4300 ккал/кг.

Библиографический список

1. *Локштанов Б.М.* Технология производства топливной щепы из лесосечных отходов/ Б.М. Локштанов, В.В. Орлов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ. 2013. – С. 118-120

2. *Локштанов Б.М., Бачеригов И.В., Козаченко А.В., Суворова Н.А., Орлов В.В.* Способы очистки энергетической щепы от посторонних включений центрифугированием Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы Международной научно-технической конференции 2015. –Вологда.:Во ГУ, 2016., с. 110-112

3. *Локштанов Б.М., Бачеригов И.В., Орлов В.В., Соколова В.А.* Разработка мобильной установки для производства топливной щепы Труды института ландшафтной архитектуры, строительства и обработки древесины. СПб, СПбГЛТУ, 2016 г. – 60 с., с. 54-55.

4. *Орлов В.В., Бачеригов И.В.,* Снижение влажности щепы из лесосечных отходов ЛЕСА РОССИИ В XXI ВЕКЕ материалы девятой международной научно-технической интернет - конференции. 2012 Издательство: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова(Санкт-Петербург) С. 96-100

5. *Патякин В.И.* Проблема повышения плавучести круглых лесоматериалов. – М.: «Лесная промышленность», 1976 г. 264 с.

6. *Перелыгин Л.М., Уголев Б.Н.* «Древесиноведение». Издание третье, переработанное доц. Б.Н. Уголевым М.:ГОСЛЕЗБУМИЗДАТ 1963г.-282с. 7. *Фихтенгольц Г.М.* Основы математического анализа, том I. М.:Наука, 1968 г. 440 стр. с илл.

8. Патент на полезную модель № 129355 Российская Федерация. Система производства топливной щепы из лесосечных отходов / В.И. Патякин, Б.М. Локштанов, В.В. Орлов. Патентообладатель: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова: опубл.27.06.2013 Бюл.№18.

9. *Локштанов Б.М., Орлов В.В., Бачеригов И.В.* «Математическая модель процесса обезвоживания щепы центрифугированием» Известия Санкт-Петербургский лесотехнический академии. 2014. Вып. 209 С. 17-209

Сведения об авторах

ФИО Локштанов Б.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 4014–2820
e-mail blokshtanov@mail.ru

ФИО Орлов В.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 7858–2792
e-mail artictvetal1987@gmail.com

ФИО Парфенопуло Г.К.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 1848-9386
e-mail parfenon73@mail.ru

ФИО Неслухов В.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код нет
e-mail nesluhov9325@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматривается использование лесосечных отходов в качестве сырья для производства тепловой энергии. Предложен способ получения топливной щепы с повышенными свойствами, как топливо. Рассмотрены

свойства лесосечных отходов и свойства щепы, полученной из этого древесного материала. Установлено, что получаемая щепа содержит повышенное количество минеральных включений, а также имеет повышенное количество крупной и мелкой фракции и повышение содержание влаги. Эти показатели снижают ее полезные энергетические свойства.

Для удаления минеральных включений и улучшения фракционных характеристик щепы предложена мобильная установка, обеспечивающая снижение загрязнения щепы до 2% и обеспечения содержания требуемой фракции щепы до 93%. Для удаления свободной влаги из щепы и снижения ее абсолютной влажности до 30-40% предложена мобильная установка с центрифугированием влажной щепы. Характеристики установки разработаны на базе математической модели, учитывающей фактор разделения и физико-механические особенности щепы. Приведена математическая модель удаления свободной влаги из капилляров древесины (щепы) при центрифугировании. Приведены результаты центрифугирования щепы с различной влажностью с различными факторами разделения. Установлено, что для лиственных пород при центрифугировании скорость удаления влаги из капилляров выше в 1,5 раза, чем для хвойных пород древесины. Приведена схема мобильной установки для обезвоживания топливной щепы непосредственно на лесосеке. Удаления свободной влаги из капилляров древесины (щепы) позволяет уменьшить массу щепы на 20% и повысить ее теплотворную способность почти в 2 раза до 5000 ккал/кг.

Ключевые слова: щепа, влажность древесины, обезвоживание, центрифугирование, математическая модель.

УДК 630*681.3

Разделы рубрикатора ГРНТИ 68.47.43 Заготовка и переработка древесины в лесном хозяйстве

Исследование параметров древесины, определяющих качество древесного угля

**Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Локштанов Б.М., Соколова В.А.,
Тепноев А.В., Алексеева Е.А., Зотова Е.А.**

Введение. Для получения древесных углей используется, как правило, уголь-сырец из древесины. В настоящее время предъявляют дополнительные требования к свойствам древесного угля и, следовательно, к технологии его получения, направленной на улучшение качества за счёт повышения прочности и плотности конечного продукта [1, 2].

Цели и задачи. Одна из задач, поставленная перед древесноугольной промышленностью, в использование технологий модификации древесины, с целью переработки малоиспользуемого природного сырья в промышленный материал с коренным улучшением его естественных физико-технических, технологических и потребительских свойств [3].

Проанализировав результатов исследований, проведённых в области модифицирования древесины, можно отметить целесообразность дальнейших исследований в этом направлении и создание на их базе новых технологий и оборудования для уплотнения и пропитки древесины.

Следует выделить один из наиболее оптимально продуктивных способов получения окисленных древесных углей путём тепловой обработки в капсуле с заполнением десятипроцентным водным раствором пероксида водорода, помещённой в поле центробежных сил.

Пропитка центробежным способом основывается на взаимодействии находящихся в поле центробежных сил пропитывающей жидкости и капиллярно-пористой структуры, например, древесины или древесного угля. При использовании центробежного способа значительно сокращается продолжительность пропитки, необходимой для интенсивного процесса окисления угля [4-7].

Параметром, определяющим процесс пропитки, принято считать линейную скорость торца материала, или параметр пропитки h :

$$h = \omega^2 \cdot R^2, \quad (1)$$

где ω – частота вращения; R – радиус дальнего торца материала [8].

В работе П. Хейцмана [9] представлена зависимость радиуса капилляра древесины r , по которому происходит движение жидкости в центробежном поле, от параметра пропитки:

$$r = \frac{8\sigma}{\rho\omega^2(R^2 - Rg^2)}, \quad (2)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения; ρ – плотность жидкости; Rg – радиус мениска в капилляре [10].

Высока эффективность для пропитки древесины центробежным способом (замещение пропитывающим составом свободных воздуха или влаги, находящихся в древесине) [4].

Методика исследования. Под теоретической моделью капиллярно-пористой структуры понимают воображаемое тело, состоящее из системы гипотетических капилляров, эквивалентное в отношении тех или иных свойств (гидродинамических, капиллярных и других) исследуемому пористому телу.

Простейшая капиллярная модель представляет собой систему параллельных прямых трубок одинакового радиуса и одинаковой длины, равной длине рассматриваемого тела, в направлении потока движущейся сквозь него жидкости.

Ряд авторов [11-14] предложили рассматривать древесину как систему капилляров, радиусы которых образуют непрерывную статистическую совокупность, характеризующуюся функцией распределения $f(r)$. В этом случае $f(r)$ – доля общего числа капилляров тела, радиусы которых заключены между r и $kr+dr$. При этом полная проницаемость определяется зависимостью:

$$k = \frac{n\pi}{8\sum_u^2} \cdot \int_0^\infty r^4 \cdot f(r) \cdot dr, \quad (3)$$

где n – число пор на единицу площади поперечного сечения; r – радиус капилляра; $8\sum_u^2$ – коэффициент извилистости, равный отношению $\frac{l}{l_0}$, (l – длина пути движения жидкости; l_0 – длина образца).

Описанная модель анизотропна, так как проницаема в одном направлении.

При допущении существования трёх систем капилляров, оси которых взаимно перпендикулярны, модель становится изотропной и численный коэффициент в формуле (3) принимает вид $1/24$.

Следующим этапом совершенствования капиллярной модели является предположение о переменном сечении капилляра по длине. Для этого случая получают значение проницаемости в виде

$$k = \frac{n^2 \pi^2}{8m \int_0^{\infty} f(r) \cdot \frac{dr}{r^6}}, \quad (4)$$

где m – коэффициент пористости, равный $n\pi^2$.

При математическом описании структуры древесины удовлетворительные результаты [12, 14] показывает модель, состоящая из системы продольных и поперечных капилляров различных радиусов, распределённых в соответствии с функцией $F(r)$ и различных длин. В данной работе использована именно такая модель строения древесины.

Пористость древесных углей не находится в прямой зависимости от их прочности. Более пористый древесный уголь может быть более прочным, чем менее пористый, если стенки клеток прочны. Прочность же стенок клеток угля сильно возрастает с повышением температуры прокаливания угля при увеличении его пористости. Отношение между порами и плотной массой древесных углей зависит от толщины стенок клеток, благодаря чему это отношение бывает различно не только для разных пород, но даже для одной и той же породы.

Общая пористость не является постоянной величиной и кроме качества и породы древесины, а также способа получения угля, зависит также от гранулометрического состава угля. Так, при измельчении угля от размеров куска 2х2х4 см до размеров зёрен 0,3 см общая пористость его уменьшается на 7...10%, что происходит за счёт исчезновения крупных пор и трещин при измельчении угля. Это положение является важным для данных исследований, так как связано с анализом сорбционной способности кускового активированного угля и возможностью его регенерации, практически неосуществимой при использовании порошкообразных сорбентов.

Для получения сорбентов на базе окисленных углей необходимо ввести жидкий окислитель (исследуемый нами вариант) в поровое пространство угля-сырца методом пропитки.

Принимая допущение о сходном анатомическом строении исходной древесины и древесных углей, можно утверждать, что изучение пропитываемости капиллярно-пористой структуры связано с исследованием её проницаемости, которую обычно определяют, основываясь на эмпирическом законе Дарси [15, 16]. Движение несжимаемой жидкости при этом выражается уравнением [15-19]:

$$U = \frac{k}{\mu} \cdot A \cdot \frac{P_1 - P_2}{L}, \quad (5)$$

где U – скорость движения жидкости; k – коэффициент проницаемости; A – площадь сечения образца; L – длина образца; P_1-P_2 – градиент давления на концах образца; μ – вязкость жидкости.

При изучении проницаемости капиллярно-пористой структуры на примере древесины могут использоваться и другие зависимости, а именно: уравнение гидродинамики Эйлера, учитываться существование сложного типа связи между показателями пропитываемости и параметрами режима, нелинейные уравнения движения жидкостей в условиях нестационарного потока и другие [20-21].

Так как пропитываемый элемент является цилиндром, ось которого в центробежной установке совпадает с полярным радиусом вращающейся вокруг своего полюса системы координат, и задача сводится к дифференциальному уравнению, если не учитывать сжимаемость жидкости и древесного угля [22-24].

Наличие точных решений позволяет проверить сходимость и порядок точности методов решения, которые служат средством изучения процесса пропитки в условиях больших скоростей вращения и больших радиусов платформы центрифуги [25-27].

Задаёмся тем, что стержень и жидкость несжимаемы, продольная фильтрация в стержне подчиняется закону Дарси:

$$v(x,t) = -K \frac{dH}{dx}, \quad H(x,t) = u(x,t) - \frac{1}{2} \rho \omega^2 (a-x)(2s-a-x) \quad (6)$$

где K – коэффициент продольной фильтрации; $H(x,t)$ – гидравлический напор; x – продольная координата, начало которой $x=0$ совпадает с точкой А; $u(x,t)$ – поровое давление в образце; ρ – плотность жидкости; s – расстояние от точки А до оси L; v – скорость фильтрующейся поровой жидкости в направлении x .

Подчиняясь закону Дарси, вычислив скорость движения границы пропитки, из условия $a(0)=0$ или из более общего условия $a(0)=a^*$, где a^* – глубина пропитки в момент $t=0$, возникшая, например, за время разгона центрифуги до скорости ω , мы можем найти глубину пропитки $a(t)$, время t_1 , необходимое для пропитки на глубину a_1 , и другие физические характеристики всего процесса.

При решении уравнений формула выражения скорости пропитки примет вид

$$\frac{da}{dt} = \frac{k}{a} \left[\frac{1}{2} \rho \omega^2 (h-a)(2s-h-a) - P_a \right] \quad (7)$$

Отсюда следует, что скорость максимальна при $a=0$, в начале процесса и при $P_a=0$ обращается в нуль, если $h=a$. Таким образом, неэффективна пропитка сортиментов, длина которых близка к радиусу платформы центрифуги.

Пусть $P_a=0$. Тогда имеем при $h=s$

$$t = \frac{2}{k\rho\omega^2} \int \frac{ada}{(s-a)^2} = \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\ln(s-a) + \frac{s}{s-a} \right] + c \quad (8)$$

При $h<s$:

$$t = \frac{2}{k\rho\omega^2} \int \frac{ada}{(h-a)(2s-h-a)} = \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\frac{2s-h}{2(s-h)} \ln(2s-h-a) - \frac{h}{2(s-h)} \ln(h-a) \right] + c \quad (9)$$

Из условия $a=0$ при $t=0$ следует, что

$$c = -2(k\rho\omega^2)^{-1} (\ln s + 1), \quad h = s$$

$$c = \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\frac{h}{2(s-h)} \ln h - \frac{2s-h}{2(s-h)} \ln(2s-h) \right], \quad h < s \quad (10)$$

Таким образом, окончательно

$$t = 2(k\rho\omega^2)^{-1} \left[\ln(s-a)s^{-1} + a(s-a)^{-1} \right], \quad h = s$$

$$t = \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\frac{2s-h}{2(s-h)} \ln \frac{2s-h-a}{2s-h} - \frac{h}{2(s-h)} \ln \frac{h-a}{h} \right], \quad h < s \quad (1.11)$$

Более громоздкие выкладки позволяют вычислить интеграл из уравнения (11) и при $P_a \neq 0$. В этом случае

$$t = \frac{1}{k\rho\omega^2} \ln \left[\frac{\rho\omega^2(s-a)^2 - 2P_a}{\rho\omega^2 s^2 - 2P_a} \right] - \frac{s}{k\omega\sqrt{2\rho P_a}} \ln \left[\frac{\rho\omega^2 s^2 - 2P_a - \sqrt{\rho\omega a}(\sqrt{\rho\omega s} + \sqrt{2P_a})}{\rho\omega^2 s^2 - 2P_a - \sqrt{\rho\omega s} - \sqrt{2P_a}} \right], \quad h = s \quad (12)$$

Обратную зависимость $a=a(t)$ можно построить в виде номограмм, построив кривые $t=t(a)$.

Результаты и обсуждение исследований. Проанализируем методику определения коэффициента фильтрации [28]. Коэффициент фильтрации k , входящий в расчётные формулы, представленные выше, можно найти экспериментально. Для этого в формулу

$$k = \frac{2}{\rho\omega^2 t} \left[\ln \frac{s-a}{s} + \frac{a}{s-a} \right], \quad h = s \quad (13)$$

Следующую из (12) или в аналогичную громоздкую формулу, следующую из (11), нужно подставить величины ρ, ω, t, s, a . Однако определение величины a опытным путём требует извлечения образца древесного угля из центробежной установки, раскалывания образца с целью визуального определения глубины проникновения пропитывающей жидкости. При этом граница проникновения жидкости в образец может быть размыта или трудно определена по причине прозрачности жидкости, что имеет место при пропитке древесного угля не подкрашенным раствором пероксида в воде.

Для практики можно предложить методику, основанную на замерах расходов пропитывающей жидкости. Выпишем расчётные формулы, ориентированные на этот метод и на сравнительно простое соотношение (14). Полагая, что время эксперимента должно быть невелико и, следовательно, a мало по отношению к s , получим в первом приближении

$$\ln \frac{s-a}{s} \approx -\frac{a}{s} \quad (14)$$

При одинаковой пористости образца по x объем θ поглощённой жидкости, т.е. расход, пропорционален глубине пропитки a :

$$\theta = a\gamma, a = \frac{\theta}{\gamma} \quad (15)$$

$$k \approx \frac{2a^2}{\rho\omega^2ts(s-a)}, h = s; k \approx \frac{a^2}{\rho\omega^2th(2s-h)}, h < s$$

где γ – постоянная.

Пусть θ_1 – расход жидкости, a_1 – глубина в момент t_1 , θ_2 и a_2 – расход и глубина в момент t_2 .

Величина k также не зависит от x . Подставив в (14) выражение (15) и приравнявая величины k для a_1 и a_2 , получим

$$\frac{2}{t_1} \left[-\frac{\theta_1}{\gamma s} + \frac{\theta}{\gamma s - \theta_1} \right] = \frac{2}{t_2} \left[-\frac{\theta_2}{\gamma s} + \frac{\theta_2}{\gamma s - \theta_2} \right] \quad (16)$$

Отсюда, величина γ определяется формулой

$$\gamma = \frac{\theta_1\theta_2(\theta_1t_2 - \theta_2t_1)}{s(\theta_1^2t_2 - \theta_2^2t_1)} \quad (17)$$

и может быть вычислена по двум замерам расходов в моменты t_1 и t_2 .

Вычислив теперь $a_1 = \frac{\theta_1}{\gamma}$ и, подставив в (14), получим

$$k = \frac{2}{\rho\omega^2t_1} \left[\ln \frac{s-a_1}{s} + \frac{a_1}{s-a_1} \right], k \approx \frac{2a_1^2}{\rho\omega^2t_1s(s-a_1)}, h = s \quad (18)$$

Величина k для проверки взятых гипотез может быть найдена и по нескольким замерам расходов.

Аналогично, используя формулу (13), можно найти экспериментальным путём две величины k и P_a . Расчётные формулы выписываются по той же схеме.

Заключение и выводы. Полученное решение задачи может быть расширено и обобщено в разных направлениях. Сама задача может быть сформулирована в соответствии с другими технологическими и конструктивными решениями [22-24, 29-30]. При этом допустимы иные, более сложные, законы взаимодействия твёрдой и жидкой фаз, неоднородности в физических свойствах. Задачи можно рассматривать для трёхфазной среды, учитывая наличие в материале пузырьков воздуха, сжимаемость всех фаз и влияние температурного фактора. Исследование решений таких задач для нелинейных систем параболического типа дифференциальных уравнений в частных производных на основе применения конечно-разностных методов является темой дальнейшего исследования процессов пропитки древесного угля в поле центробежных сил.

Библиографический список

1. Юрьев Ю.Л. Древесный уголь. Справочник /автор и составитель Ю.Л. Юрьев. Екатеринбург: Издательство «Сократ», 2007. – 184 с.
2. Бирман А.Р., Белоногова Н.А. Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Международной научно-технической конференции // Новые направления использования древесины осины и её отходов. – Вологда: ВоГТУ, 2009, – 217 с.
3. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Борирование древесины пропиткой с целью повышения её нейтронозащитных свойств. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 208. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – С. 130-138.
4. Кацадзе В.А., Виноградов Д.В. Центробежная пропитка древесины. Архангельск: Лесной журнал, №3, 2007. – С. 17-21.
5. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С., Костин И.В. Результаты экспериментальных исследований центробежной пропитки древесины // Системы. Методы. Технологии, 2012. № 3. С. 95-101.
6. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьев Г.В., Есин Г.Ю. Исследование кинетики центробежной пропитки древесины // ИВУЗ Лесной журнал, № 2, 2013. С. 60-70.
7. Гончаров Ю.А., Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Куницкая О.А. Модель процесса пропитки древесины центрифугированием с учётом вязкости пропиточной жидкости. Научное обозрение, № 6, 2014. С. 329 – 336.

8. Кулимин В.В. Исследование процесса обезвоживания пиломатериалов в центробежном поле [Текст] / В.В. Кулимин // Науч. тр. МЛТИ. – 1980. – Вып. 124. – 125 с.
9. Heizemann, P. Holz als Roch – und Werkstoff [Текст] / P.Heizemann. – 1970. №8. – P. 295-309.
10. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С Торцовая пропитка длинномерных сортиментов. // Научное обозрение. № 7/2014. – М.-Саратов: ООО «Буква», 2014. – С. 281-286.
11. Николаевский В.М. Капиллярная модель диффузии в пористых средах. // Известия АН СССР, №4 – М., 1979. – с. 210.
12. Серговский П.С. Гидротермическая обработка древесины. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 304 с.
13. Харук Е.В. Проницаемость древесины газами и жидкостями. – Новосибирск: Наука, 1976. – 190 с.
14. Пятякин В.И., Тишин Ю.Г., Базаров С.М. Техническая гидродинамика древесины. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 304 с.
15. Bramhall G. The Validity of Darcy Law in the Axial Penetration of Wood. – Wood Sci. and Tehnol., 1971, V 5, №2, P. 121-134.
16. Baily P.J., Preston R.D. Some Aspects of Softwood Permeability. II Flow of Polar and Non Polar liquids Sapwood and Heartwood of Douglas Fir. // Holzforschung. 1970. В 24, Н 2, P. 34-45.
17. Харук Е.В. Проницаемость древесины газами и жидкостями. – Новосибирск: Наука, 1976. – 190 с.
18. Бирман А.Р. Критический анализ использования способов пропитки с целью повышения качественных характеристик древесного сырья / Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Кривоногова А.С., Тоан Нгуен Ван // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2016. – С. 58-60.
19. Расев А.И. Некоторые задачи в области исследования процессов пропитки древесины. В кн. Химическая модификация древесины. – Рига: Знание, 1975. – С. 161-180.
20. Гусев Н.Ф. Движение жидкости в древесине. – В кн.: Труды МЛТИ. Т.1. Вып. 1. – М., 1950. – 48 с.
21. Бирман А.Р. Технологическое устройство для пропитки капиллярно-пористых тел / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Т.Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2017. – С. 99-101.
22. Куницкая О.А., Ржавцев А.А., Григорьев И.В., Соколова В.А. Устройство для пропитки деревянных заготовок. Патент на полезную модель № 91927, опубл. 10.3.2010.
23. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С., Тихонов И.И., Григорьев И.В. Устройство для пропитки древесины. Патент на полезную модель № 119283, опубл. 20.8.2012.

24. *Литвинов, В.В, Ширишков, В.И., Пиялкин, В.Н.* Химия и технология брикетирования древесного угля // ИВУЗ. Лесной журнал: №6 2012. – Архангельск, 2012. – С. 101-108.
25. *Бирман А.Р.* Торцовая пропитка длинномерных сортиментов / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2014 № 7 – М.: «Буква», 2014. – С. 281-285.
26. *Кривоногова А.С.* Актуальность разработки модели установки для пропитки капиллярно-пористых тел / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Нгуен Ван Тоан // Инновационные процессы в научной среде: сборник статей МНПК. 2016, Ч. 3 – Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016. – С. 54-56.
27. *Бирман А.Р.* Пропитка древесины гидростатическим способом / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сборник науч. труд. по материал. заоч. НПК, 2014 г. №5 ч. 4 (10-4). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – С. 33-38.
28. *Бирман А.Р.* Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А. // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – С. 238-243.
29. *Кривоногова А.С.* Моделирование процесса пропитки капиллярно-пористых структур в производстве древесно-угольных сорбентов / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан, Белоногова Н.А. // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – С. 204-205.
30. *Кривоногова А.С.* Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник трудов по материалам международной заочной НПК, 2015. - № 2, ч.1 (13-1). Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2015. – С. 236-240.

Сведения об авторах

ФИО	Бирман А.Р.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	Birman1947@mail.ru
ФИО	Белоногова Н.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8883-9771
e-mail	graph@spbftu.ru
ФИО	Локштанов Б.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4014-2820
e-mail	blokshtanov@mail.ru
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Тепшоев А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4451-4059
e-mail	avt01@inbox.ru
ФИО	Алексеева Е.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3535-5149
e-mail	olgakameneva@mail.ru
ФИО	Зотова Е.А.

Организация	Санкт-Петербургский	государственный
	лесотехнический университет имени С.М. Кирова	
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия	
SPIN-код	3605-7529	

Аннотация

Представлен анализ способов пропитки древесного угля. Построена математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур в поле центробежных сил. Исследована взаимосвязь проницаемости и пропитываемости капиллярно-пористых структур. Выявлены зависимости проницаемости капиллярно-пористых структур. Разработана методика определения коэффициента фильтрации. Проводится исследование поведения объекта процесса пропитки на основе его математической модели. Предложена методика расчёта экспериментального определения расхода пропитывающей жидкости и вычисление величины и зависимости коэффициента фильтрации.

Ключевые слова: древесный уголь, капиллярно-пористая структура, пропитка в поле центробежных сил, математическая модель пропитки, коэффициент фильтрации, charcoal or, capillary-porous structure, impregnation of the centrifugal force, the mathematical model of imbibition, filtration coefficient.

УДК 630*867.5:630*867.21: 544.022.537:66.011

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.03

К вопросу о напольных покрытиях из древесины

**Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Локштанов Б.М., Соколова В.А.,
Черных Л.Г., Валиева К.Л., Кривоногова А.С.**

Введение.

Не секрет, что пол является основой уюта и комфорта в вашем доме. Именно с этой частью помещения мы чаще всего физически соприкасаемся. Ни одна часть вашей квартиры не нуждается в таком тщательном уходе. Вот почему выбирая половое покрытие нужно внимательно изучить все возможные варианты и выбрать то, которое подойдет конкретно для Вашего дома.

Цели и задачи.

Полы из древесины, при здоровой сопоставительной оценке потребителем его эстетических желаний и финансовых возможностей, во многом определяют качество, комфортабельность и уют жилого помещения. И надо иметь представление обо всех видах предлагаемых напольных деревянных покрытий.

Результаты и обсуждение исследований.

Половая доска — профильная деталь из массивной древесины (рис.1). Регламентируется ГОСТ 8242-88 «Детали профильные из древесины и древесных материалов для строительства». Представляет собой фрезерованную доску, выполненную из древесины хвойных пород[1].



Рисунок 1. Изображение половой доски

Для фиксирования между собой, доски имеют паз на одной кромке и гребень на другой. На внутренней стороне доски расположена выемка (или ряд выемок), которая предотвращает коробление покрытия. Толщина доски 30-50 мм, ширина 100-145 мм, длина до 6000 мм. Доски укладываются по лагам. Поставляются без заводского покрытия. Цена 480-600р/м².

Массивная доска (МД) – деталь из массивной древесины с соединением шип-паз по периметру (рис.2). В отличие от половой доски это не несущий, а отделочный материал из древесины ценных пород. Для укладки массивной доски необходимо сплошное основание, несущее все силовые нагрузки. Традиционная укладка – палубный настил[2].

Размеры массивной доски: толщина 15-22 мм, ширина 90-200 мм, длина 700-6000 мм. Для снятия внутренних напряжений на обратной стороне массивной доски делаются продольные пропилы. Массивная доска поставляется с заводским финишным покрытием (лак, масло, масло-воск) или с декоративной отделкой (тонирование, браширование, пескоструйная обработка, состаривание). Цена, в зависимости от породы древесины, от 3300 (дуб) до 11500 (тик) руб/м².

Крепление массивных досок с размерами, превышающими толщину 16, ширину 120 и длину 1200 мм к основанию осуществляется не только шурупами, но и клеем. Для массивной доски длиной более 1500 мм можно рекомендовать профилированное замковое крепление вместо соединения шип-паз[3].



Рисунок 2. Изображение массивной доски

Штучный паркет (ШП) - профильная деталь из массивной древесины (рис.3). Регламентируется ГОСТ 862.1-85 «Паркет штучный. Технические условия». Представляет собой планки, которые, в зависимости от профиля кромок, подразделяют на следующие типы: П1 – планки с гребнями и пазами на противоположных кромках и торцах; П2 – планки с гребнем на одной кромке и пазами на другой кромке и торцах[4].

Планки изготавливают из древесины твердых лиственных пород, а также березы, сосны, лиственницы и модифицированной древесины с показателями свойств, не уступающими древесине перечисленных пород.



Рисунок 3. Изображение штучного паркета

Толщина планок 15-18, ширина 30-90, длина 150-500 мм. Основа по штучный паркет делается деревянная, чаще фанерная. Планки паркета приклеиваются к основе клеем, и, одновременно, крепятся к ней же гвоздями. Заводская отделка планок не предусмотрена. Основные типы укладки: «елка», квадратами (вьетнамка), палубный настил. Цена 500-1700 руб/м².

Паркетная доска (ПД) - профильная клееная деталь из массивной древесины (рис.4). Регламентируется ГОСТ 862.3-86 «Паркетные доски. Технические условия». Представляет собой основание, на которое наклеены паркетные планки. На ее кромках и торцах фрезеруют пазы и гребни для соединения досок между собой. ПД подразделяются, в зависимости от конструкции основания, на следующие типы: П1- с однослойным основанием из реек, набранных в квадраты или прямоугольники; по продольным кромкам основание оклеено рейками; П2- с однослойным основанием из реек, собранных в направлении продольной оси паркетной доски; П3- с двухслойным основанием из двух склеенных между собой слоев реек и шпона, уложенных во взаимно перпендикулярном направлении.

Планки лицевого покрытия ПД изготавливают из древесины, которая используется для штучного паркета. Рейки основания готовят из хвойной древесины, а также из древесины березы, ольхи и тополя.

Современная ПД представляет собой только трехслойную структуру.

Верхний слой ПД изготавливается из продольно уложенных планок древесины ценных пород толщиной от 0,5 до 6 мм. Для придания эстетических свойств верхний слой ПД подвергают декоративным видам обработки. Финишным покрытием является несколько слоев лака, либо масляно-восковая обработка поверхности.

Средний слой ПД толщиной 8-9 мм изготавливается из хвойных планок, уложенных перпендикулярно к планкам верхнего слоя. В среднем слое нарезается шпунтовое или замковое соединение паркетной доски.

Нижний слой ПД толщиной 1,5 мм изготавливают из хвойных планок, ориентируя их перпендикулярно по отношению к планкам среднего слоя. Размеры современной ПД: длина - 1100 - 2500, в ширина - 120 – 200, толщина – 10 - 22 мм.

ПД укладывают либо «плавающим» методом, либо приклеивают к фанерному основанию.

Сегодня, в отличие от ГОСТ862.3-86, распространен критерий разделения ПД на виды по количеству рядов планок, формирующих верхний (лицевой) слой. В связи с этим ПД бывает: 1-полосной, 2-полосной и 3-полосной. Стоимость ПД, в зависимости от стоимости древесины планок лицевого покрытия, колеблется от 1440 до 7700 руб/м².



Рисунок 4. Трехполосная паркетная доска. Порода верхнего слоя — орех европейский.

Паркетные щиты (ПЩ) регламентируется ГОСТ 862.4-87 «Паркетные щиты. Технические условия». Это щитовая конструкция из основания, на которое наклеивают покрытие из планок или квадратов шпона.

ПЩ в зависимости от конструкции основания подразделяют на следующие типы: П1- с рамочным основанием, выполненным в виде обвязки с соединением в углах на шипах и на клею, и реек заполнения, закрепляемых в пазах обвязки на прямой несквозной шип; П2 - с реечным основанием, облицованным с двух сторон лущеным шпоном; П3 - с основанием из древесностружечной плиты, облицованной с двух сторон лущеным шпоном; П4 - с основанием из двух слоев реек, склеенных во взаимно перпендикулярном направлении. На кромках ПЩ имеются пазы для их соединения между собой на шпонках.

В зависимости от вида лицевого покрытия ПЩ бывают типов: П- покрытие планками из древесины тех же пород, из которых изготавливают штучный паркет; Ш- покрытие квадратами строганного или лущеного шпона; Ф- покрытие квадратами фанерной облицовочной плиты.

Отдельные квадраты лицевого покрытия принято называть квадратами, которые при сборке формируют рисунок «в шашку» (другое название «вьетнамка»), что обеспечивается взаимно перпендикулярным расположением продольных волокон древесины планок соседних квадратов.

Рейки и бруски основания ПЩ изготавливают из древесины сосны, ели, лиственницы, пихты, кедра, березы и осины. В настоящее время в качестве основания часто используют влагостойкую фанеру и столярные плиты.

ПЩ делают толщиной 22, 25, 28, 32, 40 мм. Размеры щитов в плане — 400×400; 500×500; 600×600; 800×800 мм. Планки лицевого покрытия имеют толщину 4-8, ширину 20-50, длину 100-400 мм. Толщина лицевого покрытия из шпона составляет 3-4 мм. Производятся не только целые, но и доборные щиты половинчатого размера. Лицевую сторону щитов покрывают паркетным лаком. Укладка ПЩ осуществляется на лаги с креплением гвоздями. Цена ПЩ с лицевым покрытием из березовых планок 280-400 руб/м².



Рисунок 5. Изображение паркетного щита

Сегодня ПЩ, как массовый продукт, почти вытеснен с рынка паркетными досками и ламинатом.

Мозаичный паркет (МП) – элемент покрытия пола квадратной формы, представляющий собой ковер, образованный наклеиванием на бумагу или другой эластичный материал паркетных планок, набранных элементарными квадратами «в шашку» (рис.6).

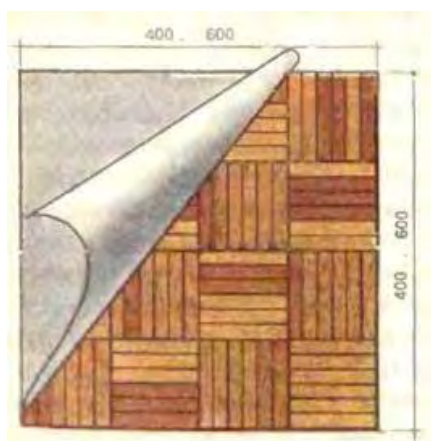


Рисунок 6. Изображение мозаичного паркета

Регламентируется ГОСТ 862.2-85 «Паркет мозаичный. Технические условия». Выпускается с размерами в плане 400×400, 480×480, 600×600 и 650×650 мм. Размеры планок из древесины тех же пород, из которых изготавливают штучный паркет: толщина 8-12, ширина 20 – 30, длина 100 – 200 мм. В зависимости от способа фиксации паркетных планок для образования ковра, МП делится на типы: П₁ - планки наклеивают лицевой стороной на бумагу, которая снимается (обычно шлифованием) вместе с клеевым слоем после укладки паркета на основание; П₂ - планки наклеивают обратной стороной на эластичный теплозвукоизоляционный биостойкий материал или скрепляют термопластичной сеткой. Соединительный материал остается в конструкции пола после настилки МП.

В настоящее время МП производится в основном в виде прямоугольных ковров площадью около 2 м^2 с рисунком «в шашку» из планок древесины твердолиственных пород по цене 950-1000 руб/ м^2 . При более сложных рисунках, сформированных из планок различных форм и размеров, цена МП значительно возрастает.

Модульный паркет – это покрытие, состоящее из отдельных щитов, которые на виде сверху имеют определённый рисунок одинаковый для всех щитов в одном помещении (рис.7). В отличие от ЩП и МП рисунок модульного паркета не предусматривает каких-либо стандартов или ограничений [5]. Верхний слой или весь модуль изготавливается из ценных пород древесины. *Модулем* называется отдельный паркетный щит. Размеры щита в плане не регламентированы. В большинстве случаев это квадрат со стороной от 400 до 600 мм, но нередко встречаются и другие размеры, а также другие формы (ромбы, шестиугольники и т.п.).

Конструкционно - модульный паркет бывает двух типов: массивный и инженерный. Щит инженерного модульного паркета состоит из фанерного основания и приклеенных к нему сверху планок лицевого покрытия. Толщина лицевого слоя в инженерном паркете составляет 3-4 мм, толщина фанерного основания – 10-12 мм. Щит массивного модульного паркета состоит только из паркетных планок, склеенных между собой боковыми и торцевыми гранями, без основания. Толщина паркетных планок, а значит, и всего щита составляет 15, 16 или 20 мм (для российского рынка).

Модули укладывают при помощи соединения шип-паз или при помощи шпонки. По периметру щита или каждой планки может нарезаться фаска. Фаска маскирует щели, возникающие при колебаниях температуры и влажности[6].

Модульный паркет может подвергаться всем видам декоративных обработок. Современный модульный паркет ближе к художественному паркету, чем к советскому ЩП и МП. Однако развитие технологий позволило сделать его более доступным для широкого рынка.

Массивный модульный паркет укладывается на фанерное основание с применением клея и паркетных шурупов. Инженерный модульный паркет иногда укладывают непосредственно на цементную стяжку.

Цена модульного паркета в зависимости от породы используемой древесины колеблется от 3000 до 8000 руб/ м^2 .



Рисунок 7. Изображение модульного паркета

Заключение и выводы.

В данной работе авторы попытались доказать, на основе анализа многообразия напольных покрытий, что полы из древесины являются не только источником комфорта и эстетически привлекательны, но и высококачественны, с точки зрения потребителя.

Библиографический список

- 1.Тарасевич. Е.И. Управление эксплуатацией недвижимости. - СПб.: МКС, 2006. - 80 п.л.
- 2.Все о ЖКХ. Нормы и правила эксплуатации жилых зданий; обязанности и права обслуживающих организаций; права и обязанности потребителей услуг ЖКХ/Автор-составитель А.П.Николаев. - «Мартин», 2008. - 192с.
3. Жилищный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 188 - ФЗ.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 мая 2013 г. N 416 "О порядке осуществления деятельности по управлению многоквартирными домами".
5. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения / Журнал Научное обозрение. Выпуск №17. Москва. 2015 г., с. 90 – 94
6. Соколова В.А., Грязькин А.В. Влияние макроструктуры древесины на расход защитных покрытий. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика», 2017 г. №2 (28) т.5. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2017. – 152 с., с. 94-101.

Сведения об авторах

ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Белоногова Наталья Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8883-9771
e-mail	birman1947@mail.ru

ФИО Локштанов Борис Моисеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 4014-2820
e-mail blokshtanov@mail.ru

ФИО Соколова Виктория Александровна
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 5116-5102
e-mail sokolova_vika@inbox.ru

ФИО Черных Лариса Георгиевна
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 8206-4520
e-mail 2904180@mail.ru

ФИО Валиева Карина Леонидовна
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 6654-3083

ФИО Кривоногова А.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 8399-6121
e-mail krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com

Аннотация

Для того чтобы жильё современного человека было уютным и практичным, очень важно обустроить дом или квартиру с комфортом. Немаловажную роль в обеспечении уюта играют напольные покрытия. Выбор их сейчас огромен! Все половые покрытия отличаются между собой структурой, качеством, ценами, долговечностью и функциональностью. Нужно тщательно выбирать материалы для покрытия, которые будут соответствовать вашим требованиям,

исходя из доступного бюджета, так же не забывать, что пол должен защищать квартиру от температурных перепадов и посторонних звуков. В данной работе авторы попытались максимально доступно изложить многообразие видов напольных покрытий из древесины с точки зрения, прежде всего качества продукции, а также на основе эстетических желаний и финансовых возможностей покупателя, которые, во многом, определяют комфортабельность и уют жилого помещения.

УДК 630*867.5:630*867.21: 544.022.537:66.011

Ключевые слова: Пол, покрытие, древесина, доска

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.03

Анализ технических решений по технологическим процессам термохимической переработке биомассы

Иванова И.В., Шеменев Ю.Е.

Введение.

Газификация является одной из перспективных технологий получения энергии из биомассы (БМ). Газификация БМ с целью получения тепловой энергии уже достигла коммерческого уровня, хотя занимает довольно ограниченный сегмент на энергетическом рынке, особенно в развитых странах. Для расширения этого сегмента необходимо преодолеть ряд экономических и других нетехнических барьеров. С точки зрения капитальных затрат, которые выше по сравнению со станциями, работающими на ископаемом топливе, экономически рентабельная работа газификационной установки во многих случаях возможна только при использовании очень дешевого сырья. Интерес к газификационным технологиям все более смещается от производства только тепловой энергии к возможности комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.

Цели и задачи.

Целью работы является анализ рациональных тепловых схем и описание элементов практических моделей для процесса газификации древесных отходов. Анализируются три направления развития технологий термохимической переработки биомассы: прямое сжигание, газификация и пиролиз. Выбранное направление исследования являются актуальными для совершенствования существующего и разработки нового оборудования, обеспечивающего энергетическое использование отходов лесной отрасли.

Методика исследования.

Термохимическая газификация представляет собой процесс частичного окисления углеродсодержащего сырья такого, как биомасса (БМ), торф или уголь, с получением газообразного энергоносителя. Полученный газ содержит монооксид углерода, водород, метан, небольшое количество углеводородных соединений более высокого порядка таких, как метан и этан, диоксид углерода, пары воды, азот (при воздушном дутье) и различные примеси – частицы углистого вещества, золы и смолы. В качестве окислителя могут использоваться воздух, кислород, пар или смеси этих веществ.

Существуют три сравнимые между собой технологии термохимической переработки биомассы: прямое сжигание (наиболее изучено и коммерчески развито), газификация (находится на среднем уровне развития и коммерческого использования) и пиролиз (развит намного меньше). Газификация происходит при максимальных температурах процесса 800...1300 °С, пиролиз – 500...800 °С, горение – 1500...2000 °С. Каждая технология имеет свои преимущества и недостатки.

Преимуществом газификации по сравнению с прямым сжиганием при использовании газа в газовых турбинах и двигателях является образование намного меньших объемов газа, подвергаемого очистке. Вследствие этого

система очистки может быть более компактной и экономичной. Управлять процессом горения генераторного газа легче, чем процессом горения биомассы. Возможность использования генераторного газа в камере сгорания газовой турбины парогазотурбинной установки приводит к повышению термодинамического КПД цикла. Кроме того, при газификации биомассы и последующем сжигании генераторного газа эмиссия NO_x значительно меньше, чем при прямом сжигании биомассы, вследствие более низких рабочих температур этих процессов.

Так, исследования по сжиганию генераторного газа в газотурбинном двигателе парогазотурбинной установки показали хорошую устойчивость пламени при горении низкокалорийного газа, высокую эффективность сгорания газа с низким уровнем содержания CO и высших углеводов. Термическое образование NO_x – $10...13 \text{ мг/м}^3$ [1]. Уровень эмиссии оксидов азота при сжигании БМ в котле составляет от 25 до 300 мг/м^3 в зависимости от конструкции котла и вида сырья.

При воздушной газификации получается генераторный газ с высшей теплотворной способностью $4...6 \text{ МДж/м}^3$. Этот газ пригоден для использования в котлах, газовых двигателях или турбинах, но не пригоден для транспортировки по трубопроводу из-за низкой энергетической плотности.

Газификация с использованием кислорода дает газ более высокого качества ($10...18 \text{ МДж/м}^3$). Этот газ пригоден для ограниченной транспортировки по трубопроводу, для использования в качестве синтез-газа с целью получения метанола и газолина. Газ такого качества также может быть получен пиролизической или паровой газификацией. При этом происходит сгорание побочных продуктов газификации во втором реакторе (например, в установке с двумя реакторами кипящего слоя).

Наиболее широко в настоящее время применяется воздушная газификация. При этом исключаются все затраты и трудности, связанные с производством кислорода и кислородной газификацией, а также с необходимостью установки нескольких реакторов (как при пиролизической или паровой газификации).

Эффективное использование вырабатываемого в газогенераторных установках горючего газа возможно в следующих областях:

- сжигание в топке котла, причем по сравнению с непосредственным сжиганием твердого топлива улучшаются эксплуатационные, регулировочные и экологические характеристики котла;

- использование в качестве непосредственного энергоносителя в различных технологических процессах (сушка, нагрев, варка и т.п.), что позволяет отказаться от пара как промежуточного энерго- и теплоносителя;

- сжигание в стационарных ДВС или газовых турбинах с выработкой электроэнергии.

Показатели теплонапряженности топочного объема при сжигании генераторного и природного газов близки. Это позволяет использовать генераторный газ в существующих теплоэнергетических установках, предназначенных для сжигания природного газа, изменяя только конструкцию горелочных устройств.

По типу слоя сырья и способу подвода окислителя технологии газификации могут быть разделены на несколько групп [2].

Газификация в плотном слое сырья с нисходящим движением газа. Характерной чертой такого процесса является нисходящее движение газа (НДГ) через опускающийся плотный слой сырья, который поддерживается решеткой в области сужения, называемой горловиной, где протекает большая часть газификационных реакций. Продукты газификации проходят через высокотемпературную область горловины, что способствует крекингу смол. Такая технология обеспечивает получение относительно чистого газа. Содержание смол в этом газе – 50...500 мг/нм³.

Газификация с НДГ является простой, надежной и проверенной для таких топлив, как относительно сухие древесные чурки или щепа с влажностью до 30 % (мас.) и содержанием золы менее 3...5 % (мас.), которые содержат небольшое количество частиц БМ малого размера. Рекомендуемый размер частиц БМ – от 1 до 30 см. Вследствие низкого содержания смол в газе такая конструкция реактора является наиболее подходящей для выработки электричества в газодизельных электростанциях небольшой мощности. Ограничения, связанные с размером частиц, приводят к существованию верхней границы мощности газификатора такой конструкции – около 500 кг/ч или 500 кВт.

Газификация в плотном слое сырья с восходящим движением газа. В газификаторах с восходящим движением газа (ВДГ), движущаяся вниз БМ сначала просушивается произведенным газом, движущимся вверх. После просушки твердое сырье пиролизуется с образованием углистого вещества, которое продолжает двигаться вниз и газифицируется. Парообразные продукты пиролиза уносятся вверх горячим генераторным газом.

Смолы из этих испарений конденсируются на холодном опускающемся сырье или уносятся из реактора произведенным газом, увеличивая тем самым содержание смол в газе. Объем этих смол может достигать 20 % всех продуктов пиролиза (10...100 г/нм³). В нижней части зоны газификации твердое углистое вещество и смолы частично окисляются подаваемым воздухом или кислородом. Для обеспечения более высокого уровня содержания водорода в газе к дутью может быть добавлен пар.

Газ, произведенный в газификаторе с ВДГ, содержит значительное количество смол. Для использования в качестве топлива этот газ требует существенной очистки или должен использоваться в непосредственной близости от газогенератора.

Принципиальными преимуществами газификатора с ВДГ являются его простая конструкция и высокая термическая эффективность: существенная часть теплоты произведенного газа расходуется на теплообмен с поступающим сырьем, которое таким образом просушивается, подогревается и пиролизуется перед попаданием в зону газификации. Увеличение масштаба единичного газификатора такого типа возможно до 20 МВт. Газификаторы с ВДГ могут устойчиво работать с сырьем влажностью до

55 %. Требования к фракционному составу сырья менее жесткие, чем в газификаторах с НДГ.

Газификация в плотном слое сырья с поперечным движением газа. Газификаторы с поперечным движением газа в работе во многом сходны с газификаторами с НДГ. Воздух или смесь воздуха с паром подводятся в реактор через боковую стенку в нижней части корпуса реактора. Генераторный газ отводится из реактора с противоположной стороны. Смолы перемещаются через зону восстановления и частично разлагаются на более легкие соединения. Широкого распространения газификаторы такой конструкции не получили.

Газификация в кипящем слое. Газификаторы с кипящим слоем (КС) имеют много особенностей, которых нет в реакторах с плотным слоем, в том числе высокие скорости тепло- и массопереноса и хорошее перемешивание твердой фазы, что обеспечивает высокие скорости реакции и близкую к постоянной температуру слоя. Частицы сырья должны быть относительно малого размера по сравнению с частицами в газификаторах с плотным слоем, то есть необходимо дополнительное измельчение сырья. Зола улавливается и удаляется из выходящих газов в системе очистки.

Хотя к БМ технология кипящего слоя стала применяться относительно недавно, имеется более, чем 50-летний опыт работы по этой технологии с торфом. Флюидизирующим инертным материалом, который необходим для создания КС БМ, обычно является силикатный песок, хотя также используются оксид алюминия (глинозем) и оксиды других тугоплавких металлов (чтобы избежать спекания слоя). Для снижения содержания смол в КС может быть добавлен катализатор.

Реакторы с КС являются единственными газификаторами, работающими с изотермическим слоем сырья. Типичная рабочая температура при газификации биомассы – 800...850 °С. Основная часть сырья превращается в газ в пределах самого КС, меньшая – в области над слоем. В большинстве случаев степень превращения углерода достигает 100 %, если не происходит чрезмерного уноса мелких частиц, что может иметь место в реакторе с верхней подачей сырья. Газификатор с КС производит газ с содержанием смол 5...10 г/нм³, что находится между уровнями содержания смол в газах, произведенных газификаторами с ВДГ и НДГ.

Газификация в циркулирующем кипящем слое. Скорость флюидизации в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) достаточно высокая для того, чтобы выходящий газ мог захватывать большое количество твердых частиц, которые возвращаются затем обратно в слой для улучшения эффективности конверсии углерода. Производится горячий неочищенный газ, который в большинстве коммерческих приложений используется для сжигания в котлах. Реакторы ЦКС применяются, как правило, в установках большой мощности (до 40 МВт_э).

Газификация в потоке. При газификации в потоке частицы сырья захватываются потоком дутья (обычно кислорода или пара). Происходит газификация частиц, суспензированных в газообразной фазе. Инертный материал не используется, но требуется мелкоизмельченное сырье. Газификаторы такого типа работают при более высоких температурах –

1200...1500 °С. Это зависит от того, применяется воздух или кислород. Следовательно, генераторный газ имеет низкие концентрации смол. Однако, работа при высоких температурах создает проблемы подбора материалов и плавления золы. Степень массовой конверсии сырья при газификации в потоке приближается к 100 %. Имеется небольшой опыт работы с БМ в таких установках.

Газификация в двух реакторах кипящего слоя. Такая установка используется для получения газа с более высокой теплотворной способностью, чем у полученного в одинарном газификаторе КС с воздушным дутьем. Первый реактор фактически является пиролизером, в котором нагрев производится горячим песком, поступающим из второго реактора кипящего слоя. Песок нагревается при сжигании углистою вещества в воздухе перед рециркуляцией в первый реактор. Обычно добавляют также пар, чтобы стимулировать прохождение реакций получения водорода. Качество произведенного газа хорошее с точки зрения теплотворной способности, но плохое с точки зрения содержания смол (процесс близок к пиролитическому).

Качество и состав продуктов газификации для различных типов конструкций реакторов и используемого окислителя приведены в табл. 1 [2, 3].

Таблица 1

Характеристики генераторного газа

Реактор, окислитель	Производительность, т/ч	Мощность, МВт,*	Фракционный состав сырья **	Высшая теплота сгорания, МДж/м ³	Качество газа ***	Температура газа на выходе из реактора, °С
НДГ, воздух	0,1...0,7	0,2...1,4	1	4...6	4	700...1000
НДГ, кислород	1...5	2...10	1	9...11	4	700...1100
ВДГ, воздух	0,5...10	1...20	2	4...6	3	100...400
ВДГ, кислород	1...10	2...10	2	8...14	3	100...700
КС, воздух	0,5...15	1...30	4	4...6	3	500...900
КС, кислород	2...10	4...20	4	8...14	3	700...1100
КС, пар	1...10	2...20	4	12...18	3	700...900
ЦКС, воздух	2...20	4...40	3	5...6,5	2	700...1100
ЦКС, кислород	2...20	4...40	3	10...13	3	800...1200
Два реактора КС	1...10	2...20	4	13...20	3	750...1000
Перекрестный ток, воздух	0,1...0,5	0,2...1	2	4...6	1	600...900
Горизонтальный движущийся слой, воздух	0,5...5	1...10	5	4...6	2	300...800
Вращающаяся печь, воздух	1...10	2...20	5	4...6	2	600...1000
Многокамерная печь	1...20	2...40	3	4...6	2	400...700
Вторичная обработка	-	-	-	-	5	1000...1200

Примечание. НДГ, ВДГ – нисходящее и восходящее движение газа; КС – кипящий слой, ЦКС – циркулирующий кипящий слой;

* Переработка сырья при общем КПД 36 %;

** 1, 5 – наиболее и наименее жесткие требования;

*** 1, 5 – наибольшее и наименьшее содержание смол и частиц в неочищенном газе.

В табл. 2 собраны данные о действующих в Европе коммерческих установках для газификации БМ с целью выработки тепла [4].

Таблица 2

Коммерческие установки газификации биомассы

Газификатор	Количество и расположение	Сырье	Мощность, МВт _т
Газификаторы с неподвижным слоем и ВДГ			
Bioneer (Финляндия)	10 шт. (Финляндия, Швеция)	Древесина/торф	5,0..6,0
Voland (Дания)	2 шт. (Дания)	Древесина/торф	4,0...1,2
Daneco (Италия)	Villasantina	ТГО	3,0...0,6
	Isolda d'Ebla	ТГО	6,0
Газификаторы с неподвижным слоем и НДГ			
Chevet (Франция)	Много (развивающиеся страны)	Стебли хлопка	0,315
Wamsler (Германия)	3 шт. (Германия)	Древесина	0,6...1,5
HTV-Juch (Швейцария)	Не коммерческая	Древесина	0,45...0,70
Schelde (Нидерланды)	Vlissingen	Отстой сточных вод	1,0
GASBI (Испания)	Нет данных	Древесина	0,15...1,50
MHB (Германия)	Нет данных	Древесина	3,3
NIHPBS (Ирландия)	Enniskillen (Ирландия)	Древесина	0,1...0,2
Baumann AG (Швейцария)	Hundsruesk (Швейцария)	Нет данных	0,1
Газификаторы с ЦКС для выработки тепла			
Ahlstrom (Финляндия)	4 шт. (Швеция, Финляндия, Португалия)	Древесные отходы	15,0-35,0
Lurgi (Германия)	Polz (Австрия)	Кора	35,0
	Rudersdorf (Германия)	Древесные отходы	100,0
Kvaerner	Varo (Швеция)	Древесные отходы	35,0

Примечание. ТГО* – горючая часть твердых городских отходов

Уровень развития технологий газификации БМ в европейских странах существенно различается, что связано с национальными особенностями энергетической политики. Поскольку использование газификации еще не достигло коммерческого уровня, трудно подвести итоги работ в этом направлении в целом по Европе. Кроме того, многие проекты по газификации БМ финансировались за счет общественных фондов, и их продолжение не всегда гарантировано из-за ограниченности этого финансового источника.

Из табл. 2 следует, что почти во всех западноевропейских странах имеются коммерческие или демонстрационные установки, однако большинство из них (особенно средней и большой мощности) используют технологию ограниченного числа производителей. Производители газификаторов есть почти во всех западноевропейских странах, даже в тех, где в настоящее время нет своих действующих коммерческих или демонстрационных установок. В число производителей входит немного крупных и признанных компаний. Это означает, что технология газификации БМ еще не достигла коммерческого уровня.

Большинство производителей, уже выпустивших определенное число установок и чье «ноу-хау» используется также в международных проектах, относится к скандинавским странам. В Европе существует шесть производителей крупных газификаторов с (циркулирующим) кипящим слоем: Rheinbraun, Gotaverken (Швеция), FosterWheeler (Финляндия), Lurgi (Германия), Tampella (Финляндия), TPS (Швеция). Технология четырех последних используется или будет использоваться в парогазотурбинных установках с внутрицикловой газификацией БМ (ПГТУ ВГ).

Существует также достаточно много производителей газификационных систем небольшой мощности (в основном состоящих из газификатора НДГ и двигателя внутреннего сгорания), которые уже соорудили демонстрационные установки. Как правило, это мелкие компании.

Большинство действующих коммерческих газификаторов расположено в Финляндии. В основном это газификаторы двух типов: Bioneer и Ryugoflow. Газификатор ВДГ Bioneer был разработан в VTT (Финляндия). В первой половине 80-х гг. девять газификаторов Bioneer (2...6 МВт_т) были введены в эксплуатацию на коммерческом уровне. Большинство из них до сих пор работают на тепловых станциях малой мощности. Газификаторы Bioneer оснащены автоматической системой загрузки сырья и не предъявляют больших требований к характеристикам используемого сырья (фракционный состав, влажность). Поскольку эти газификаторы работают только с целью получения тепла, большое содержание смол и пыли в генераторном газе не вызывает проблем.

Газификатор Ryugoflow с ЦКС был разработан компанией A.Ahlstrom Corporation (Финляндия). Четыре газификатора мощностью 15...35 МВт_т были установлены для коммерческого использования полученного газа в обжиговых печах. Несмотря на многочисленные технические проблемы в начале эксплуатации (засорение систем сушки и загрузки сырья, износ дробилок, коррозия и эрозия труб), все газификаторы до сих пор эксплуатируются. Попытки коммерциализации газификаторов Ryugoflow, соединенных с газодизельным двигателем, окончились неудачей вследствие высокого уровня содержания смол в генераторном газе.

Из-за падения цен на нефть в середине 80-х гг. с 1986 г. ни один новый газификатор Bioneer или Ryugoflow не был введен в эксплуатацию.

Научно-исследовательские и демонстрационные работы можно разделить на две группы. В области газификационных установок малой мощности работы

сосредоточены на газификаторах НДГ, очистке газа в циклонах, скрубберах или фильтрах и использовании генераторного газа в двигателях внутреннего сгорания с целью получения тепла и электроэнергии. Несмотря на то, что интерес к газификаторам ВДГ упал, в Дании проводятся достаточно серьезные работы по газификации соломы в газификаторах такого типа.

В области крупных газификационных систем работы сосредоточены на газификаторах с (циркулирующим) КС, предназначенным для использования в ПГТУ ВГ. Вопрос о том, до какого максимального давления установка, работающая под давлением, имеет преимущества перед атмосферной газификацией (выше КПД, но также выше капитальные затраты и более дорогостоящая система загрузки сырья) окончательно еще не решен. Ниже приведены более подробные описания трех коммерческих газогенераторов, предназначенных для выработки тепла и использующих технологии газификации БМ с ВДГ, НДГ и ЦКС.

Газификатор Biopower с восходящим движением газа. На рис. 1 приведена схема газификатора Biopower, связанного с котлом [4]. Газификатор состоит из питателя 3, шахтного реактора 4, футерованного огнеупорным материалом и вращающейся конусной решетки 8. Сырье подается в газификатор сверху и, перемещаясь вниз, проходит последовательно зоны просушки, пиролиза, газификации и горения. Зола, оставшаяся после горения, удаляется через нижнюю часть газификатора. Температура в зоне горения регулируется изменением влажности воздушного дутья.

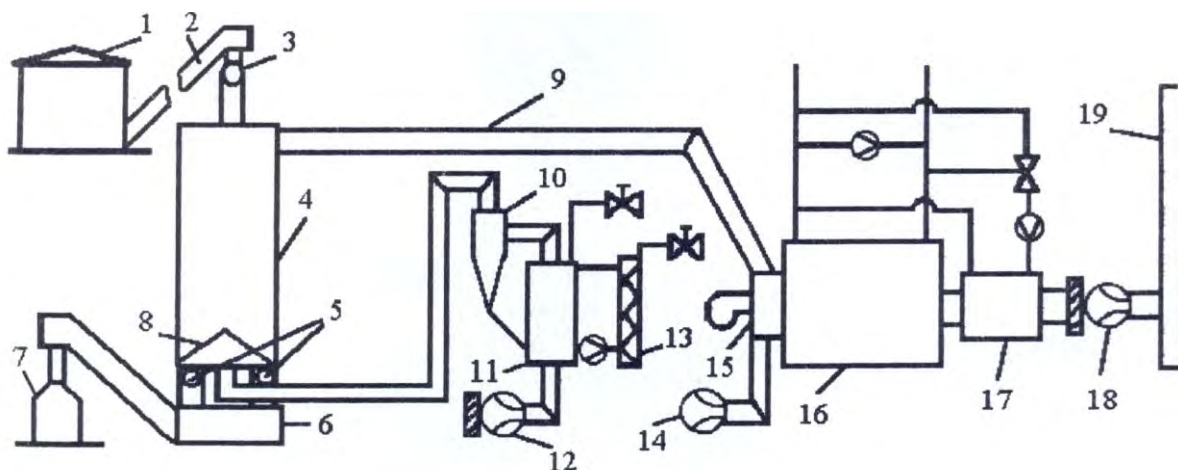


Рис. 1. Газификационная установка Biopower, работающая совместно с котлом:

1 – бункер с сырьем; 2 – транспортер для подачи сырья; 3 – питатель; 4 – газогенератор; 5 – система удаления золы; 6 – транспортер для золы; 7 – золоборник; 8 – вращающаяся конусная решетка; 9 – теплоизолированная труба; 10 – сепаратор; 11 – увлажнитель; 12 – воздушный вентилятор; 13 – пластинчатый теплообменник; 14 – воздушный вентилятор; 15 – газовая горелка; 16 – газовый котел; 17 – экономайзер; 18 – дымосос; 19 – дымовая труба

Воздух и пар поступают в газификатор снизу через вращающуюся решетку. Генераторный газ по короткой теплоизолированной трубе 9 поступает в горелку 15, сконструированную специально для сжигания низкокалорийного газа.

В табл. 3 приведен типичный состав сухого генераторного газа, полученного при газификации различного сырья [4]. Содержание пара в воздушном дутье поддерживалось в пределах 0,15...0,19 кг Н₂О/кг сухого воздуха. Мощность газификатора при проведении исследований составляла 50...100 % номинальной мощности.

Для обеспечения хорошей работы газификационной установки и эффективного сжигания генераторного газа используемое сырье должно удовлетворять следующим требованиям: максимальное содержание мелких частиц – 30...50 % (мас.); влажность – менее 50...55 %; температура плавления золы – выше 900 °С; отсутствие склонности к спеканию. Генераторный газ, полученный в газификаторе Bioneer, содержит большое количество конденсируемых смол – 6...160 г/нм³.

Таблица 3

Состав сухого генераторного газа, % (об.)

Сырье	СО	Н ₂	СН ₄	СО ₂
Древесная щепа*	29,0	18,8	3,0	10,3
Лесные отходы**	20,0	14,0	2,5	10,0
ТБО (брикеты)**	17,8	14,6	2,6	11,0
ТБО/ древесная щепа**	20,6	18,5	2,0	12,0
Солома (порубленная)**	18,9	17,6	2,3	13,8

Примечание. Эксперименты проводились на пилотных газификаторах:

* – ВТТ мощностью 1,5 МВт (1980-1982 гг.);

** – Bioneer Oy (1985-1987 гг.).

Газификатор Wamsler с нисходящим движением газа. Организация Wamsler Umwelttechnik GmbH (Германия) имеет успешный опыт работ по созданию газификационных установок с нисходящим движением газа (рис. 2). В 1994 г. три такие установки тепловой мощностью 0,6...1,5 МВт были запущены в Германии, пять установок мощностью 1,5...11,0 МВт, планируются к запуску. На планируемых к запуску установках, кроме древесной БМ, в качестве сырья будут использоваться пластмассы и текстиль. Wamsler имеет опыт в очистке генераторного газа в скрубберах и эксплуатации газодизельного двигателя мощностью 200 кВт_э, работающего на генераторном газе.

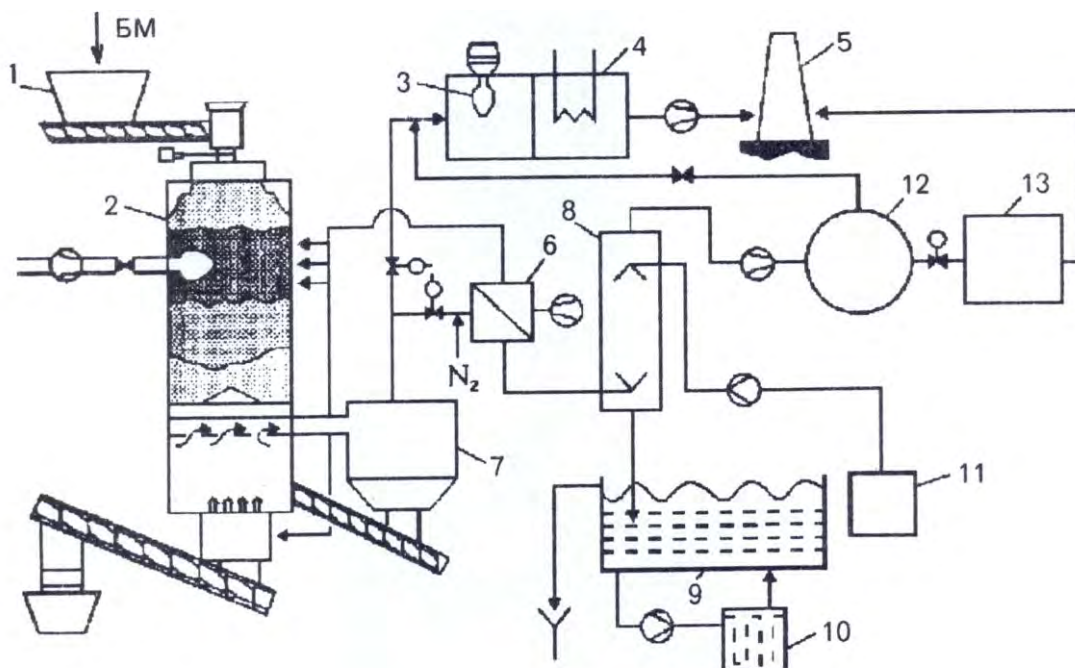


Рис. 2. Газификационная установка Wamsler с нисходящим движением газа:

1 – бункер для загрузки БМ; 2 – газификатор НДГ; 3 – циклонная топка; 4 – паровой котел; 5 – дымовая труба; 6 – парогенератор; 7 – пылеотделитель; 8 – водяной скруббер; 9 – отстойник; 10 – водяной фильтр; 11 – бак с водой; 12 – газгольдер; 13 – двигатель внутреннего сгорания

Газификатор с кипящим слоем Tampella, работающий под давлением. Продолжаются совместные работы Institute of Gas Technology (США) и фирмы Enviropower Inc. (совместное предприятие Tampella Power (Финляндия) и Vattenfall АВ (Швеция)) по доведению до коммерческого уровня технологии газификации БМ для парогазотурбинных установок. В рамках этой программы в г. Тампере (Финляндия) сооружена и запущена пилотная установка с газификатором Tampella циркулирующего кипящего слоя, работающим под давлением (рис. 3). Фирма Enviropower Inc. ведет работы по воплощению на пилотной установке комбинированного цикла паровой и газовой турбин и технологии горячей очистки газа. В настоящий момент установка используется для выработки тепла, ее мощность – 10...15 МВт_Т [4].

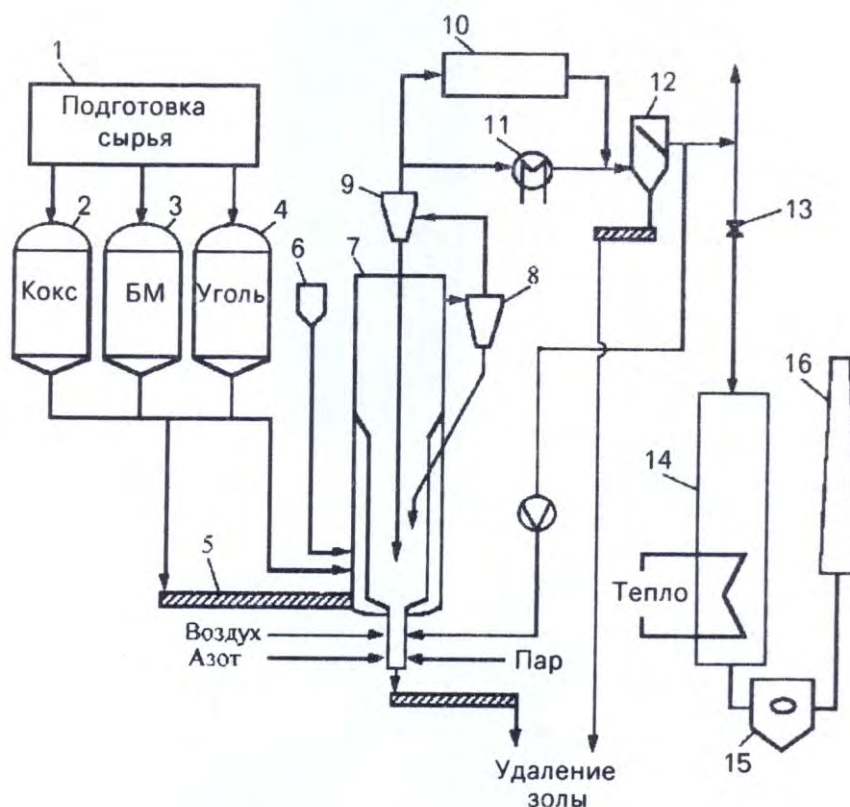


Рис. 3. Тарификационная установка Tarbella циркулирующего кипящего слоя под давлением:

1 – оборудование для измельчения и просушки сырья; *2 – 4* – бункеры с коксом, биомассой и углем; *5* – питатель; *6* – бункер с сорбирующим веществом; *7* – газификатор ЦКС; *8, 9* – циклоны; *10* – оборудование для очистки газа от серы; *11* – охладитель газа; *12* – фильтр для горячей очистки газа; *13* – вентиль для регулирования давления; *14* – котел; *15* – электростатический фильтр; *16* – дымовая труба

Сырьем для газификации служит смесь кокса, биомассы и угля. Биомасса представляет собой смесь твердой и мягкой древесины, коры и сучьев. Сырье подвергается предварительному измельчению и просушке. Газификация проходит при 850 °С и 2,0 МПа. Генераторный газ после выхода из газификатора проходит очистку в двух циклонах, устройстве по удалению серы и фильтре горячей очистки. После очистки часть газа возвращается в газификатор для создания дутья, остальной газ поступает в котел для выработки тепла. После котла продукты сгорания проходят через электростатический фильтр и выбрасываются в дымовую трубу.

Результаты и обсуждение исследований.

Перспективными путями применения ГГ являются совместное сжигание с углем и природным газом на существующих электростанциях и применение в ПГТУВГ. Наиболее привлекательными и готовыми для коммерческого использования с целью выработки электроэнергии являются сейчас технологии атмосферной газификации в ЦКС и КС. В результате широкой научно-исследовательской работы, проведенной за последнее десятилетие, технологии газификации БМ от предварительной подготовки сырья до очистки газа достигли высокого уровня развития и воплощения на лабораторном, пилотном и демонстрационном уровне.

Заключение и выводы.

Представляют интерес работы как по созданию новых технологий (двухстадийная газификация Технического университета Дании), так и по совершенствованию и модернизации хорошо известных старых конструкций газификаторов (газификатор Novel компании Condens Oy, Финляндия). С другой стороны, опыт долговременного использования генераторного газа в двигателях или турбинах до сих пор невелик. Несмотря на заметный прогресс, достигнутый в последние годы в области очистки газа, система очистки является критической составляющей любой газификационной установки. Продолжаются поиски оптимальных решений для достижения требуемых уровней очистки при минимальных затратах. Наиболее активными в этой области являются такие организации, как VTT (Финляндия), VTG (Нидерланды), Маддский университет Complutense, TPS (Швеция).

Библиографический список

1. Биотопливо из древесного сырья /А.С. Федоренчик, А.В. Ледницкий, Н.И. Никишов. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. – 384 с.
2. *Захаренко, Г.П.* Комплексное использование древесины: учеб. пособие /Г. П. Захаренко. – Йошкар-Ола: МГТУ, 2006. – 104 с.
3. *Шегельман И.Р.* Эффективное использование лесных ресурсов: учеб. пособие / И.Р. Шегельман, А.В. Кузнецов. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2008. – 88 с.
4. Анализ и проработка технических решений, актуальных при газификации биомассы и применении биогаза в теплоэнергетическом оборудовании. Анализ тепловых схем установок для получения и использования высококалорийного синтез газа с применением электрического и газогенераторного нагрева: отчет о НИР (промежут.) / рук. темы А.Ф. Смоляков. – СПб.: ЛТУ, 2007. – 39 с.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова Ирена Викторовна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Шеменев Юрий Евгеньевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6298-4641
e-mail	ltuttsu@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены три сравнимые между собой технологии термохимической переработки биомассы: прямое сжигание (наиболее изучено и коммерчески развито),

газификация (находится на среднем уровне развития и коммерческого использования) и пиролиз (развит намного меньше).

Наиболее широко в настоящее время применяется воздушная газификация. При этом исключаются все затраты и трудности, связанные с производством кислорода и кислородной газификацией, а также с необходимостью установки нескольких реакторов (как при пиролитической или паровой газификации). Эффективное использование вырабатываемого в газогенераторных установках горючего газа возможно в следующих областях:

- сжигание в топке котла, причем по сравнению с непосредственным сжиганием твердого топлива улучшаются эксплуатационные, регулировочные и экологические характеристики котла;

- использование в качестве непосредственного энергоносителя в различных технологических процессах (сушка, нагрев, варка и т.п.), что позволяет отказаться от пара как промежуточного энерго- и теплоносителя;

- сжигание в стационарных ДВС или газовых турбинах с выработкой электроэнергии.

По типу слоя сырья и способу подвода окислителя технологии газификации могут быть разделены на группы: газификация в плотном слое сырья с нисходящим движением газа, газификация в плотном слое сырья с восходящим движением газа, газификация в плотном слое сырья с поперечным движением газа, газификация в кипящем слое, газификация в циркулирующем кипящем слое, газификация в потоке, газификация в двух реакторах кипящего слоя.

Собраны данные о действующих в Европе коммерческих установках для газификации биомассы с целью выработки тепла: газификатор Bioneer с восходящим движением газа, газификатор Wamsler с нисходящим движением газа, газификатор с кипящим слоем Tatpella, работающий под давлением. Рассмотрены их устройство и принцип действия.

Выводы.

Представляют интерес работы как по созданию новых технологий (двухстадийная газификация), так и по совершенствованию и модернизации хорошо известных старых конструкций газификаторов. С другой стороны, опыт долговременного использования генераторного газа в двигателях или турбинах до сих пор невелик. Несмотря на заметный прогресс, достигнутый в последние годы в области очистки газа, система очистки является критической составляющей любой газификационной установки. Продолжаются поиски оптимальных решений для достижения требуемых уровней очистки при минимальных затратах.

Ключевые слова: биомасса, термохимическая переработка, газификация, синтез-газ, генераторный газ, теплота сгорания; biomass, thermochemical processing, gasification, synthesis gas, producer gas, calorific value

УДК 629. 5. 064.2

Разделы рубриката ГРНТИ: 61.53.19 Газификация

Изменение потенциальной энергии несжимаемой жидкости в центробежном насосе и при дросселировании

Куликов А.А., Иванова И.В., Дюкова И.Н.

Введение.

Сложный характер движения элементарных жидких частиц в потоке при прохождении через такие устройства, как центробежный насос и дроссель, приводит к изменению их потенциальной энергии.

Цели и задачи.

Цель работы исследование процессов, проходящих в отдельных открытых термодинамических системах. В работе решаются задачи построения и анализа термодинамических моделей, адекватно описывающих процессы энергообмена в центробежном насосе и при дросселировании несжимаемой жидкости.

Методика исследования. В работе использовался метод теоретического анализа процессов энергообмена путем построения термодинамических моделей, отражающих работу соответствующих устройств, и применения первого закона термодинамики.

Благодаря вращению лопаток центробежного насоса элементарные жидкие частицы движутся в проточной части рабочего колеса по криволинейным траекториям. Соответственно у них обязательно будет ускорение, направленное по касательной к годографу скорости. Это ускорение не зависит: от действия консервативной силы тяжести; от действия неконсервативных диссипативных сил вязкого трения, за счет работы которых часть механической энергии потока превращается в теплоту, то есть эта работа приводит к росту температуры жидкости [Сивухин, 2005; Лойцзянский, 1970]. При установившемся режиме работы центробежного насоса с постоянными подачей и скоростью вращения рабочего колеса, указанное ускорение формирует в пространстве проточной части векторное поле. По физическому смыслу такое ускорение элементарной жидкой частицы равно массовой силе, действующей на нее в проточной части рабочего колеса. Такое векторное поле накладывается на векторное поле силы тяжести, равное, как известно ускорению свободного падения \vec{g} , м/с².

При перемещении элементарной жидкой частицы в таком поле массовых сил будет совершаться некоторая работа. Это означает, что при перемещении у жидкости будет меняться потенциальная энергия.

Для анализа изменения потенциальной энергии жидкости рассмотрим модель центробежного насоса, прокачивающего несжимаемую жидкость, схема которой приведена на рис. 1.

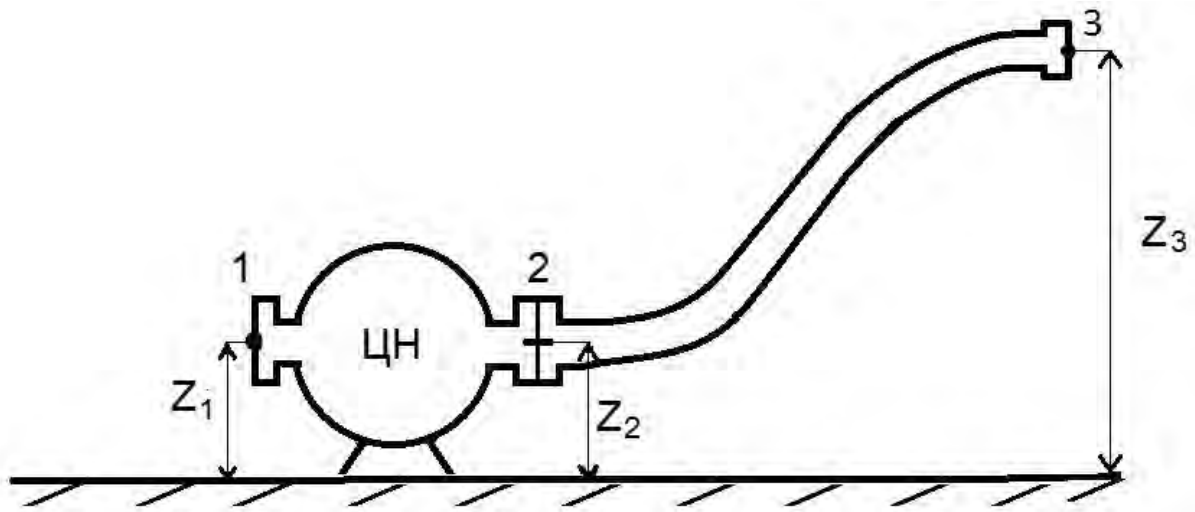


Рис. 1. Модель центробежного насоса (цн):

1, 2, 3 – сечения всасывающего патрубка, напорного патрубка, магистрального трубопровода; z_1, z_2, z_3 – высота расположения соответствующих сечений, м

На схеме (рис. 1) изображен центробежный насос, закрепленный на неподвижной поверхности. Будем рассматривать работу насоса в установившемся режиме: с постоянной подачей G , кг/с, и угловой скоростью вращения рабочего колеса ω , рад/с. Точками *1, 2* и *3* на рис. 1 обозначены сечения всасывающего патрубка, напорного патрубка и патрубка магистрального трубопровода.

Параметрами, определяющими термодинамическое состояние жидкости в потоке являются ее гидростатическое давление p , Па, и температура t , °С. Гидростатическое давление p , строго говоря, может быть измерено манометром, который движется вместе с потоком. То есть давление p в некотором элементарном жидком объеме потока может быть измерено в системе координат, где этот элемент, как целое, покоится. Таким образом, осредненные параметры состояния потока жидкости в соответствующих сечениях будут равны: $p_1, t_1; p_2, t_2; p_3, t_3$.

Для наглядности будем считать, что сечение *1* и *2* находятся на одном уровне:

$$z_1 = z_2, \quad (1)$$

где z_1 и z_2 – высоты первого и второго сечений от нулевого уровня (см. рис. 1), м.

Сечение *3* находится на высоте z_3 , м, выбранной таким образом, что гидростатические давления p_1 и p_3 равны.

Замечание: Если вся установка на рис. 1 от сечения *1* до сечения *3* заполнена водой, но подача G равна нулю (жидкость не движется, например, если рабочее колесо не вращается), то, как известно [Лойцзанский, 1970]:

$$\rho g(z_3 - z_2) = p_2^{\text{стат}} - p_3^{\text{стат}}, \quad (2)$$

где ρ – плотность жидкости, $\rho = \text{const}$, кг/м³; $p_2^{\text{стат}}$ и $p_3^{\text{стат}}$ – гидростатические давления в покоящейся жидкости, измеряемые манометром в сечениях 2 и 3 соответственно, Па.

Следует отметить, что при относительно невысоких скоростях потока в сечениях 2 и 3 приблизительно можно считать, что $p_2 = p_2^{\text{стат}}$ и $p_3 = p_3^{\text{стат}}$. При этом, если в сечениях 2 и 3 установить манометры, то их показания $p_{2м}$ и $p_{3м}$ также будут близки к этим значениям, хотя, строго говоря, не будут им равны.

Вначале в качестве термодинамической системы рассмотрим всю установку на рис. 1 от сечения 1 до сечения 3. При установившемся режиме работы внутренняя энергия этой термодинамической системы не изменяется. По первому закону термодинамики это означает, что вся вносимая в систему потоком жидкости энергия через сечение 1 вместе с подводимой из окружающей среды механической энергией для вращения вала рабочего колеса насоса, будет равна всей энергии, выносимой потоком жидкости из системы через сечение 3. В общем случае элементарная жидкая частица в потоке обладает тремя видами энергии: внутренней, потенциальной, кинетической. Соответственно первый закон термодинамики для рассматриваемой открытой термодинамической системы записывается в виде:

$$(u_1 + \Pi_1 + K_1) \cdot dm + l_{\text{вал}} \cdot dm = (u_3 + \Pi_3 + K_3) \cdot dm,$$

или, после деления на dm :

$$u_1 + \Pi_1 + K_1 + l_{\text{вал}} = u_3 + \Pi_3 + K_3, \quad (3)$$

где u_1 , Π_1 , K_1 и u_3 , Π_3 , K_3 – значения удельных внутренней, потенциальной, кинетической энергий в сечениях 1 и 3 соответственно, Дж/кг; dm – масса рассматриваемой элементарной жидкой частицы, кг; $l_{\text{вал}}$ – удельная механическая работа, подводимая к валу рабочего колеса, Дж/кг.

Из (3) получаем:

$$l_{\text{вал}} = (u_3 - u_1) + (\Pi_3 - \Pi_1) + (K_3 - K_1). \quad (4)$$

Равенство (4) означает, что подводимая к валу работа расходуется внутри системы на изменение внутренней, потенциальной и кинетической энергии жидкости.

Для наглядности будем считать, что площади проходных сечений 1, 2 и 3 равны, а значит, будут равны и скорости жидкости в этих сечениях. В свою очередь это означает, что будут равны между собой K_1 , K_2 и K_3 . В результате из (4) получаем:

$$l_{\text{вал}} = (u_3 - u_1) + (\Pi_3 - \Pi_1). \quad (5)$$

Внутри системы из-за действия неконсервативных диссипативных сил часть подводимой к валу механической энергии превращается в теплоту. Это приводит к росту температуры потока жидкости. Для наглядности будем считать, что основная часть этой теплоты выделяется внутри насоса на участке от сечения 1 до сечения 2. Это означает, что на участке от сечения 2 до сечения 3 изменения температуры не происходит и $t_2 = t_3$. Так как у несжимаемой жидкости внутренняя энергия зависит только от температуры и не зависит от давления, то последнее означает:

$$u_2 = u_3, \quad (6)$$

или

$$u(p_2, t_2) = u(p_3, t_3) = u(p_3, t_2), \quad (7)$$

где $u(p, t)$ – удельная внутренняя энергия несжимаемой жидкости, проходящей через насос, которая является функцией параметров ее состояния, Дж/кг.

Рассмотрим элементарную жидкую частицу dm в сечениях 1 и 3 . В этих сечениях давления у нее будут равны ($p_1 = p_3$), а температуры нет ($t_3 > t_1$). Потенциальная энергия жидкой частицы от температуры не зависит. Сечения 1 и 3 находятся на разной высоте. Как известно, уменьшение потенциальной энергии тела, при его перемещении из одного положения в пространстве в другое, равно работе, которую совершают при этом действующие на него потенциальные силы. В рассматриваемом случае эта работа силы тяжести при изменении высоты от z_1 до z_3 . Следовательно, изменение потенциальной энергии такой частицы будет определяться только разностью высот сечений 1 и 3 :

$$(P_3 - P_1) \cdot dm = g \cdot dm \cdot (z_3 - z_1),$$

или, после деления на dm :

$$(P_3 - P_1) = g \cdot (z_3 - z_1). \quad (8)$$

Подставляя (8) в (5), с учетом (6), получаем:

$$l_{\text{вал}} = (u_2 - u_1) + g \cdot (z_3 - z_1). \quad (9)$$

Далее в качестве термодинамической системы рассмотрим часть установки от сечения 1 до сечения 2 . Рассуждая аналогичным образом, первый закон термодинамики можно записать в виде:

$$(u_1 + P_1 + K_1) \cdot dm + l_{\text{вал}} \cdot dm = (u_2 + P_2 + K_2) \cdot dm,$$

или, после деления на dm :

$$(u_1 + P_1 + K_1) + l_{\text{вал}} = u_2 + P_2 + K_2, \quad (10)$$

где u_2, P_2, K_2 – удельная внутренняя, потенциальная, кинетическая энергии в сечении 2 , Дж/кг.

Принимая указанные выше допущения о равенстве проходных сечений из (10) получаем:

$$l_{\text{вал}} = (u_2 - u_1) + (P_2 - P_1). \quad (11)$$

Сравнивая (9) и (11) получаем:

$$P_2 - P_1 = g \cdot (z_3 - z_1). \quad (12)$$

Равенство (12) означает, что в результате прохождения жидкости через насос, ее потенциальная энергия возрастает. Причем этот рост происходит при условии, что $z_1 = z_2$. То есть этот рост вызван наличием поля объемных сил в рабочем объеме насоса, появление которого обусловлено вращением рабочего колеса. Таким образом, можно констатировать, что потенциальная энергия элементарной жидкой частицы в потоке зависит от двух параметров: от высоты положения в поле силы тяжести z ; от гидростатического давления p .

Примечание: Как указывалось выше, вся теплота трения выделяется в насосе на участке от сечения 1 до сечения 2 . Соответственно для процесса, происходящего с элементарной жидкой частицей на этом участке, первый закон термодинамики записывается в виде:

$$u_2 - u_1 = q_{\text{тр}\Sigma}, \quad (13)$$

где $q_{\text{тр}\Sigma}$ – суммарная удельная теплота трения, выделившаяся в насосе и переданная потоку жидкости, Дж/кг.

Введем обозначение:

$$l_{\text{вал}}^{\text{пол}} = l_{\text{вал}} - q_{\text{тр}\Sigma}, \quad (14)$$

где $l_{\text{вал}}^{\text{пол}}$ – полезно затраченная часть $l_{\text{вал}}$, Дж/кг.

Величина $l_{\text{вал}}^{\text{пол}}$ передается в насосе жидкости в виде механической работы.

Из (11), с учетом (12) – (14), получаем:

$$l_{\text{вал}}^{\text{пол}} = \Pi_2 - \Pi_1 = g(z_3 - z_1). \quad (15)$$

Из (15), с учетом (2), получаем:

$$l_{\text{вал}}^{\text{пол}} = \frac{1}{\rho} (p_2^{\text{стац}} - p_3^{\text{стац}}). \quad (16)$$

Далее подобным образом рассмотрим изменение потенциальной энергии несжимаемой жидкости при прохождении через дроссель, модель которого приведена на рис. 2.

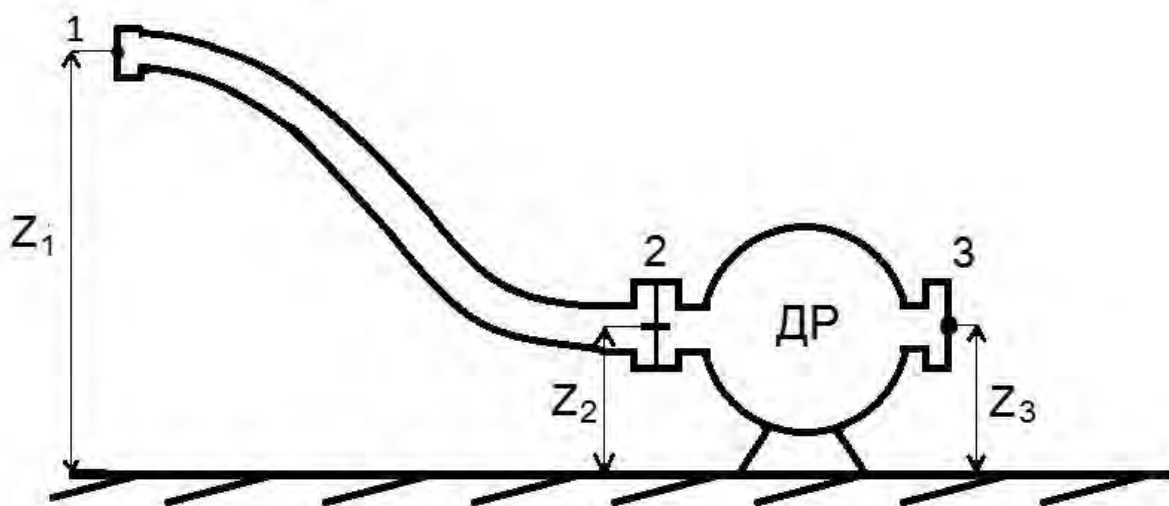


Рис. 2. Модель дросселя (Др):

1, 2, 3 – сечения: магистрального трубопровода, входного патрубка, выходного патрубка; $z_{1\text{др}}, z_{2\text{др}}, z_{3\text{др}}$ – высоты расположения соответствующих сечений, м

На схеме рис. 2 изображен дроссель, закрепленный на неподвижной поверхности. Конструктивно дроссель может быть выполнен, в частности, в виде центробежного насоса с неподвижным рабочим колесом. Будем рассматривать режим, когда через дроссель проходит поток жидкости с постоянным расходом. Определенные значения параметров состояния потока жидкости в соответствующих сечениях равны: $p_{1\text{др}}, t_{1\text{др}}; p_{2\text{др}}, t_{2\text{др}}; p_{3\text{др}}, t_{3\text{др}}$.

Для наглядности будем считать, что сечение 2 и 3 находятся на одном уровне:

$$z_{2\text{др}} = z_{3\text{др}}. \quad (17)$$

Сечение I находится на высоте $z_{1др}$, выбранной таким образом, что гидростатическое давление $p_{1др}$ и $p_{3др}$ равны.

Вначале в качестве термодинамической системы рассмотрим всю установку на рис. 2 от сечения I до сечения 3 .

Опираясь на приведенные выше рассуждения, для такой системы первый закон термодинамики записывается в виде, аналогичном (3), с учетом того факта, что никакой механической работы из окружающей среды к дросселю не подводится:

$$u_{1др} + \Pi_{1др} + K_{1др} = u_{3др} + \Pi_{3др} + K_{3др}, \quad (18)$$

где $u_{1др}$, $\Pi_{1др}$, $K_{1др}$ и $u_{3др}$, $\Pi_{3др}$, $K_{3др}$ – значения удельных внутренней, потенциальной, кинетической энергий жидкости в сечениях I и 3 соответственно, Дж/кг.

Из (18) получаем:

$$u_{3др} - u_{1др} = (\Pi_{1др} - \Pi_{3др}) + (K_{1др} - K_{3др}). \quad (19)$$

Для наглядности будем считать, что площади проходных сечений I , 2 и 3 равны, а значит, будут равны и скорости жидкости в этих сечениях.

В свою очередь это означает, что будут равны между собой $K_{1др}$, $K_{2др}$ и $K_{3др}$. В результате из (19) получаем:

$$u_{3др} - u_{1др} = \Pi_{1др} - \Pi_{3др}. \quad (20)$$

В сечениях I и 3 статические давления $p_{1др}$ и $p_{3др}$ равны, а температура $t_{3др}$ больше $t_{1др}$ из-за выделившейся в потоке жидкости теплоты внутреннего трения. Эта теплота выделяется из-за действия диссипативных сил внутри потока. Для наглядности будем считать, что основная часть теплоты внутреннего трения выделяется внутри дросселя на участке от сечения 2 до сечения 3 . Это означает, что на участке от сечения I до сечения 2 изменения температуры не происходит и $t_1 = t_2$. Так как у несжимаемой жидкости внутренняя энергия зависит только от температуры и не зависит от давления, то последнее означает:

$$u_{1др} = u_{2др},$$

или

$$u_{др}(p_1, t_1) = u_{др}(p_2, t_2) = u_{др}(p_2, t_1), \quad (21)$$

где $u_{др}(p, t)$ – удельная внутренняя энергия несжимаемой жидкости, проходящей через дроссель, которая является функцией параметров ее состояния, Дж/кг.

Потенциальная энергия несжимаемой жидкости не зависит от температуры. Сечения I и 3 находятся на разной высоте. Следовательно, разница потенциальной энергии элементарной жидкой частицы в сечениях I и 3 будет определяться только разностью этих высот:

$$\Pi_{1др} - \Pi_{3др} = g(z_1 - z_3). \quad (22)$$

Далее в качестве термодинамической модели рассмотрим часть установки на рис. 2 от сечения 2 до сечения 3 . Для нее первый закон термодинамики запишется в виде:

$$u_{2др} + \Pi_{2др} + K_{2др} = u_{3др} + \Pi_{3др} + K_{3др}, \quad (23)$$

где $u_{2др}$, $\Pi_{2др}$, $K_{2др}$ – значения удельных внутренней, потенциальной, кинетической энергий жидкости в сечении 2 , Дж/кг.

Из (21), с учетом того, что $K_{2др} = K_{3др}$, получаем:

$$u_{3др} - u_{2др} = (P_{2др} - P_{3др}). \quad (24)$$

Сравнивая (19) и (24), с учетом (20) и (22), получаем:

$$P_{2др} - P_{3др} = g(z_1 - z_3). \quad (25)$$

Равенство (25) означает, что при прохождении дросселя удельная потенциальная энергия жидкости снижается. Это снижение происходит из-за наличия в проточной части дросселя поля объемных сил, не связанных с силой тяжести. Это поле обусловлено тем, что внутри дросселя траектория движения элементарной жидкой частицы всегда носит криволинейный характер. При искривленной траектории у любого тела, как отмечалось выше, имеется ускорение. В случае жидкой частицы внутри установившегося потока это ускорение формирует поле массовых сил, действующих внутри потока.

Как отмечалось выше, вся теплота трения выделяется внутри дросселя на участке от сечения 2 до сечения 3 (рис. 2). Соответственно для процесса, происходящего с элементарной жидкой частицей на этом участке, первый закон термодинамики записывается в виде:

$$(u_{3др} - u_{2др}) \cdot dm = q_{тр др\Sigma} \cdot dm,$$

или после деления на dm :

$$u_{3др} - u_{2др} = q_{тр др\Sigma}, \quad (26)$$

где $q_{тр др\Sigma}$ – суммарная удельная теплота, выделяющаяся в дросселе и переданная потоку жидкости, Дж/кг.

Так как теплота, подводимая в изохорном процессе, вычисляется через удельную изохорную теплоемкость, можно записать:

$$q_{тр др\Sigma} = c_v(t_3 - t_2). \quad (27)$$

Подставляя (26) в (27), с учетом (24) и (25), получаем:

$$c_v(t_3 - t_2) = g(z_1 - z_3). \quad (28)$$

Уравнение (28) позволяет вычислить, в частности, рост температуры жидкости при дросселировании.

Сравнивая (24) и (26) получаем:

$$P_{2др} - P_{3др} = q_{тр др\Sigma}. \quad (29)$$

Формулы (27) – (29) позволяют вычислить уменьшение удельной потенциальной энергии жидкости при прохождении через дроссель либо по изменению высоты, либо по изменению температуры.

Равенство (29) показывает, что факторы, необратимо влияющие на снижение потенциальной энергии потока, определяют значение $q_{тр др\Sigma}$. В свою очередь величина $q_{тр др\Sigma}$ приводит к росту энтропии жидкости в условиях адиабатности процесса, то есть определяет необратимость процесса.

Результаты и обсуждение исследований. Таким образом, факторы, приводящие к необратимому снижению потенциальной энергии, определяют необратимость процесса дросселирования несжимаемой жидкости. Эти факторы связаны с криволинейностью траектории жидких частиц внутри проточной части дросселя.

Заключение и выводы.

1. Из первого закона термодинамики получено выражение для полезно затраченной части механической энергии, подводимой к валу рабочего колеса центробежного насоса.

2. Получены формулы для вычисления уменьшения удельной потенциальной энергии несжимаемой жидкости при прохождении ее через дроссель.

3. Определены факторы, приводящие к необратимости процесса дросселирования, которые связаны с криволинейностью траектории элементарных жидких частиц внутри проточной части дросселя.

Библиографический список

1. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва, 1970. 904 с.
2. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т.1 Механика, Москва, 2005. 560 с.

Сведения об авторах

ФИО	Куликов А.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7746-2999
e-mail	ltuttsu@mail.ru
ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Дюкова Ирина Николаевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1314-2594
e-mail	ltuttsu@mail.ru

Аннотация

С термодинамических позиций проведен анализ изменения потенциальной энергии несжимаемой жидкости в центробежном насосе и при дросселировании.

Рассмотрена модель центробежного насоса, позволяющая оценить процесс возрастания потенциальной энергии жидкости внутри рабочего объема насоса. Это возрастание обусловлено действием массовых сил внутри потока, связанных с криволинейностью траекторий элементарных жидких частиц внутри центробежного насоса. Анализ проводился на базе первого закона термодинамики для открытых термодинамических систем. В результате анализа, в частности, получена формула для определения полезно используемой части удельной механической энергии,

подводимой для вращения вала рабочего колеса. Показано, как эта величина связана с изменением потенциальной энергии жидкости, в результате прохождения через насос.

Рассмотрена модель дроссельного устройства, через которое проходит несжимаемая жидкость. На базе первого закона термодинамики для открытых термодинамических систем проведён анализ изменения потенциальной энергии несжимаемой жидкости при дросселировании. Получены формулы, позволяющие вычислить значения такого изменения, в частности, по изменению температуры жидкости на входе и выходе, вызванного действием в потоке диссипативных сил внутреннего трения.

Выводы.

1. Из первого закона термодинамики получено выражение для полезно затраченной части механической энергии, подводимой к валу рабочего колеса центробежного насоса.

2. Получены формулы для вычисления уменьшения удельной потенциальной энергии несжимаемой жидкости при прохождении ее через дроссель.

3. Определены факторы, приводящие к необратимости процесса дросселирования, которые связаны с криволинейностью траектории элементарных жидких частиц внутри проточной части дросселя.

Ключевые слова: центробежный насос, несжимаемая жидкость, первый закон термодинамики, дросселирование, потенциальная энергия; centrifugal pump, incompressible fluid, the first law of thermodynamics, throttling, potential energy.

УДК 536.24.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 30.17.51 Прикладная гидродинамика и гидравлика

Повышение эффективности деятельности малых лесозаготовительных предприятий

Сидоренков Н.В., Мартынов Б.Г., Борозна А.А.

Введение.

Лесной сектор играет важную роль в экономике страны и имеет существенное значение для социально-экономического развития более чем 40 субъектов РФ, в которых продукция лесной промышленности оставляет от 10 % до 50 % общего объема промышленной продукции регионов. На предприятиях и в организациях лесопромышленного комплекса занято более одного миллиона работающих.

Сегодня в Российской Федерации площадь земель лесного фонда составляет 1,2 млрд га, а запас древесины – 83,4 млрд м³.

При допустимом ежегодном объеме изъятия древесины свыше 700 млн м³ в 2016 году в России было заготовлено порядка 213,6 млн м³. Лесозаготовительные предприятия размещаются в соответствии с наличием лесосырьевых ресурсов. Основным районом по выработке деловой древесины в России является Европейский север страны, производящий порядка 1/3 всей продукции. На втором месте располагается Восточная Сибирь, предприятия которой производят примерно 1/4 от всего объема вырабатываемой деловой древесины.

Главным направлением развития отраслей лесного комплекса в условиях становления и развития рыночных отношений является опережающий рост производства прогрессивных видов продукции, сокращение экспорта круглого леса и пиломатериалов и увеличение производства и экспорта готовой продукции механической и химической переработки древесины. При этом важнейшей задачей является более полное использование лесных ресурсов без ущерба для окружающей среды, создание комплексных предприятий по лесовыращиванию, заготовке и переработке древесины.

Повышение продуктивности лесов - важнейшая задача отраслей лесного комплекса. В ее решении лежит дальнейшее совершенствование способов воспроизводства лесных ресурсов и породного состава культур с учетом лесорастительных зон, типов лесов и интенсивности лесохозяйственного производства. Согласно Договору аренды (или постоянного бессрочного пользования лесом) и проекту освоения лесов необходимым условием осуществления лесозаготовительной деятельности являются уход за лесом, его охрана и защита за счет средств лесопользователя.

Нерациональное размещение отраслей лесной промышленности приводит к тому, что при наличии огромных лесных ресурсов в отдельных районах России возникает острый дефицит сырья, в результате которого появляется необходимость сокращения производства и увеличения экспорта лесного сырья и продукции из других стран, в частности из Финляндии и Швеции. Этот дефицит относится, прежде всего, к европейским районам России, где имеются

значительные перерубы и недостаточно ведутся работы по лесовосстановлению.

Согласно данным Росстата в 2016 году в той или иной степени на осуществление лесозаготовительной деятельности в РФ оказывали влияние следующие факторы:

- внедрение Единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней позволило вывести из теневого оборота 5-10% заготавливаемой древесины (рост объема заготовки с меньшей единицы площади лесов);

- с 11.09.2016 г. вступил в силу новый Административный регламент исполнения государственной функции по осуществлению федерального государственного лесного надзора;

- Минпромторг России принял решение о разработке нового проекта Постановления Правительства РФ «О приоритетных инвестиционных проектах в области освоения лесов», предусматривающее льготные условия получения лесных ресурсов без проведения аукциона (заготовка древесины будет возможна после ввода лесопромышленных мощностей в эксплуатацию, арендная плата за заготовку древесины будет осуществляться со дня ввода производства в эксплуатацию).

Цель исследований.

Целью наших исследований является возможность увеличения освоения расчетной лесосеки путем повышения эффективности деятельности лесозаготовительных предприятий

Методика и результаты исследований.

По данным статистики в 2016 году лесозаготовка в Российской Федерации велась на площади 171 млн. га, ею занимались порядка 9 тыс. предприятий. В структуре рынка арендных отношений 17 % составляют договора с объемом заготовки более 500 тыс. м³; 34 % – от 100 до 500 тыс. м³; 30 % – от 20 до 100 тыс. м³ и 19 % – менее 20 тыс. м³.

В данной статье мы рассмотрим возможности эффективной работы именно малых лесозаготовительных предприятий.

Анализируя методы работы различных лесозаготовительных предприятий (в дальнейшем по тексту - ЛЗП), можно прийти к выводу, что причин низкой эффективности работы ЛЗП несколько:

- несовершенство нормативно-правовой базы;
- низкая конкурентоспособность продукции российских лесопромышленных предприятий на мировом рынке;
- материальный и моральный износ используемого оборудования;
- преобладание круглого леса в структуре экспорта продукции лесной промышленности;
- большие инвестиционные вложения в организацию высокоэффективной технологии лесозаготовительных работ с применением высокопроизводительного оборудования;
- логистические проблемы, неразвитость сети лесовозных дорог;
- отсутствие подготовленных и квалифицированных кадров для работы

на высокопроизводительном оборудовании (особенно в условиях сельской местности);

- недостаточно эффективная организация технического обслуживания оборудования;

- недостаточный уровень системы планирования и управления.

Соответственно и средство для увеличения эффективности работы ЛЗП может быть только комплексное. Для повышения производительности труда необходимо применение высокопроизводительного, безопасного и «интеллектуального» оборудования. Несмотря на то, что стоимость этого оборудования достаточно высока, его применение позволит значительно снизить себестоимость заготавливаемого кубометра древесины.

Безусловно, при использовании дорогостоящего оборудования всегда будет высока цена неправильной эксплуатации такого оборудования, что может спровоцировать его поломку и вынужденный дорогостоящий ремонт. Но этого возможно избежать путем грамотного планирования работы, повышения качества подготовки квалифицированных работников, а также за счет своевременного и соответствующего технического обслуживания. Эти тезисы, кажущиеся слишком знакомыми и простыми, не всегда получают воплощение в виде выстроенной и организованной технологии работы предприятия. Именно поэтому, первоначально, необходим некий шаблон, «образец», который бы мог служить примером такой организации - так называемое «модельное» лесозаготовительное предприятие.

Цель любого лесозаготовительного предприятия очевидна – заготавливать максимальное количество древесины в единицу времени, соответствующего качества, обеспечивая при этом минимальную себестоимость заготовки и вывозки к пункту назначения.

Для достижения этой цели предприятию необходимо решать следующие задачи:

- обеспечение максимально возможной заготовки путем использования высокопроизводительного оборудования с максимально возможным машинным временем работы и максимальной производительностью;

- планирование и обеспечение бесперебойной работы такого оборудования, в том числе, наличие необходимого «фронта работы», материалов и инструментов;

- кадровый потенциал деятельности предприятия;

- проведение своевременного технического обслуживания оборудования;

- подготовка необходимой инфраструктуры для выполнения всех вышеперечисленных действий.

В последние десятилетия в Российской Федерации, как ранее в европейских странах, наиболее распространенной становится, так называемая «скандинавская» технология заготовки леса (впервые применена в Швеции и Финляндии). Она подразумевает сортиментную лесозаготовку (валка деревьев, обрезка сучьев и разделка хлыста на сортименты производится непосредственно на делянке) и дальнейшую транспортировку к месту вывозки

в сортиментах с применением сложной многооперационной лесозаготовительной техники — харвестеров и форвардеров.

Харвестеры (от англ. harvester — жнец, собиратель урожая) — многооперационные лесосечные машины, предназначенные для выполнения комплекса операций: валка, обрезка сучьев, раскряжевка и пакетирование сортиментов при проведении сплошных и выборочных рубок, а также рубок ухода. Конструкция оборудования харвестеров состоит из манипулятора и харвестерной головки, управляемой при помощи компьютерного процессора.

Форвардеры (от англ. forwarder — перевозчик, экспедитор) — самогружающиеся машины для сбора и перевозки сортиментов. В технологические задачи этих машин входит сбор, подсортировка, доставка сортиментов от места заготовки до лесовозной дороги или склада, и штабелевка сортиментов. Конструкция оборудования форвардеров состоит из погрузочного модуля — манипулятора и грузового модуля — тележки. Средняя производительность форвардеров при работе после харвестера — 12 кубических метров в час.

Один комплекс «харвестер плюс форвардер» может заменить до 40-50 человек, работающих на лесосеке по традиционной (механизированной) технологии заготовки. Объемы заготавливаемой древесины несопоставимы с ручным трудом: по традиционной технологии бригада из семи-восьми человек заготавливает от 7 до 12 тыс. м³ за год, а связка «харвестер — форвардер», позволяет заготавливать от 40 до 70 тыс. м³ в год. При этом, количество работающих в бригаде значительно сокращается, а производительность заготовки древесины на одного человека возрастает примерно в восемь-десять раз.

Для дальнейшей транспортировки сортиментов от штабеля у дороги необходимо применение современных автомобилей-сортиментовозов, в том числе, и автопоездов-сортиментовозов с полной загрузкой от 20 до 40 м³ в зависимости от применяемого шасси, прицепа и манипулятора. Расчет необходимого количества сортиментовозов необходимо производить, исходя из производительности лесозаготовительного комплекса (харвестер+форвардер) в год и в зависимости от плеча вывозки (расстояния от штабеля у дороги до пункта назначения сортиментов) и объема перевозимых сортиментов. Опыт показывает, что среднему предприятию, для вывозки сортиментов, заготовленных таким комплексом, требуется не менее 3-4 сортиментовозов.

Совершенно очевидно, что для обеспечения высокоэффективной технологии работы должны быть созданы условия и инфраструктура. Поэтому для любого ЛЗП необходимо помимо основного технологического оборудования (харвестер, форвардер, сортиментовоз) требуется оборудование вспомогательное, предназначенное для заправки топливом и горюче-смазочными материалами (ГСМ), для проведения необходимого ремонта и технического обслуживания, для заточки пильных инструментов, для хранения материалов, топлива, ГСМ, для обеспечения электроэнергией процессов жизнедеятельности, для проживания и передвижения людей, для доставки материалов.

Для полноты восприятия сведем все оборудования в единую таблицу:

№	Наименование оборудования	Кол-во	Основная комплектация, примечание
1.	Харвестер	1	
2.	Форвардер	1	
3.	Сортиментовоз	3-4	
4.	Вагон-дом	1	Для проживания 5-8 человек, отопление, водонагрев, плита, печь СВЧ, бак для воды, душ.
5.	Передвижная ремонтная мастерская	1	Инструмент электрический слесарный, ручной слесарный, метизы, инструмент для ремонта РВД, инструмент для обслуживания и ремонта цепей и пильного механизма, склад для хранения РВД и фурнитуры.
6.	Дизель-генераторная установка	1	3-хфазная, не менее 10 кВт.
7.	Бензиновая сварочная станция	1	Постоянный ток, не менее 200 А, мощность не менее 7 кВа.
8.	Газосварочный пост	1	Пропановый и кислородный баллоны, редукторы, горелка, резак.
9.	Топливо-заправочный пункт	1	Металлическая емкость для топлива не менее 8 м.куб. (на автомобильном прицепе с дышлом, заправочный модуль с электронасосом, пистолетом, счетчиком, рукавами), маслораздаточный пункт (с насосами), емкость для сбора отработанного масла.
10.	Грузопассажирский автомобиль с высокой проходимостью	1	Автомобиль УАЗ (пять пассажиров плюс металлический тентованный кузов для перевозки грузов).
11.	Гусеницы для лесной техники	2	Для увеличения мобильности и проходимости в лесу и для снижения давления на грунт Форвардера и Харвестера

Конечно, деятельность ЛЗП не может быть обеспечена только оборудованием, представленным в таблице. Для своевременного начала работы и переезда на иные места лесозаготовки (делянки) необходим автомобильный тягач с тралом для перевозки тяжелой многофункциональной техники (харвестер, форвардер), но этот вопрос необходимо решать не покупкой таких транспортных средств, а арендой. Для правильного функционирования ЛЗП необходимо обеспечение материалами, комплектацией и ГСМ – это необходимо организовать силами вспомогательного персонала или силами

поставщиков материалов и ГСМ. Также возможно и проведение технического обслуживания лесозаготовительного оборудования силами выездных представителей (дилеров) поставщиков этого оборудования. Практически все солидные поставщики такого оборудования предоставляют подобные услуги. Необходимо также обеспечение работающего персонала спецодеждой и спецобувью, средствами индивидуальной защиты (СИЗ) и постельным бельем, и этот вопрос может быть решен силами поставщиков.

Для эффективной работы комплекса (форвардер+харвестер) необходимо сформировать коллектив из трёх операторов харвестера, трёх операторов форвардера и мастера. В обязанности мастера входит: планирование и постановка задач бригаде, составление план-графика (табеля) рабочего времени, организация работы в делянке, контроль и наполнение передвижной ремонтной мастерской и склада ГСМ, отгрузка готовой продукции.

Одним из самых важных факторов эффективной эксплуатации комплекса является правильный подбор операторов и уровень их знаний, умений и первоначальных навыков, а также желания совершенствоваться на выбранном поприще.

Не менее важна и профессиональная подготовка оператора – курсы профессиональной подготовки операторов (3 года) либо переподготовка кандидата, имеющего права для работы на тракторе (не менее 2-х месяцев) в специализированном учебном заведении.

С учетом кадрового дефицита возможно обеспечение деятельности ЛЗП с применением вахтового метода работы. Для обеспечения максимальной эффективности работы ЛЗП, необходима организация круглосуточной работы комплекса: в течение 2-х недель на вахте должны находиться 2 оператора харвестера и 2 оператора форвардера (2 смены), один оператор харвестера и один оператор форвардера (1 смена) в течение недели - на выходном. При этом, каждую неделю должны меняться смены. При такой организации работы все шесть человек будут работать поочередно, передавать и обслуживать технику совместно.

При планировании рабочего времени, сутки необходимо разбивать на 2 рабочие смены. Передача техники между сменами должна производиться обоими операторами не менее 2-х часов, в течение которых должно проходить ежесменное техническое обслуживание и заправка техники дизельным топливом. В середине рабочей смены необходим 2-х часовой обеденный перерыв, во время которого оператор отдыхает и еще раз осматривает технику. Таким образом, чистое рабочее время в смену должно составлять не более 8 часов (16 часов в сутки), в месяц из расчета работы 25 суток - 400 часов рабочего времени. Оставшиеся 5-6 суток необходимы для проведения плановотехнического обслуживания, ремонтов и переездов с делянки на делянку.

Для достижения цели - повышение эффективности ЛЗП, как правило, требуется проведение модернизации. Это процесс, который требует довольно больших (по сравнению с объемами продаж) инвестиций. Эти инвестиции нельзя профинансировать из текущей прибыли, для этого необходимо

привлекать дополнительные средства – заемные или взносы собственников предприятия. Любое финансовое учреждение или собственники предприятия считают необходимым понимать, как будет развиваться экономическая и финансовая ситуация на предприятии с течением времени, после начала такой модернизации. Основным условием предоставления финансирования является разработка Бизнес-плана, которую всегда начинают с маркетингового раздела и заканчивают достижением экономических показателей и расчетом окупаемости.

Для ЛЗП товаром является заготовленная в сортиментах древесина, считаемая в метрах кубических. При составлении Бизнес-плана руководителю ЛЗП необходимо сформулировать определенные допущения и условия:

- разрешенный объем заготовки древесины и продажи с учетом ожидаемой производительности комплекса, времени вынужденного простоя комплекса на техническое обслуживание, переезды на другую делянку, распутицу;

- планируемые инвестиции в оборудование, инфраструктуру, обучение кадров и организацию реализации заготовленной древесины;

- стоимость материалов, технического обслуживания, модернизации оборудования, арендные платежи, сложившиеся в регионе деятельности ЛЗП;

- обязательные затраты на осуществление лесохозяйственных мероприятий, в том числе, по лесовосстановлению, охране леса от пожаров, защите от вредителей и болезней.

- условия финансирования инвестиций (заем, лизинг, рассрочка) и требуемые гарантии возврата средств.

- сложившиеся условия труда и оплаты труда в регионе деятельности ЛЗП.

В настоящее время в различных регионах Российской Федерации существует довольно существенная разница в ценах на древесину, в размере заработной платы и арендных ставок, поэтому Бизнес-план должен быть «привязан» к конкретному региону деятельности ЛЗП. Целью любого Бизнес-плана является расчет сроков выхода на «точку безубыточности», когда предприятие начинает работать с прибылью, а также расчет сроков окупаемости инвестиций.

Анализ работы различных небольших лесозаготовительных предприятий показывает, что при умелой организации работы, существующих ставках по кредитам и лизинговым платежам, а также в зависимости от марки и цены комплекса харвестер-форвардер – окупаемость подобных инвестиций составляет от 3,5 до 5 лет.

Если ЛЗП обеспечивается заготовка и вывозка древесины на уровне 45 тысяч кубометров древесины в год (с учетом простоя на распутицу около 3 месяцев), как правило, могут быть достигнуты следующие экономические показатели:

- переменные затраты (прямые издержки – материалы, комплектующие, сдельная заработная плата с взносами) -35-37% (от объема реализации без НДС);

- постоянные затраты (накладные расходы, в т.ч. на техническое обслуживание и инструмент, зарплату вспомогательного и административного персонала с учетом обязательных взносов и накладных расходов) - 23-25%;

- арендные платежи (лизинговые платежи за оборудование либо проценты по кредиту и амортизация оборудования, а также аренда дополнительной техники для перевозки) - 24-26%;

- ориентировочная прибыль может составлять - 12-18%.

При этом, точка безубыточности, которая всегда зависит от экономических показателей и размера инвестиций, может составить от 30 до 36 тыс. м³ древесины в год.

Выводы.

При реализации подобного проекта ЛЗП сможет, как увеличить свой объем заготовки древесины, так и значительно повысить эффективность своей деятельности путем использования высокопроизводительного оборудования и оптимально выстроенной технологии лесозаготовки. С учетом большой конкуренции на рынке лесозаготовки, в настоящее время и в ближайшем будущем, смогут выжить только высокоэффективные мобильные и гибкие предприятия.

ФИО	Сидоренков Николай Владимирович
Организация	ЗАО «Подъемные машины»
Адрес организации	182112, ул.Корниенко, 8, г. Великие Луки, Псковская обл., Россия
SPIN-код	2029-6655
e-mail	snv@mashine.ru
ФИО	Мартынов Борис Григорьевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lesbisnes@mail.ru
ФИО	Борозна Анатолий Алексеевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3705-7499
e-mail	3349280@mail.ru

Аннотация

Целью наших исследований является возможность увеличения освоения расчетной лесосеки путем повышения эффективности деятельности лесозаготовительных предприятий

По данным статистики в 2016 году лесозаготовка в Российской Федерации велась на площади 171 млн га, ею занимались порядка 9 тыс. предприятий. В структуре рынка арендных отношений 17 % составляют

договора с объемом заготовки более 500 тыс. м³; 34 % – от 100 до 500 тыс. м³; 30 % – от 20 до 100 тыс. м³ и 19 % – менее 20 тыс. м³.

В данной статье мы рассмотрим возможности эффективной работы именно малых лесозаготовительных предприятий (ЛЗП).

В статье определены причины низкой эффективности работы малых ЛЗП.

Совершенно очевидно, что для обеспечения высокоэффективной технологии работы должны быть созданы условия и инфраструктура. Поэтому для любого ЛЗП необходимо помимо основного технологического оборудования (харвестер, форвардер, сортиментовоз) требуется оборудование вспомогательное, предназначенное для заправки топливом и горюче-смазочными материалами (ГСМ), для проведения необходимого ремонта и технического обслуживания, для заточки пильных инструментов, для хранения материалов, топлива, ГСМ, для обеспечения электроэнергией процессов жизнедеятельности, для проживания и передвижения людей, для доставки материалов.

В статье приведено необходимый комплект оборудования и людских ресурсов, при которых малое ЛЗП может иметь прибыль от 12 до 18 % при заготовке древесины в объеме 45 тыс. куб.м в год.

Ключевые слова. Оборудование, лесозаготовительное, предприятие, организация, работа

УДК 630.96

Разделы ГРНТИ: 68.47.75: Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование в лесном хозяйстве

Система сертификации как модель повышения качества машиностроительного производства

Парфенопуло Г.К.

Введение. В данной статье произведен анализ требований в области сертификации систем качества машиностроительного производства.

Одним из важнейших условий роста эффективности машиностроительного производства, на сегодняшний день, является внедрение конкурентоспособной продукции.

Главной составляющей конкурентоспособности является качество. Оно обеспечивает интеграцию стратегических целей организации и гарантированное получение запланированных результатов за счет использования системного менеджмента качества, ориентированного на удовлетворение всех заинтересованных сторон. [1]

Цели и задачи. Требования машиностроительного рынка и нормативные требования должно соответствовать сертифицированной системе качества, которая свидетельствует о том, что все процессы в производстве взаимодействуют отлажено, т. к. система качества затрагивает вопросы управления во всей организации. С каждым годом количество производств, внедряющих данную систему в России только растет, так как многие современные проблемы предприятий не могут найти эффективного решения с помощью используемых в настоящее время технических методов. [2]

Методика исследования. Решение данных проблем может зависеть только от условия повышения качества выпускаемой продукции.

Как пример, можно привести то, что крупные предприятия России устанавливают для своих поставщиков жесткие условия сотрудничества, т. е. внедрение системы менеджмента качества соответствующей стандартам ISO 9001 и техническим условиям отраслевых стандартов.

Внедрение в производство сертифицированной системе качества служит толчком для налаживания работы производства, так как при подготовке к ней вся деятельность предприятия, на всех уровнях, пересматривается и определяются цели предприятия не только в области качества, но и в целом. [3]

Подтверждение предприятием соответствия системе качества означает ее готовность, в дальнейшем, выполнять требования стандартов ISO 9001, которые позволяют соответствовать международным требованиям, предъявляемым к качеству.

Подтверждением функционирования системы качества на производстве является наличие у компании сертификата, который выдается независимым компетентным органом, и является свидетельством целенаправленного стремления к непрерывному улучшению качества машиностроительной продукции.

В связи с этим, на основании анализа работы машиностроительных предприятий России можно говорить о предпосылках разработки такой

системы требований к машиностроительной продукции, которая охватывала бы все этапы ее жизненного цикла.

На стадии изготовления требуется не просто поддерживать показатели качества и обеспечивать надежность объектов, но и систематически проводить научные прикладные работы по совершенствованию технологий. Совершенствование и качество изделий, в значительной мере, зависит от инновационной деятельности на предприятии.

О высоких результатах реализации данной деятельности можно говорить если она выполняется в составе выработанной в данной работе, в ходе исследований машиностроительного рынка, схемы механизма работы управления системы качества, совместно с научными работами в области совершенствования технологий.



Рисунок 1. Механизм работы управления системы качества машиностроительного производства, связанный с научными работами в области совершенствования технологий

Заключения и выводы. В заключении, в данной работе, на основании анализа рынка машиностроительной продукции России за последние несколько лет, был сделан вывод о том, что в случае успешного внедрения в машиностроительное производство сертифицированной системы качества в совокупности с успешной реализацией разработанной схемы механизма, связанного с научными работами в области совершенствования технологий предприятие получит ряд преимуществ:

- повышение эффективности системы управления предприятием;
- сокращение расходов на управление;

- улучшение качества продукции и работ;
- вовлечение персонала в работу по качеству, повышение уровня мотивации и исполнительской дисциплины работников.

Библиографический список

1. *Каблашова И.В.* Теория и методы обеспечения качества процессов производства: монография / И.В. Каблашова. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун.-т, 2005. 174с.
2. *Базаров Т.Ю.* Управление персоналом / Т.Ю. Базаров, Б.Л. Еремин. – М.: ЮНИТИ, 2000. – 423 с.
3. *Соколова В.А., Марков В.А., Парфенопуло Г.К., Черных Л.Г.* Исследование способов подготовки поверхностей деталей под покрытие напылением / Материалы первой международной научно-практической конференции «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация». СПб, СПбФ НИЦ МС, 2018 г.-237 с., с. 104-106

Сведения об авторах

ФИО	Парфенопуло Георгий Константинович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1848-9386
e-mail	parfenon73@mail.ru

Аннотация

Возрастающая на машиностроительном рынке конкуренция приводит к ужесточению требований, которые потребитель и заказчик предъявляют к качеству продукции и услуг. Обычно требования потребителей (заказчиков) устанавливаются в технических заданиях на разработку машиностроительной продукции и реализуются в нормативной документации (технических условиях, стандартах предприятия) на серийно выпускаемую продукцию. Однако само по себе это нормирование не может быть надежной гарантией того, что требования потребителя (заказчика) будут действительно удовлетворены, поскольку организационно-технический механизм (система) деятельности разработчика или товаропроизводителя может иметь существенные недостатки. В данной работе, сертификация систем качества описывается как гарантия высокой стабильности и устойчивости качества продукции. Так же доказывается, что наличие сертификата на систему качества необходимо для сохранения конкурентных преимуществ на машиностроительном рынке. Наличие подобного сертификата, выданного авторитетным органом, становится

за рубежом одним из обязательных элементов общей системы менеджмента фирмы.

Ключевые слова: сертификация, системы качества, машиностроение, управление качеством и международные стандарты.

УДК 531.534

Разделы рубрикатора ГРНТИ 90.01.05 «Общие вопросы метрологии»

Современные проблемы метрологии и пути их решения

Парфенопуло Г.К., Соколова В.А., Теппоев А.В., Марков В.А.

Введение.

Состояние метрологии в России характеризуется рядом признаков. Находящаяся в рыночных условиях страна внесла свои неизбежные корректировки в инфраструктуру метрологии, которые привели к следующим последствиям:

-уменьшение количества метрологических служб;

-ликвидация базовых предприятий по метрологии, и, как следствие уменьшение поверочно-калибровочных работ, выполняемых данными предприятиями, сокращение численности специалистов, которое привело к резкому снижению эффективности государственного метрологического надзора.

Вследствие представленных выше причин, можно говорить о том, что «Закон Российской Федерации об обеспечении единства измерений» (1993 г.) начал претерпевать несоответствие новым производственным рыночным отношениям.

Цели и задачи.

После анализа современного положения метрологии в России можно выделить ее основные проблемы, которые включают в себя устаревание эталонной базы, отсутствие механизма прогнозирования потребностей общества в измерениях, недостаток квалифицированных кадров. Попробуем рассмотреть их более подробно.

Методика исследования. Наиболее критическое состояние отмечается у государственных первичных эталонов. Около половины из них (47 %) создано свыше 20-ти лет назад. Они морально и технически устарели. По ряду видов измерений калибровочные и измерительные возможности МНИИ РФ значительно отстают от возможностей зарубежных НМИ.

Установлено, что требования к точности измерений возрастают в 3-10 раз каждые 10-15 лет, поэтому национальные эталоны ведущих стран мира обновляются каждые 10-15 лет. Недостаток измерительных возможностей в стране служит препятствием на пути инноваций во многих сферах экономики, медицины, обороны, экологии. Практически во всех новых технологиях сдерживающим их развитие фактором служит отсутствие необходимых метрологических и технических решений, обеспечивающих требуемый уровень точности измерений [1,2].

Еще одной проблемой, с которой сталкивается современная метрология является невозможность прогнозирования потребности общества в измерениях [3].

Умение прогнозировать потребности общества в измерениях является необходимым условием для качественного обеспечения системы единства измерений. В наиболее развитой области развития государства-экономике,

необходимо формировать информацию об объектах и методах измерений завтрашнего дня. Для решения данной проблемы необходимо создавать новые мониторинги, анализы трендов, изучать и формировать на основе потребностей общества развитие ОЕИ. Это чрезвычайно сложная задача, которая требует соответствующего обеспечения, и, как следствие немалого вложения государственных средств.

Отсутствие сегодня механизма прогнозирования потребностей в измерениях сдерживает развитие приборостроения, машиностроения и других отраслей промышленности со всеми вытекающими последствиями [4].

Результаты и обсуждение исследований. Две существенные проблемы современной метрологии, как следствие, порождают недостаток квалифицированных кадров. В настоящее время в России насчитывается около 120 тысяч метрологов. Такая сравнительно-небольшая численность специалистов обусловлена отсутствием качественного роста уровня профессиональной подготовки специалистов в области метрологии. Метрологическим специальностям ежегодно обучается в 4-5 раз меньше специалистов, чем это требуется Российской экономике.

Так же, чрезвычайно важным для нашей страны является развитие поверочного дела. Поверочное дело необходимо для восстановления и сбережения энергоресурсов (нефти, газа, леса и т.д.). Эту отрасль метрологии так же необходимо развивать, наравне с основными ее проблемами.

Заключение и выводы. Анализируя поставленные перед современной метрологией проблемы можно попробовать сформулировать способы их устранения, которые бы помогли вывести на новый, более совершенный уровень, описываемую, в данной работе науку. На наш взгляд необходимо усовершенствовать систему нормативно-технических документов, провести реформу образования в области метрологии, так же реформу государственного метрологического надзора, произвести совершенствование стандартов на методы контроля и испытаний, которые не соответствуют требованию обеспечения единства измерений, и, наконец, создать усовершенствованную систему аккредитации измерительных лабораторий.

Библиографический список

1. Любимов Л.И., Форсилова И.Д. Поверка средств электрических измерений: Справочная книга // Под ред. Т.Б. Рождественской. – Л.: Энергия. Ленингр. отделение, 1979. – 192 с. 5.
2. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2017 года 737-с.
4. Стратегия обеспечения единства измерений в России до 2015 года 1 Общие положения 1.1.
5. Соколова В.А., Кретинин В.И., Войнаш С.А., Черных Л.Г., Марков В.А. История развития метрологии. От Нартова к Менделееву. Новые материалы и технологии в машиностроении. 2017. № 25. С. 3-9.

Сведения об авторах

ФИО	Парфенопуло Г.К.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1848-9386
e-mail	parfenon73@mail.ru
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Тепноев А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4451-4059
e-mail	avt01@inbox.ru
ФИО	Марков В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1503-7932
e-mail	mactor85@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются основные проблемы в области метрологии и обеспечения единства измерений. На основе анализа вопроса проведена попытка поиска решения раскрытых проблем.

Ключевые слова: метрология, измерения, кадры, поверочное дело.

УДК 006.91,006.3/.8006.91, 006.3/.8 **Разделы рубрикатора ГРНТИ** 90.03.03

Личностные особенности студентов ВУЗа лесного профиля

Теппоев А.В., Хитров Е.Г., Сафонова Н.Ю.

Введение:

Необходимость комплексного подхода к процессу обучения в высших учебных заведениях привело к формированию в настоящее время личностно-ориентированной парадигмы образования. Реализация данного подхода позволит учитывать индивидуальные особенности обучающихся при составлении учебных планов, что будет способствовать становлению конкурентоспособного будущего специалиста.

Цели и задачи.

Целью исследования было выявление психоэмоциональных и когнитивных различий между группами обучающихся студентов двух разных факультетов. Было обследовано 30 студентов, учащихся на лесоинженерном факультете СПб ГЛТУ в возрасте от 17 до 20 года, средний возраст составил $19,1 \pm 6,7$. По половому составу эта группа была представлена 13 студентками и 17 студентами. Во вторую группу, включающую 30 студентов, экономического факультета СПб ГЛТУ вошли 18 студенток и 12 студентов в возрасте от 17 до 18 лет, средний возраст составил $17,4 \text{ года} \pm 0,4$.

Методика исследования.

В соответствии с поставленными задачами в ходе обследования испытуемым было предложено заполнить ряд опросников: тест Кеттелла, САН, опросник тревожности. Затем полученные данные занесены в базу данных и впоследствии оценены с помощью программы статистической обработки STATISTICA 6.0.

Результаты и обсуждение исследований.

Тест Кеттелла достоверных различий в изучаемых группах не выявил. Однако, была отмечена некоторая тенденция к недостоверным различиям по факторам А, N, O, Q1, Q2. Наглядно различия представлены на следующей диаграмме.

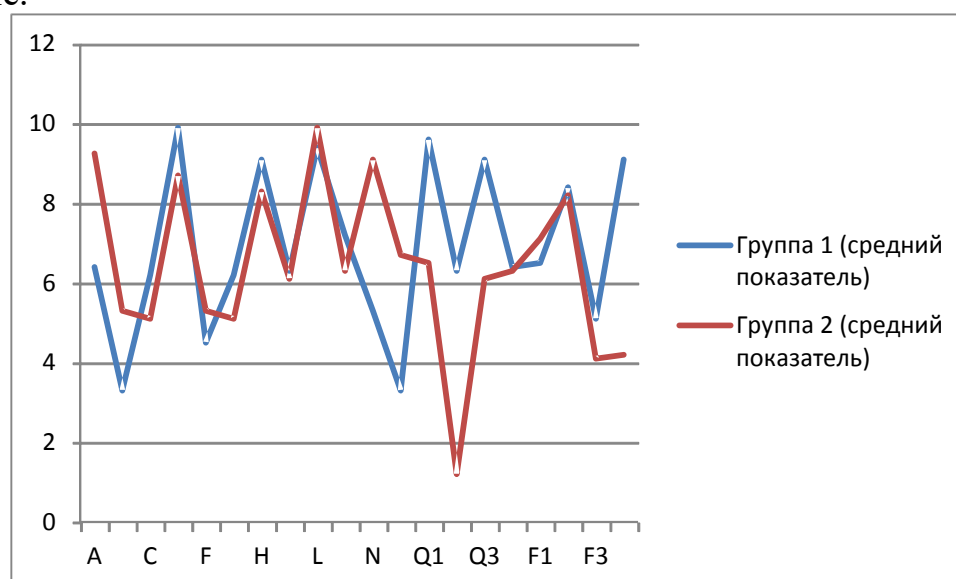


Рис.1. Показатели теста Кеттелла

Фактор «А» (ориентирован на определение степени общительности человека в группе) в группе 1 стремился в сторону «шизотимии» т.е. у студентов группы 1 (технические специальности) были более выраженными такие качества характера, как: скрытность, обособленность, критичность, непреклонность, необщительность, замкнутость, безучастность, отчужденность, точность, объективность, недоверчивость, скептичность, холодность.

Фактор N характеризует отношение к другим людям. У экономистов были более выражены такие качества, как проницательность, понимание людей и их поступков. Т.е., эти студенты, вероятно, обладали большим социальным интеллектом. В конфликтных ситуациях люди с такими личностными особенностями стремятся избегать «острых углов», ищут компромиссные решения. В то же время насторожены, внутренне напряжены и могут испытывать тревогу во взаимоотношениях с людьми. Нередко с предубеждением оценивают людей.

Фактор «О» отражает уровень тревожности. Более высокий уровень тревожности присутствовал у студентов-экономистов. Также для таких личностей характерна большая чувствительность к критике, большая ранимость, впечатлительность.

Фактор «Q1» отражает особенности мышления. Для студентов первой группы характерна большая гибкость мышления, склонность к анализу, более легкое проникновение в смысл проблемной ситуации. Лица с такими показателями более быстро просчитывают возможные варианты решения и находят оптимальное. Склонны экспериментировать с предметами, идеями. В решениях ориентируется на новые подходы, не боятся ошибок и просчетов.

Фактор «Q2» в некоторой степени отражает лидерский потенциал личности. По полученным данным, среди студентов экономического факультета преобладали личности с более низким лидерским потенциалом. Обычно люди с такими особенностями не стремятся занять лидирующее положение среди окружающих или в группе, так как предпочитают подчиняться. Они более легко соглашаются с мнением других, быстро меняют собственную точку зрения. Склонны избегать ситуаций, требующих собственной ответственности за принятие решения. Испытывают напряжение при необходимости самостоятельно преодолевать препятствия на пути к достижению цели.

Фактор «F4» зависимость (конформности) личности, а также уровень тревожности. Данные показатель более выражен у экономистов.

Тест уровня тревожности (Ч.Д. Спилберг, Ю.Л. Ханин) является надежным и информативным способом самооценки уровня тревожности в данный момент (реактивная тревожность как состояние) и личностной тревожности (как устойчивая характеристика человека).

Личностная тревожность характеризует устойчивую склонность воспринимать большой круг ситуаций как угрожающие, реагировать на такие ситуации состоянием тревоги. Реактивная тревожность характеризуется напряжением, беспокойством, нервозностью. Очень высокая реактивная тревожность вызывает нарушения внимания, иногда нарушение тонкой

координации. Очень высокая личностная тревожность прямо коррелирует с наличием невротического конфликта, с эмоциональными и невротическими срывами и с психосоматическими заболеваниями.

Но тревожность не является изначально негативной чертой. Определенный уровень тревожности — естественная и обязательная особенность активной личности. При этом существует оптимальный индивидуальный уровень «полезной тревоги».

В ходе исследования выявлено, что у студентов первой группы отмечается более низкий уровень личностной тревожности ($26,4 \pm 1,3$ балла), а вторая группа была имела более выраженные показатели уровня тревожности ($43,2 \pm 2,12$ балл).

Более подробное распределение показателей выраженности личностной тревожности в группах представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Уровни личностной тревожности

Ориентированные оценки личностной тревожности	Группа 1	Группа 2	Критерий Фишера F_i	Достоверность различий p
Низкая	17	1	4,5*	0,0
Умеренная	11	20	2,3*	0,021
Высокая	3	9	1,78	0,07

Таким, образом, получены достоверные различия в исследуемых группах по количеству людей с низким и умеренным уровнем тревожности. Наглядно распределение по группам представлено на рис. 2.

Опросник САН в двух группах был представлен следующим образом: все вопросы, представленные в данном тесте, сгруппированы по 3 темам: самочувствие; активность, настроение

У студентов первой и второй группы не было отмечено достоверных различий по показателям данного опросника.

Подробно данные САН представлены в таблице 2 и рис. 3.

Таблица 2.

Интерпретация опросника САН

	Группа 1	Группа 2	Критерий Фишера F_i	Достоверность различий p
Самочувствие	5,6	5,4	0	1,0
Активность	5,1	5,3	0	1,0
Настроение	5,2	5,1	0	1,0

В целом, у представителей обеих групп данные показатели данного опросника на хорошей среднестатистической норме.

В результате обработки данных методики «Дифференциально-диагностический опросник» (ДДО) полученные следующие показатели:

В первой группе выбор «человек-природа» преобладал только у 1 испытуемого из 30, также у одного исследуемого преобладал тип профессий «человек-художественный образ». У 24 студентов максимальное количество баллов было зафиксировано в типе «человек-техника», и у оставшихся четырех - «человек-знак».

У представителей группы с экономического факультета расклад полученных данных обследования по методике ДДО был несколько иным.

В этой группе преобладал тип «человек-знак» (19 студентов), затем по распространённости следовал тип «человек-человек» (9 испытуемых), и по одному случаю – зафиксировано преобладание профессии типа «человек-техника» и «человек-художественный образ»

Вышеописанные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Распределение типов профессий в группах

Тип профессии	1 группа	2 группа	Критерий Фишера F_i	Достоверность различий p
«человек-природа»	1	0	2,0*	0,01
«человек-техника»	24	1	5,3*	0,0
«человек-человек»	0	9	233*	0,02
«человек-знак»	4	19	2,3*	0,02
«человек-художественный образ»	1	1	2,3	0,10

Таким образом, в первой группе преобладающий тип профессионального выбора был «человек-техника», а во второй группе - «человек-знак». Обращает внимание, что вторая группа исследуемых была более разнородной по своему выбору.

Заключение и выводы.

Полученные данные свидетельствуют, что у студентов технического факультета и студентов-экономистов выявлен ряд личностных особенностей.

В ходе исследования гипотеза получила частичное подтверждение.

1. Студенты, обучающиеся на экономическом факультете, имеют более выраженный уровень тревоги.

2. Показатели самочувствия, настроения и активности по результатам теста САН у представителей обеих групп существенно не различались и были на среднестатистическом уровне.

3. Достоверных различий в изучаемых группах по результатам опросника Кеттелла не обнаружено. Однако, есть некоторая тенденция к недостоверным различиям по факторам А (шизотимия), N (отношение к людям), О (тревожность), Q1 (особенности мышления), Q2 (лидерский потенциал)

4. Получены достоверные различия по методике «Дифференциально-диагностический опросник». В группе студентов технической специальности преобладающим типом профессии был «человек-техника», а во второй (экономисты) – «человек-знак» и «человек-человек».

Библиографический список

1. *Климов Е.А.* Психология профессионального самоопределения. Academia/-2010./-2010.-304 с.
2. *Акимова М. К.* Психологическая диагностика: Учебник для вузов/ М. К. Акимова. - СПб: Питер, 2005. - 652 с.
3. *Викторова И.Г.* Личностные и индивидуальные особенности студентов, осваивающих различные образовательные программы: дис. канд. психол. наук / И.Г. Викторова. СПб., 2003 .- 169с.

Сведения об авторах

ФИО	Теппоев А.В
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4451-4059
e-mail	avt01@inbox.ru
ФИО	Хитров Е.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4663-5944
e-mail	yegorkhitrov@gmail.com
ФИО	Сафонова Н.Ю.
Организация	Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт им. В.М. Бехтерева
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9233-4754
e-mail	astarta10@yandex.ru

Аннотация

В данной статье были проанализированы личностные особенности студентов различных направлений подготовки.

Ключевые слова: личностные особенности, инженерная психология.

УДК 159.9.072

Разделы рубрикатора ГРНТИ 15.81.29; 15.81.31

Оптимизация состава дорожно-строительного комплекса методом динамического программирования

Тюрин Н.А., Мохамед Ахмед Халед, Потапов Е.М.

Введение.

В сложных природно-производственных условиях лесного дорожного строительства научное обоснование методов организации дорожно-строительных работ и выбор дорожных машин для работы в различных природно-производственных условиях окажут существенное влияние на эффективность работы лесозаготовительных компаний.

Любой дорожно-строительный процесс можно выполнить строительными машинами, имеющими большое число разнообразных типов и типоразмеров. Из них можно сформировать еще большее число комплексов машин. Так, например, если строительный процесс включает пять операций, а каждая из операций может быть выполнена четырьмя различными машинами, то число различных комплексов машин для выполнения заданного строительного процесса составит $N = 4^5 = 1024$ варианта. В результате возникает проблема решения такого рода задач. Ниже излагается соответствующая методика определения оптимального комплекса дорожных машин на этапе разработки проекта производства работ.

Цели и задачи.

Пусть задан некоторый строительный процесс, например, строительство земляного полотна лесовозной дороги. Этот процесс включает ряд последовательных операций: разработку грунта, транспортирование, разравнивание и уплотнение грунта. Эти технологические операции могут быть выполнены соответствующими машинами, имеющимися в строительной организации: например, экскаваторами (Э1), автосамосвалами (С1), бульдозерами (Б1, Б2, Б3), катками (К1, К2), автогрейдерами (А1, А2). Известны затраты на выполнение каждой операции каждой машиной. Поскольку при выполнении смежных операций машины влияют друг на друга (конструктивно, технологически), то и затраты на выполнение операций могут быть различными.

Требуется определить такой комплекс машин, который обеспечит выполнение всего технологического процесса с минимальными затратами.

Методика исследования и анализ результатов.

Для наглядности все возможные комплексы машин для строительства земполотна представим в виде сетевого графа (рис.1).

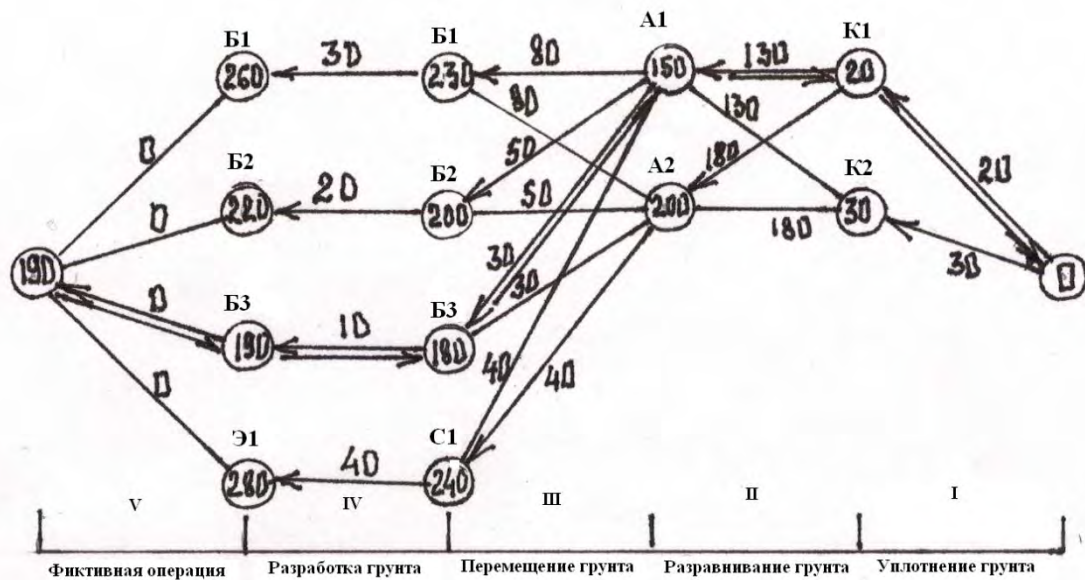


Рис 1. Сетевой граф возможных комплексов дорожных машин строительной организации

Введем обозначения. Индексом k обозначим номер выполняемой операции, индексами i и j – предшествующую и последующую машину в оптимизируемом комплексе. Возможна ситуация, когда машина может выполнять несколько операций, как в нашем случае. Например, бульдозер выполняет две операции: разработку грунта и его перемещение.

Операция, выполняемая той или иной машиной, обозначается в виде ребра графа, над которым указана величина затрат $C(k, i, j)$ на выполнение k -й операции i -ой машиной после выполнения $(k - 1)$ -й операции j -й машиной. Машина, выполняющая ту или иную операцию, представляется в виде узла графа. Узел также означает завершение одной или нескольких операций и начало выполнения другой операции. Начальный и конечный узлы сетевого графа представляют собой фиктивные машины, обозначающие начало (слева) и окончание (справа) всего комплексного процесса дорожных работ возведения земляного полотна. Если при выполнении какой-то операции машина не может по конструктивным, технологическим или каким-то другим причинам работать с предшествующей, то соответствующее ребро на сетевом графе отсутствует. В нашей задаче бульдозеры Б1, Б2, и Б3 не могут перемещать грунт, разработанный в карьере экскаватором Э1.

Представление всех возможных комплексов машин в виде сетевого графа обеспечивает наглядность и простоту формирования допустимого множества комплексов машин и позволяет использовать для оптимизации комплекса метод динамического программирования Беллмана[1].

Задача оптимизации математической модели динамического программирования формируется как конечный многошаговый процесс управления на каждом шаге, начиная с последнего, ведущего от предпоследнего состояния системы к заданному конечному. На каждом шаге анализируются только два соседних состояния и выбирается условно

оптимальное управление, обеспечивающего достижения оптимального значения критерия, при условии реализации этого управления

$$F_k(i) = \min\{C_{kij} + F_{k-1}(j)\} \quad (1)$$

где $F_k(i)$ - минимальные суммарные затраты при выполнении частичного технологического процесса, включающего все последующие операции, начиная с k - й операции и с i - й машины до конца технологического процесса;

$F_{k-1}(j)$ - минимальные суммарные затраты при выполнении частичного технологического процесса, включающего все операции, следующие за k - й операцией с j – й машины до конца процесса.

Поскольку оптимизация осуществляется с конца процесса для первого шага управления ($k=1$) функция Беллмана представляет собой минимальные затраты только на уплотнение грунта катком К1 или К2. При этом мы находим условно оптимальное управление, например, пусть это будет каток К1. Затраты в этом случае составят 20 ед. Проставляем это значение в узле графа и указываем к нему стрелку. Предположим далее, что условно оптимальное управление предполагает выбор катка К2. Затраты при этом составят 30 ед. Проставляем их в узле графа К2 и указываем к нему стрелку.

На каждом последующем шаге для вычисления функции Беллмана необходимо использовать результаты предыдущего шага. Каждая сумма равна минимальным суммарным затратам в узле, из которого выходит стрелка, и затратам на операцию, соответствующую стрелке, входящей в рассматриваемый узел. Например, приступаем к условно оптимальному выбору машин для технологического процесса разравнивания грунта ($k=2$). Затраты здесь уже складываются из двух слагаемых - из затрат собственно на данном шаге (разравнивание) и затрат на всех последующих шагах до окончания всего процесса (уплотнение). В соответствии с функциональным уравнением Беллмана (1) выбираем решение с минимальными затратами. При условии выбора автогрейдера А1 и катка К1 на предыдущем шаге суммарные затраты составят $130+20=150$, а если на предыдущем шаге был выбран каток К2, то затраты составят $130+30=160$. Выбираем минимальное 150, проставляем это значение в узел А1 и указываем к нему стрелку на ребре К1А1. Аналогично для условно оптимального управления выбора автогрейдера А2 и условия выбора катка К1 на первом шаге имеем $180+20=200$, при условии выбора катка К2 имеем $180+30=210$. Минимальное значение затрат 200 ед. проставляем в узел А2, а на ребре А2К1 показываем стрелку условно оптимального решения.

Продолжая процесс аналогичным образом, приходим в точку начала технологического процесса. Результаты расчета для всех остальных узлов представлены на рис. 1. В результате получим граф условно оптимальных переходов, который для нахождения окончательного оптимального решения необходимо просмотреть в обратном порядке от начала технологического процесса к концу (двойная стрелка). Минимально возможные суммарные затраты выбранного комплекса дорожных машин составят 190 ед. и соответствуют следующему окончательному оптимальному пути на графе: Б3-Б3-А1-К1.

Таким образом, в соответствии с решением оптимальный комплект дорожно-строительных машин для возведения земляного полотна состоит из бульдозера БЗ на разработке и транспортировке грунта, автогрейдера А1 на разравнивании и катка К1 на уплотнении.

Анализируя эффективность выполнения всего строительного процесса, можно заметить, что другой, ближайший к оптимальному вариант комплектации с ведущей машиной бульдозер Б2 приведет к затратам 220 ед.

Выводы. В статье представлена универсальная методика и алгоритм оптимизации комплекса дорожно-строительных машин методом динамического программирования в сетевой постановке. Весь процесс расчета локально-оптимальных решений для частичных технологических процессов ведется от конца технологического процесса к началу и только в конце расчета можно определить минимальные суммарные затраты на весь технологический процесс и соответствующий комплекс машин. Методика может быть рекомендована к применению на этапе разработки проекта производства работ дорожно-строительной организации.

Библиографический список

1. Беллман Р. Е., Дрейфус С.Е. Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука, 1965. 458с.

Сведения об авторах

ФИО	Тюрин Н.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8998-5234
e-mail	tnalif@mail.ru

ФИО	Мохамед Ахмед Халед.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4521-3185
e-mail	ahmedkhaled_egy@hotmail.com
ФИО	Потапов Егор Михайлович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4641-3386
e-mail	egor_potapov94@mail.ru

Аннотация

Предложена методика оптимизации состава комплекта дорожно-строительных машин методом динамического программирования в сетевой постановке. Методика является достаточно универсальной и может быть использована на этапе создания проектов производства работ дорожно-строительной организации.

Ключевые слова: метод динамического программирования, оптимизация комплекта дорожных машин, рекуррентное уравнение, граф.

УДК 625.7Разделы рубрикатора ГРНТИ 67.17.23. Машины, механизмы и оборудование для строительства дорог.

Влияние технологических факторов на процесс деформирования древесины

Хрусталева И.В.

Введение.

Процесс прокатки круглых тонкомерных сортиментов в бруски прямоугольного сечения является одним из видов безотходной технологии переработки лесоматериалов.

В отличие от традиционного метода прокатки металлов путем принудительного затягивания заготовки в зону деформирования приводными валками, прокатка древесины происходит несколько иначе.

Цели и задачи.

На получение изделий из древесины с определенными физико-механическими характеристиками при прокатке оказывает влияние ряд факторов.

Большое значение при получении готового изделия требуемых геометрических размеров имеет исходная влажность заготовки.

С увеличением влажности возрастает упругость древесины. При высокой влажности после деформации может происходить полное восстановление древесины [1].

Это условие необходимо учитывать при проектировании установок для прокатки древесины.

Методика исследования

Для получения требуемого размера, древесину на входе можно деформировать с большой степенью сжатия. Это невозможно, т.к. материал будет испытывать большие напряжения и разрушаться, что недопустимо. Допускаемая степень уплотнения древесины сосны без разрушения структуры волокон порядка 30% [1].

Для предотвращения разрушения структуры, можно проводить деформацию несколько раз.

При высокой влажности заготовки увеличивается длина линии контакта валка и заготовки. Увеличивается длина контакта на участке восстановления упругой деформации. Возрастает суммарная упругая сила, которая направлена против движения древесины, а осевая сила уменьшается. Возрастает сила давления заготовки на валок. После того как заготовка прошла валки и процесс вышел на установившийся режим прокатки, возможно, что заготовка будет самозатягиваться.

Математическая модель по расчету установки для прокатки древесины приводилась к безразмерному виду.

Определяющим геометрическим размером был принят параметр c – просвет между валками.

В этом случае:

$H = \frac{H_y}{c}$ - относительный размер заготовки;

H_y – размер заготовки;

$D = \frac{D_n}{c}$ – относительный диаметр валка, а D_n – диаметр валков.

На параметры режима прокатки силовые характеристики оказывают различное влияние.

При увеличении степени деформации нормальное усилие P и составляющие осевой силы T , сила трения $T_{тр}$, сила возникающая от упругой деформации $T_{упр}$ возрастают.

Эти зависимости нелинейные, с увеличивающейся крутизной.

Сила сдавливания P изменяется мало при влажности 15-22%. При влажности 10% усилия отличаются почти в два раза.

Осевая сила T , сила трения $T_{тр}$ и сила упругости $T_{упр}$ при влажности 20% и для диаметра $D = 3$ примерно одинаковы по значениям. При $D = 6$ значение T уменьшается в полтора раза. Сила упругости $T_{упр}$ уменьшается почти вдвое, а сила трения возрастает [2].

Результаты и обсуждение исследований.

На рис.1 и 2 показаны графики зависимости сил от диаметров валков.

Из графиков видно что, если осевая сила T уменьшается в зависимости от диаметра валка (рис.1) , то суммарная сила может вести себя по-разному (рис. 2)

На рис.2: $T_{общ} = T + T_{тр}$, а $T_{max} = T_{общ} + T_{упр}$

Для большинства значений степени деформирования уменьшение общей или суммарной силы связано со снижением значений T . В это же время начинают возрастать и преобладать другие составляющие, прежде всего сила трения $T_{тр}$.

Исходя из графиков на рис.2 можно рекомендовать с целью уменьшения осевых сил, уменьшения габаритов установки выбирать диаметры валков в диапазоне 2,5...3,5 от просвета в проходном сечении клетки или от требуемого размера изделия.

Заключение и выводы.

На величины суммарной осевой силы $T_{общ}$, сил упругости и трения значительное влияние оказывают такие факторы, как относительная степень деформации H , влажность и относительный диаметр D . При изменении H

в диапазоне от 1,1 до 1,4 величина суммарной осевой силы при влажности 10% возрастает примерно в два раза, а при влажности 20 % примерно на 30%. При увеличении D эта зависимость усиливается.

С целью уменьшения осевых сил и габаритов и энергоемкости подающего механизма рекомендуются рациональные диаметры валков в диапазоне (2,5...3,5) с.

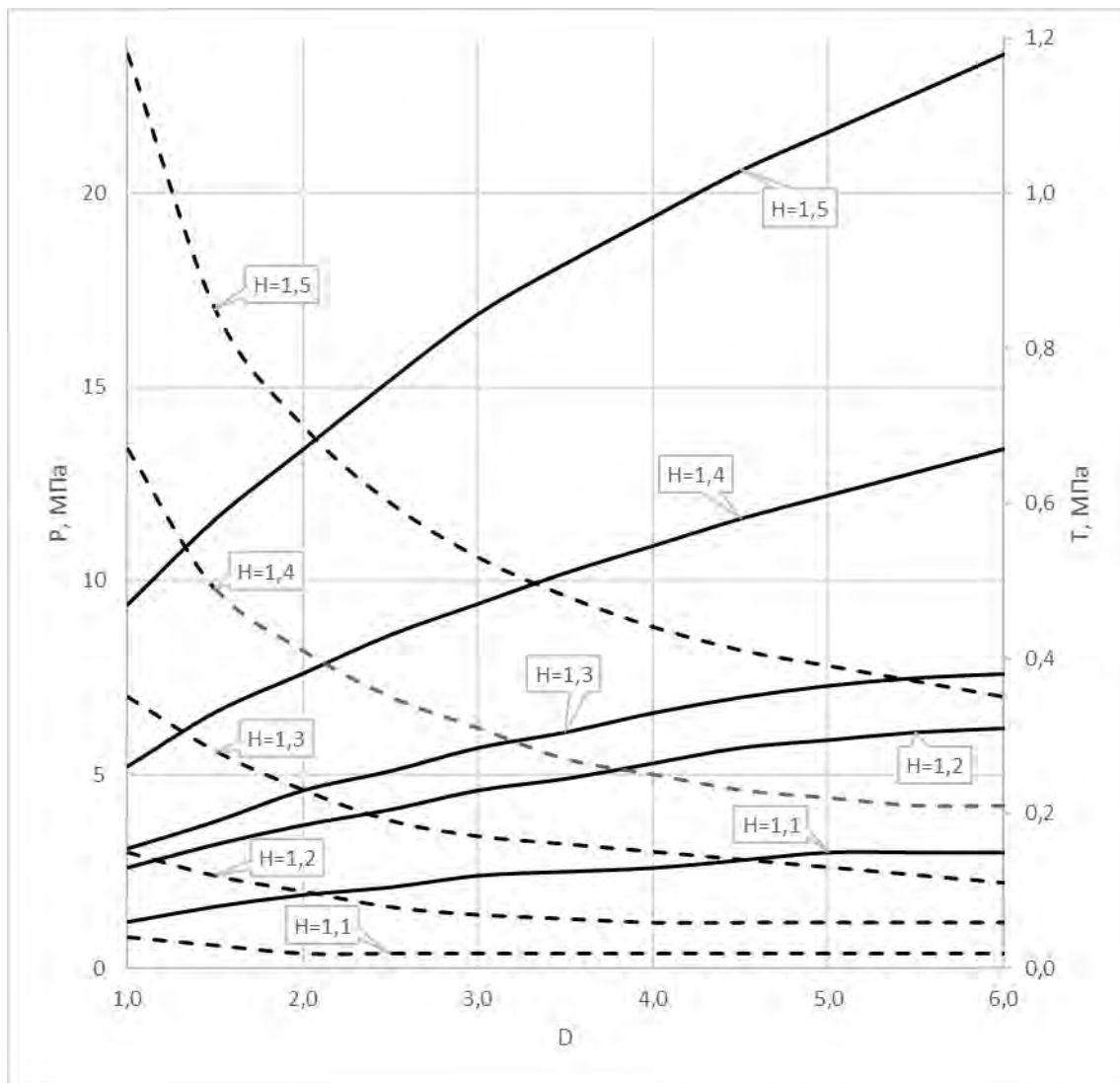


Рис.1. Расчетные зависимости осевой силы T (графики показаны сплошной линией —) и силы сдвливания P (графики показаны пунктиром - - -) от диаметра валков D .

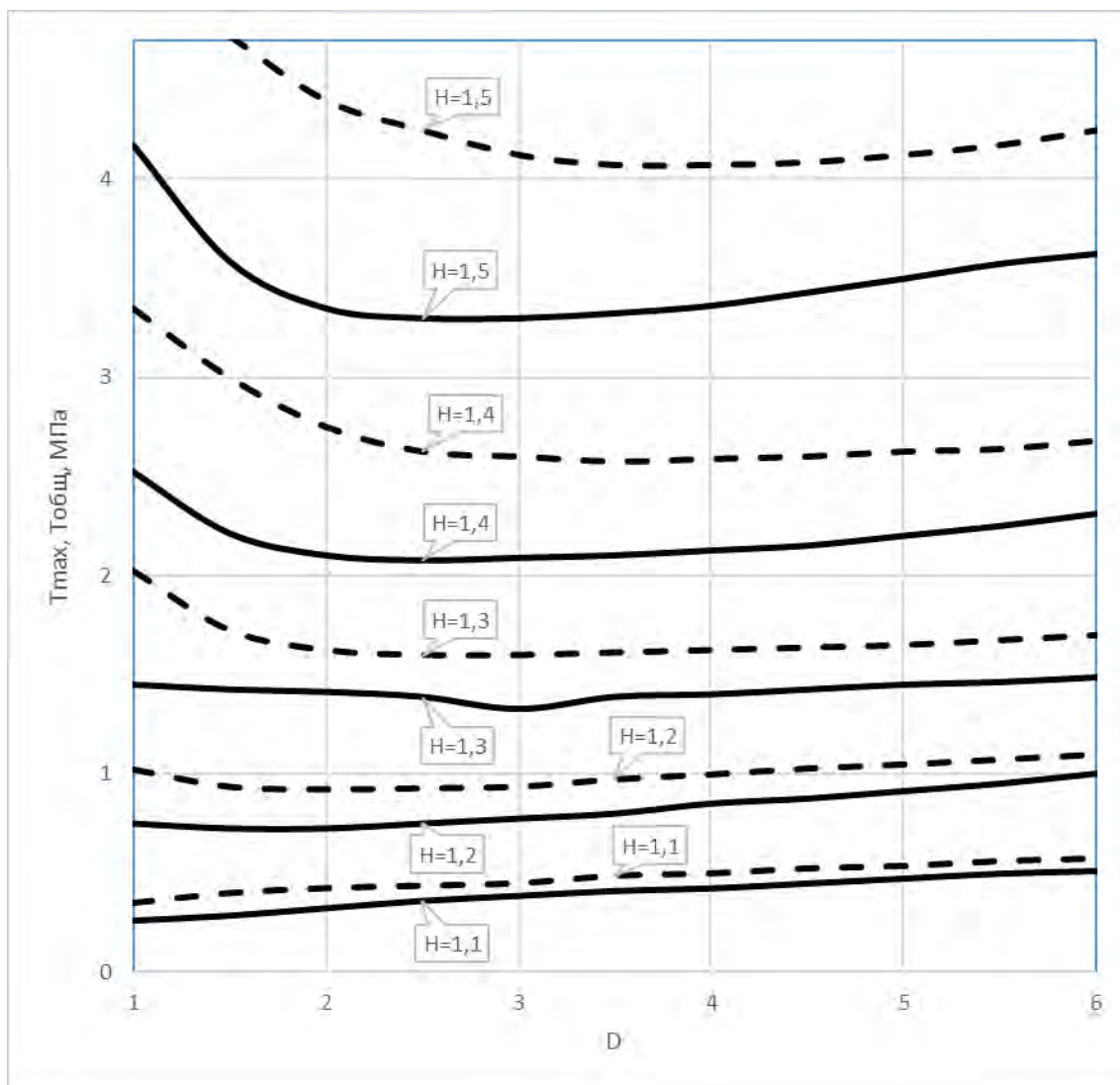


Рис.2. Расчетная зависимость суммарной осевой силы от диаметра вала при прокатке квадратного сечения: $T_{обш}$ - —, T_{max} - - - - -

Библиографический список

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. - М.: Лесная промышленность, 1989. 294 с.
2. Хрусталева И.В. Обоснование параметров установки для прокатки сортиментов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб.: ЛТА, 1993. 158 с.

Сведения об авторе

ФИО	Хрусталева И.В.	
Организация	Санкт-Петербургский	государственный
	лесотехнический университет имени С.М. Кирова	
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия	
SPIN-код	8636-3860	
e-mail	innessachrustaliova@gmail.com	

Аннотация

Большое влияние на получение готового изделия требуемых геометрических размеров оказывает исходная влажность заготовки.

С увеличением влажности возрастает упругость древесины. Это условие необходимо учитывать при проектировании установок для прокатки древесины.

На параметры режима прокатки силовые характеристики оказывают различное влияние.

При увеличении степени деформации нормальное усилие P и составляющие осевой силы T , сила трения $T_{тр}$, сила, возникающая от упругой деформации $T_{упр}$ возрастают.

Эти зависимости нелинейные, с увеличивающейся крутизной.

Сила сдавливания P изменяется мало при влажности 15-22%. При влажности 10% усилия отличаются почти в два раза.

Осевая сила T , сила трения $T_{тр}$ и сила упругости $T_{упр}$ при влажности 20% и для диаметра $D = 3$ примерно одинаковы по значениям. При $D = 6$ значение T уменьшается в полтора раза. Сила упругости $T_{упр}$ уменьшается почти вдвое, а сила трения возрастает.

С целью уменьшения осевых сил и габаритов и энергоемкости подающего механизма рекомендуются рациональные диаметры валков в диапазоне (2,5...3,5)с.

Ключевые слова: древесина, прокатка, влажность, осевая сила, сила трения, нормальное усилие, сила упругости

УДК 621.771.065

Разделы рубрикатора ГРНТИ 53.43.13. «Технология и оборудование прокатного производства»

Анализ условия самозатягивания при прокатке древесины

Хрусталева И.В.

Введение.

Древесина имеет широкое применение в различных отраслях промышленности.

Перед использованием ее подвергают различным видам обработки для придания требуемой формы и улучшения физико-механических свойств.

Цели и задачи.

Улучшение свойств древесины является актуальным, так как на территории России в основном произрастают породы деревьев с не высокой твердостью. Например, твердость древесины сосны - составляет 2,5 единицы по Бринеллю; лиственницы – 1,8; осины – 1,8 /1/.

Для изменения свойств древесины используются различные способы /2/. Древесину сначала подвергают различной предварительной обработке, а потом уплотняют. В конечном результате получают заготовку с заданными свойствами и размерами. Одним из требований может быть изменение размеров без разрушения структуры древесины.

Методика исследования

Одним из видов уплотнения, наряду с прессованием, может быть прокатка древесины.

При прокатке древесины можно исходить из условия аналогичного прокатке металлов: движение заготовке придается вращающимися валками.

Тогда сила трения, возникающая между валками и заготовкой под действием нормальных усилий, будет затягивать материал заготовки в валки. Заготовка будет подвергаться деформации.

Условие самозатягивания выглядит следующим образом:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 < f$$

α_0 - угол входа заготовки,

f – коэффициент трения материала заготовки и валка.

Коэффициент трения между сталью и деревом равен 0,3 /3/.

В этом случае предельный угол входа заготовки $\alpha_{\text{пред.}} = 16,7^\circ$.

При прокатке из древесины будет выделяться влага и коэффициент трения значительно уменьшится. Условие самозатягивания будет выполняться если угол входа заготовки будет меньше предельного:

$$\alpha_0 < \alpha_{\text{пред.}}$$

Угол входа заготовки определяется из геометрических соотношений (рис.1):

$$\alpha_0 = \arccos \left(1 - \frac{H_y - c}{D_n} \right)$$

H_y – размер заготовки;

c – просвет между валками;

D_n – диаметр валков.

Математическая модель расчета установки для прокатки древесины была приведена к безразмерному виду.

Определяющим геометрическим размером был выбран размер c .

Тогда:

$H = \frac{H_y}{c}$ – относительный размер заготовки;

$D = \frac{D_n}{c}$ – относительный диаметр валка.

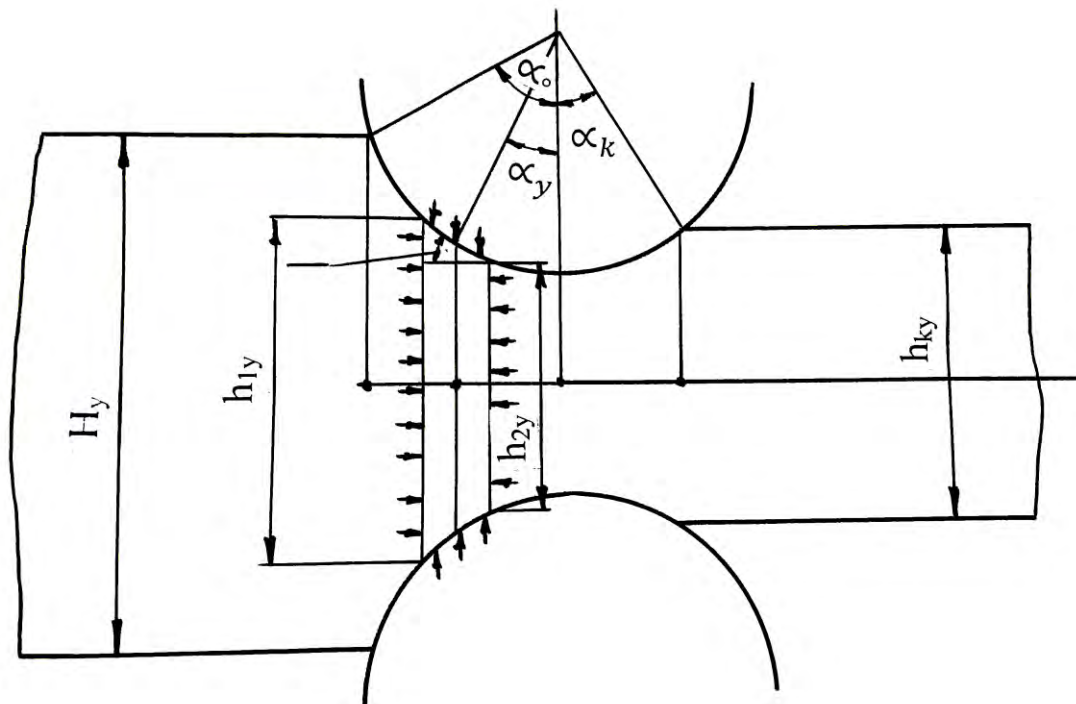


Рис.1. Схема прокатки древесины.

В безразмерном виде формула примет вид:

$$\alpha_0 = \arccos\left(1 - \frac{H - 1}{D}\right)$$

Значение угла входа, как видно из формулы, зависит от безразмерных значений желаемой степени уменьшения исходного размера и от безразмерного значения диаметра валков.

Результаты и обсуждение исследований.

Расчеты показывают, что условие самозатягивания может быть выполнено при степени обжатия меньше значения $H = 1,1$ и при значениях диаметров $D >$

6. /4/. То есть практически невозможно получить большую пластическую деформацию за прокатку в одной паре валков.

Условие самозатягивания не выполняется и поэтому процесс подачи заготовки должен проводиться за счет внешнего подающего механизма.

Заключение и выводы.

На основании теоретического анализа было установлено, что обеспечение самозатягивания заготовки возможно только при значениях безразмерного параметра $H < 1,1$. Т.е. для изготовления установки приемлемых габаритов и массы подача заготовки должна осуществляться за счет внешнего подающего устройства.

На окончательную форму детали и ее качество значительное влияние оказывает первоначальная форма заготовки, поэтому необходимо либо профилировать поперечное сечение валков, либо обеспечить корректировку настройки межвалкового расстояния в процессе прокатки.

Библиографический список

1. *Боровиков А.М., Уголев Б.Н.* Справочник по древесине. - М.: Лесная промышленность, 1989. 294 с.
2. *ГОСТ 23944-80.* Древесина модифицированная. Термины и определения.
3. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1. М.: Машиностроение, 2001. 915 .
4. *Хрусталева И.В.* Обоснование параметров установки для прокатки сортиментов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб.: ЛТА, 1993. 158 с.

Сведения об авторе

ФИО	Хрусталева И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8636-3860
e-mail	innessachrustaliova@gmail.com

Аннотация

Перед использованием древесину подвергают различным видам обработки для придания требуемой формы и улучшения физико-механических свойств.

Для изменения свойств древесины используются различные способы. Одним из требований может быть изменение размеров без разрушения структуры древесины.

Одним из видов уплотнения, на ряду с прессованием, может быть прокатка древесины.

При прокатке древесины можно исходить из условия аналогичного прокатке металлов: движение заготовке придается вращающимися валками.

Расчеты показывают, что условие самозатягивания может быть выполнено при степени обжатия меньше значения $H = 1,1$ и при значениях диаметров $D > 6$. То есть практически невозможно получить большую пластическую деформацию за прокатку в одной паре валков.

Условие самозатягивания не выполняется и поэтому процесс подачи заготовки должен проводиться за счет внешнего подающего механизма.

Ключевые слова: древесина, прокатка, валки, угол входа заготовки, самозатягивание.

УДК 621.771.065

Разделы рубрикатора ГРНТИ 53.43.13. «Технология и оборудование прокатного производства»

Комплексная оценка транспортной освоенности лесов методами геоанализа

Тюрин Н.А., Громская Л.Я., Антонова Т.С.

Введение.

Обеспечение развития любого вида региональной инфраструктуры на требуемом уровне предполагает необходимость количественной оценки ее развития. Одним из важных аспектов оценки развития лесной транспортной инфраструктуры является нахождение измерителей развития транспортной инфраструктуры, которые должны в полной мере соответствовать целям и задачам системы управления и комплексно отражать степень развития всех структурных элементов транспортной инфраструктуры региона. Результаты такой оценки необходимы для решения тактических и стратегических задач не только в управлении развитием лесной отрасли, но и в управлении социально-экономическим развитием региона. Лесные запасы и лесная транспортная инфраструктура распределены на обширных территориях, требующих широкого применения географического подхода, геоанализа, легко реализуемого на основе современных геоинформационных систем и технологий. Ниже приведена методика комплексной оценки транспортной освоенности региона средствами геоанализа.

Основная часть.

При анализе транспортного освоения лесов общепринятым является показатель удельной плотности (густоты) дорожной сети. Он определяется как суммарная протяженность автомобильных дорог, приходящаяся на единицу площади, обычно на 1000 га:

$$g = \frac{L}{S} \quad (1)$$

где L – суммарная протяженность всех автомобильных дорог в границах лесного участка, км; S – общая площадь лесного участка, га. Оба показателя легко автоматически определяются метрологическими средствами геоанализа.

Плотность сети лесных автомобильных дорог России несопоставимо мала по сравнению с плотностью лесных дорог лесопромышленных стран Европы и Северной Америки. Действительно, удельная протяженность автомобильных дорог на единицу площади в России около 1,4 км на 1000 га при аналогичном показателе в развитых лесных странах 6-40 км 1000 га.

По данным лесных планов общая протяженность дорог на землях лесного фонда России в границах лесничеств – 1870,6 тыс. км, в т.ч. автомобильных – 1579,0 тыс. км. Средняя густота дорог всех типов, включая железные дороги и автозимники составляет 1,6 км/тыс. га, в т.ч. автомобильных дорог – 1,4 км/тыс. га.

Низкая плотность лесных дорог в России является одной из причин использования расчетной лесосеки лишь на 29% и трудностей выполнения комплекса лесохозяйственных работ, борьбы с лесными пожарами, охраной,

защитой и воспроизводством лесных ресурсов. Особенно низкая плотность автомобильных дорог к востоку за Уралом, где сосредоточены более 60% общего запаса древесины.

При условии прокладки дороги к каждому дереву для возможности его захвата гидроманипулятором харвестера, требуемая плотность лесотранспортной сети, включая автомобильную и трелевочную транспортную сеть волоков составит 600...700 км/1000 га. При анализе транспортного освоения лесов трелевочную транспортную сеть, как временную, обычно не учитывают. В этом случае плотность всех автомобильных дорог для полного транспортного освоения лесного участка в зависимости от расстояния трелевки будет составлять 10...25 км /1000 га [1, 3].

Для сравнительной оценки плотности транспортной сети лесного участка может быть использован показатель *индекса плотности транспортной сети*, определяемый по формуле

$$I = \frac{g_u}{g_r} \quad (2)$$

где g_u – плотность транспортной сети на лесном участке; g_r – плотность транспортной сети в регионе.

Индекс густоты путей сообщения достаточно полно отражает сравнительную плотность транспортных путей, однако не учитывает наличие лесных запасов участка и текущие показатели объемов лесопользования. Поэтому для полной характеристики транспортной инфраструктуры региона, по аналогии с коэффициентом Энгеля и Успенского [2], необходимо дополнительно рассчитать коэффициент K_1 интегральной оценки густоты с учетом площади S и лесного запаса $Q_{\text{общ}}$ по формуле

$$K_1 = \frac{L}{\sqrt{S \cdot Q_{\text{общ}}}} \quad (3)$$

Для интегральной количественной оценки плотности транспортной сети лесного участка с учетом его площади, лесного запаса и ежегодных объемов лесопользования $Q_{\text{год}}$ следует определить коэффициент K_2 по формуле

$$K_2 = \frac{L}{\sqrt[3]{S \cdot Q_{\text{общ}} \cdot Q_{\text{год}}}} \quad (4)$$

Ориентируясь только на приведенные выше показатели плотности транспортной сети лесного участка, можно сделать неправильное заключение о транспортном потенциале, допустить ошибки в разработке инвестиционной политики транспортного освоения лесов. Однако, то что эти показатели являются в большой степени статистически усредненными и учитывают одновременно как, площадь лесного участка, общий лесной запас так и объем лесопользования, позволяет в известной мере судить об уровне развития транспортных сетей по отношению к их основным лесопользователям и

определить главные отличия их развития по исследуемым районам и территориям.

Оценка транспортного освоения лесов только по показателям плотности дорожной сети имеет ряд существенных недостатков:

- 1) не позволяет определить степень полноты транспортного освоения лесного участка дорогами разных технических категорий (дорогами общего пользования, лесовозными магистралями, лесовозными ветками);
- 2) не оценивает конфигурацию и равномерность размещения автомобильных дорог по площади лесного участка;
- 3) не учитывает автомобильные дороги, проходящие вблизи границ лесного участка.

Для комплексной оценки транспортного освоения, наряду с показателями плотности дорожной сети, предлагается ввести еще два измерителя:

- 1) транспортная обеспеченность – показатель полноты транспортной освоенности лесного участка;
- 2) неравномерность размещения дорог – коэффициент неравномерности размещения автомобильных дорог.

Транспортная обеспеченность – географическая характеристика территории, отражающая соотношение между потребностями в путях сообщения и наличием транспортной сети. Транспортная обеспеченность освоенности территории лесного участка дорогами i -той категории определяется по формуле

$$p_i = 100 \frac{S_i}{S} \quad (5)$$

где S_i – площадь лесного участка, освоенная существующими дорогами i -ой категории, га; S – общая площадь лесного участка, га.

Транспортная обеспеченность характеризует степень транспортного освоения лесов по площади, изменяясь от 0% (не освоенный лесной участок) до 100% (полностью освоенный лесной участок).

Площадь лесного участка, освоенная существующими дорогами i -ой категории, есть общая грузосборочная площадь всех дорог этой категории в границах лесного участка. Грузосборочная площадь отдельной дороги определяется произведением ее длины на величину зоны тяготения лесных грузов к дороге. Зоной тяготения лесных грузов к любому лесовозному пути называется участок лесной грузообразующей площади, грузы с которой должны транспортироваться по данному пути. Зона тяготения зависит от категории дороги, лесотаксационных характеристик лесного участка, технологии лесосечно-транспортных процессов и требует обязательной оптимизации для конкретных природно-производственных условий.

Термин грузосборочной зоны является аналогом термина буферной зоны дорог, используемого в ГИС, где при проведении анализа близости используется процесс буферизации. Грузосборочная площадь дорог на лесном участке определяется картографически, путем нанесения границ грузосборочной зоны каждой дороги с последующим созданием общих границ

транспортно освоенной территории. Геоинформационные технологии позволяют выполнить эту процедуру достаточно просто, путем создания единого буфера грузосборочной зоны вокруг всех дорог данной категории и автоматического определения площади буфера (рисунок 1). Показатель транспортной обеспеченности учитывает не только дороги, расположенные на лесном участке, но и дороги вне участка, грузосборочная зона которых пересекает анализируемый лесной массив. В этом случае даже при отсутствии дорог на территории лесного участка показатель его транспортного освоения будет больше нуля.

Неравномерность размещения дорог по категориям (дорог общего пользования, лесовозных магистралей и веток) на лесном участке можно оценить коэффициентом неравномерности размещения автомобильных дорог определяемым по формулам:

$$K_{\text{доп}} = \frac{100L_{\text{доп}} \cdot d_{\text{доп}}}{S_{\text{доп}}} \quad (6)$$

$$K_{\text{м}} = \frac{100(L_{\text{доп}} + L_{\text{м}}) \cdot d_{\text{м}}}{S_{\text{м}}} \quad (7)$$

$$K_{\text{в}} = \frac{100(L_{\text{доп}} + L_{\text{м}} + L_{\text{в}}) \cdot d_{\text{в}}}{S_{\text{в}}} \quad (8)$$

где $L_{\text{доп}}$, $L_{\text{м}}$, $L_{\text{в}}$ – протяженность дорог общего пользования, магистралей и веток в границах лесного участка, км; $d_{\text{доп}}$, $d_{\text{м}}$, $d_{\text{в}}$ – ширина зоны тяготения лесных грузов к дороге общего пользования, лесовозной магистрали и ветки, км; $S_{\text{доп}}$, $S_{\text{м}}$, $S_{\text{в}}$ – грузосборочная площадь лесного участка, освоенная дорогами общего пользования, лесовозными магистралями и ветками, га.

Коэффициент неравномерности размещения дорог при рациональном их размещении по площади лесного участка будет равен 1,0. При неравномерном размещении лесных дорог их грузосборочные зоны будут накладываться друг на друга, так что площадь единой грузосборочной зоны будет всегда меньше суммы площадей грузосборочных зон отдельных дорог, а, следовательно, коэффициент неравномерности всегда будет равен или больше 1,0. Коэффициент неравномерности предполагает одновременное наличие в его структуре как метрической (дальностной), так и топологической (конфигурационной) составляющих. Его величина будет характеризовать рациональность пространственного размещения автомобильных дорог для лесопользования на лесном участке.

Для примера рассмотрим основные измерители транспортного освоения Лисинского учебно-опытного лесхоза (ЛУОЛХ) в Тосненском районе Ленинградской области.

Оптимальные параметры структуры лесотранспортной сети для данных условий, полученные в результате дополнительных расчетов, представлены в

таблице 1. С помощью геоанализа определили основные измерители транспортной освоенности ЛУОЛХ, которые приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 1 оптимальная густота дорог общего пользования и магистралей будет 1,416 км/1000 га (0,475+0,941); оптимальная густота дорог общего пользования, магистралей и веток – 3,330 км/1000 га (0,475+0,941+1,913); оптимальная густота дорог общего пользования, магистралей, веток и усов – 12,698 км/1000 га (0,475+0,941+1,913+9,368).

Таблица 1

Оптимальные параметры структуры лесной транспортной сети ЛУОЛХ

Элементы лесной транспортной сети	Зона тяготения (грузосборочная зона), км	Густота (плотность) на единицу площади, км/1000га
Дорога общего пользования	23,2	0,475
Лесная магистраль	11,7	0,941
Ветка	6,0	1,913
Ус	1,3	9,368
Магистральный волок	0,4	30,752
Пасечный волок	0,02	525,0

Таблица 2

Основные измерители транспортного освоения ЛУОЛХ

Участковое лесничество	Плотность (густота) дорог, км/1000 га (g)			Степень полноты освоения магистральями, %	Степень полноты освоения ветками, %	Коэффициент неравномерности размещения магистралей K_M	Коэффициент неравномерности размещения веток K_B	Коэффициент интегральной оценки густоты сети дорог K_1
	всего	в т.ч. магистральных дорог	в т.ч. веток					
Перинское	16,7	1,6	3,1	100	100	1,8	1,9	0,0013
Лисинское	8,3	2,0	3,5	96	99	2,5	2,1	0,0006
Кастенское	5,5	1,4	3,7	80	95	2,1	2,3	0,0004
Всего	9,5	1,7	3,5	91	98	2,1	2,1	0,0007

Для оценки степени обеспеченности ЛУОЛХ дорогами общего пользования и лесными магистральями, определяли площадь территории, которая охвачена оптимальными зонами тяготения (грузосборочными зонами)

дорог общего пользования и лесных магистралей в соответствии с табл. 1. Для этого в ГИС создали буферные зоны величиной, соответствующей параметрам расчетной оптимальной структуры лесной транспортной сети. Грузосборочная зона к дорогам общего пользования составляет 23,2 км, при этом величина буфера составит 11,6 км. Дороги общего пользования покрывают всю территорию ЛУОЛХ.

Для лесных магистралей в оптимальной структуре лесотранспортной сети их грузосборочная зона согласно расчету составляет 11,7 км. Создаем буферную зону радиусом 5,85 км вокруг всех существующих дорог общего пользования и лесных магистралей (рисунок 1).

Площадь территории, охваченной грузосборочными зонами лесных магистралей составляет 26547 га или 91% от общей площади территории (табл. 2).

Густота существующей транспортной сети дорог общего пользования и лесных магистралей составляет 1,7 км на 1000 га общей площади (табл. 2), что больше требуемой (оптимальной) 1,4 км/1000га. Грузосборочные зоны существующих дорог общей сети и лесных магистралей охватывают всю площадь лесов. Коэффициент неравномерности размещения магистральных дорог по территории лесного фонда ЛУОЛХ (2,1) свидетельствует о их неравномерном размещении, а именно избыточности магистральных дорог, что объясняется развитой сетью дорог общего пользования.

Для оценки степени обеспеченности лесов ЛУОЛХ ветками определяли площадь территории, которая охвачена оптимальными зонами тяготения (грузосборочными зонами) к ветке. Для этого создали буферные зоны величиной соответствующей параметру расчетной оптимальной зоны тяготения к ветке вокруг дорог общего пользования, лесных магистралей и веток (рисунок 1). Оптимальная грузосборочная зона к веткам составляет 6,0 км, при этом параметр буфера составит 3,0 км. Площадь территории, охваченной грузосборочными зонами веток составляет 28422 га или 98% от общей площади (табл. 2). Густота существующей транспортной сети дорог общего пользования, магистралей, веток составляет 3,5 км на 1000 га общей площади территории, а требуемая (оптимальная) – 3,3 км/1000 га. Коэффициент неравномерности размещения веток по всей территории в среднем составляет 2,1, что свидетельствует о неравномерном расположении автомобильных дорог.

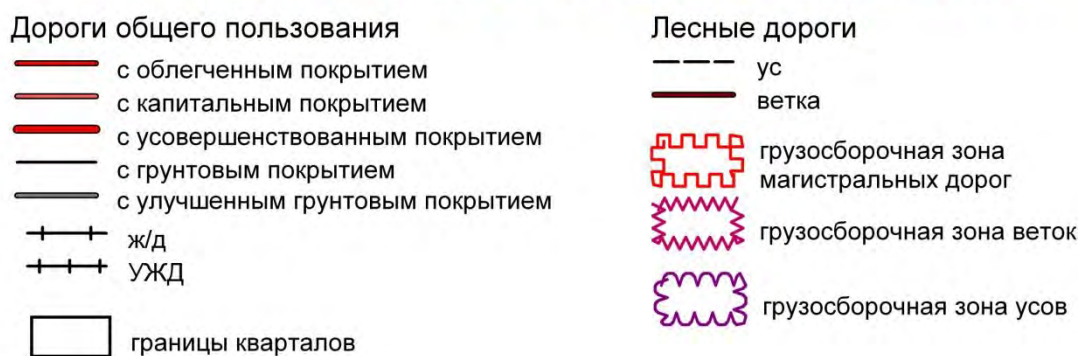


Рис. 1. Грузосборочные зоны автомобильных дорог

Заключение.

Предлагаемые измерители были успешно апробированы при разработке Лесных планов Иркутской, Новгородской и Тверской области, а также при проектировании генеральных схем транспортного освоения лесов предприятий Ленинградской области.

Предложенные дополнительные измерители транспортного освоения лесов, а также полученные результаты исследований позволяют существенно повысить оценку транспортной доступности лесного фонда и более точно спрогнозировать дальнейшее проектирование и планирование лесных автомобильных дорог.

Библиографический список

1. Громская Л.Я., Тюрин Н.А. Автомобильные дороги лесозаготовительных предприятий. Структура и методика размещения: – Saarbrücken. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2012. – 175 с.

2. Дабиев Д.Ф., Дабиева У.М. Оценка транспортной инфраструктуры макрорегионов России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11-2. – С. 283-284; URL: <http://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=7726> (дата обращения: 18.03.2018).

3. Тюрин Н.А., Громская Л.Я., Антонова Т.С. Проектирование лесотранспортной инфраструктуры: учебное пособие для вузов. – СПб.: СПбГЛТУ, 2013. -112 с.

Сведения об авторах

ФИО	Тюрин Н.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8998-5234
e-mail	tnalif@mail.ru
ФИО	Громская Л.Я.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9636-3982
e-mail	gromskaya.stl@gmail.com
ФИО	Антонова Т.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4581-5931
e-mail	antonova.stl@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию проблемы комплексной оценки транспортного освоения лесных участков на базе геоинформационных технологий. Рассмотрены основные измерители транспортного освоения лесов и их расчетные формулы. Наряду с общепринятым показателем плотности (густоты) автомобильных дорог на единицу площади предложены показатели полноты транспортной освоенности лесного участка по площади и коэффициент неравномерности размещения автомобильных дорог. Приводится использование измерителей комплексной оценки транспортного освоения лесов на конкретном примере.

Для сравнительной оценки плотности транспортной сети лесного участка предлагается использовать показатель индекса плотности транспортной сети, а для полной характеристики транспортной инфраструктуры региона коэффициенты интегральной оценки плотности с учетом площади, лесного запаса и ежегодных объемов лесопользования. Эти показатели позволяют судить об уровне развития транспортных сетей по отношению к их основным лесопользователям и определить главные отличия их развития по исследуемым районам и территориям.

Предложенные дополнительные измерители транспортного освоения лесов, а также полученные результаты исследований призваны существенно повысить оценку транспортной доступности лесного фонда и более точно прогнозировать проектирование и планирование лесных автомобильных дорог.

Ключевые слова: лесные дороги, транспортная инфраструктура, плотность автомобильных дорог, геоинформационные технологии.

УДК 630 384.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15: Сухопутное транспортирование леса

Исследование процесса пленкообразования на основе водно-дисперсионных лакокрасочных материалов

Соколова В.А., Ладиков И.С., Андреев К.И.

Введение.

Быстрый прогресс водно-дисперсионных лакокрасочных материалов (ВДЛКМ) из группы водоразбавляемых обусловлен рядом их преимуществ по сравнению с другими из разряда экологически безопасных лакокрасочными материалами (ЛКМ). Они обеспечивают возможность низкотемпературной сушки вплоть до комнатной температуры, позволяют, в отличие от них, а также от материалов с высоким сухим остатком, полностью исключить применение органических растворителей, по сравнению с порошковыми не требуют коренного переоснащения окрасочных участков.

Эффективное использование ВДЛКМ для отделки древесины связано с решением большого круга вопросов, как технологических, так и технических. Проблема создания защитно-декоративных покрытий древесины на основе водно-дисперсионных лакокрасочных материалов является весьма актуальной и своевременной [1, 2].

Цели и задачи.

Целью исследований является изучение и описание процесса превращения латекса в пленку. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Изучить физико-химические особенности пленкообразования водно-дисперсионных лакокрасочных покрытий на подложке из сосны и осины;
- Выявить закономерности и зависимости пленкообразования.

Методика исследования.

Для изучения кинетики пленкообразования из водно-дисперсионных лакокрасочных композиций (рассматриваемого нами как физический процесс испарения растворителей с образованием промежуточного геля и последующей ликвидации межфазной границы между глобулами) была использована теоретическая модель десорбции молекул с поверхности жидкости.

Физическое объяснение модели основывается на аналогии процесса испарения с поверхности жидкости с вылетом молекул с поверхности твердого тела. Оба процесса связаны с наличием ближнего порядка в расположении молекул в веществе, что определяет работу выхода для испаряющихся молекул. Из физической модели процесса испарения получена теоретическая зависимость массы летучей части от температуры и времени испарения:

$$M(t; T) = M \exp\left(-\frac{T_{\text{хар}}}{T}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{t_{\text{хар}}}\right)\right), \quad (1)$$

где t – время;

T – температура испарения;
 M, t_{xap}, T_{xap} – параметры модели.

Зависимость интенсивности испарения от времени при определенной температуре задается формулой:

$$Y(t, T) = \frac{M}{t_{xap}} \exp\left(-\frac{T_{xap}}{T}\right) \exp\left(-\frac{t}{t_{xap}}\right). \quad (2)$$

Коэффициент летучести K (интенсивность испарения в начальный момент времени), г/мин, не зависит от толщины слоя лака на подложке, а зависит от температуры среды:

$$K = \frac{M}{t_{xap}} \exp\left(-\frac{T_{xap}}{T}\right). \quad (3)$$

Для подтверждения теоретических предпосылок и установления особенностей формирования покрытий на древесной подложке нами были проведены исследования по изучению кинетики сушки водно-дисперсионных латексов [3].

Энергия испарения – энергия, которая необходима для вырывания одной молекулы с поверхности лака. Энергия испарения зависит от температуры и состава лака, свойств поверхности. Энергия испарения определяет время пленкообразования и прочностные свойства покрытия [4].

На основе экспериментальных данных были вычислены теплота испарения и энергии активации водно-дисперсионного латекса. Для этого использовались два значения коэффициента летучести K_1 и K_2 , соответствующие двум различным температурам $T_1=20^\circ\text{C}$, $T_2=40^\circ\text{C}$.

$$K_1 = \frac{M}{t_{xap}} \exp\left(-\frac{T_{xap}}{T_1}\right) \quad (4)$$

$$K_2 = \frac{M}{t_{xap}} \exp\left(-\frac{T_{xap}}{T_2}\right) \quad (5)$$

Решая систему уравнений, определяем характеристическую температуру для рассматриваемого латекса:

$$\frac{K_1}{K_2} = \exp\left(T_{xap}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right) \quad (6)$$

$$\ln \frac{K_1}{K_2} = T_{xap}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (7)$$

$$T_{xap} = \frac{\ln \frac{K_1}{K_2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (8)$$

Зная характеристическую температуру T_{xap} , можно определить теплоту испарения по формуле:

$$L = R * T_{xap}, \quad (9)$$

где $R = 8,31$ Дж/(град* моль) – универсальная газовая постоянная.

Для определения энергии активации использовали $N_A = 6,02 * 10^{23}$ моль⁻¹ – число Авагадро.

$$E_A = \frac{L}{N_A} \quad (10)$$

Константы скорости реакции рассчитывали по формуле:

$$K = \frac{M_o}{t_{хар}}, \quad (11)$$

где M_o – летучая часть, г;

$t_{хар}$ - параметр модели.

Параметр модели $t_{хар}$ рассчитывали по формуле:

$$t_{хар} = - \frac{t}{\ln(1 - \frac{M}{M_o})}, \quad (12)$$

где t – время сушки, мин;

M – максимальная масса испарившейся части лака, масс.ч.;

M_o – начальная масса летучей части лака, масс.ч.

Результаты и обсуждение исследований.

Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований теплоты испарений и энергии активации

Вид материала	Теплота испарения [КДж/моль]	Энергия активации (эВ)
Водно-дисперсионный латекс	17,7	0,18
ПЭ-246	7,2	0,07
МЛ-2111М	11,5	0,11
НЦ-243	6,1	0,06
Пуроляйт	7,5	0,07

Анализ результатов проведенных исследований водно-дисперсионного лакокрасочного материала показывает, что коэффициент летучести при 20°С на подложке из осины больше, чем на подложке из сосны. При 40°С коэффициент летучести на подложке из осины выше, чем на подложке из сосны.

Заключение и выводы. Сравнительный анализ удельной теплоты позволяет сделать вывод, что процесс пленкообразования на подложке из сосны требует больших энергозатрат для достижения необходимой адгезионной прочности при всех прочих равных условиях. Установлено, что кинетика процесса высыхания водно-дисперсионных латексов подчиняется закономерностям

молекулярно-кинетической теории испарения лакокрасочных материалов. Теплота испарения и энергия активации водно-дисперсионных латексов больше, чем у органорастворимых составов, что и обуславливает более длительное время высыхания этих композиций. Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых водно-дисперсионных лакокрасочных составов.

Библиографический список

1. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика: Пер. с англ./Под ред. Р. Ламбурна – СПб.: Химия, 1991.- 512 с.- Пер. изд.: Великобритания, 1987. – ISBN 5-7245-0446-4.
2. Мусихин В.Л. и др. Определение физико-механических свойств лакокрасочных пленок и покрытий: Метод. указания/ЛТИ им. Ленсовета. – Л.: 1988. – 30 с.
3. Соколова В.А., Пивоварова А.А., Колесников Д.В., Косарев Ю.Э. Исследование процесса пленкообразования лакокрасочных материалов на подложках из древесины хвойных и лиственных пород. Материалы девятого всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах». СПб, Издательство Политехнического университета, 2015 г. – 264 с., с. 113-115.
4. Соколова В.А., Петрик В.В., Грязькин А.В. Влияние структуры древесины на расход лакокрасочных материалов. Аграрный научный журнал. Выпуск 7, Саратов, Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2017 г. – 100 с., с. 10-13.

Сведения об авторах

ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Ладиков И.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7129-2424
e-mail	ilya_1377@yandex.ru
ФИО	Андреев К.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6979-7787
e-mail	kirian1508@mail.ru

Аннотация

В работе изучен и описан процесс превращения латекса в пленку, управление параметрами защитно-декоративного покрытия изделий. При исследованиях использовалась теоретическая модель десорбции с поверхности жидкости.

Были получены следующие результаты:

1. Установлено, что кинетика процесса высыхания водно-дисперсионных латексов подчиняется закономерностям молекулярно-кинетической теории испарения лакокрасочных материалов.

2. Теплота испарения и энергия активации водно-дисперсионных латексов больше, чем у органорастворимых составов, что и обуславливает более длительное время высыхания этих композиций.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых водно-дисперсионных лакокрасочных составов.

Ключевые слова: водно-дисперсионный лак, защитно-декоративные покрытия, отделка, пленкообразование, water-dispersion varnish, protective and decorative coatings, finishing, film formation.

УДК 66.37.21

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.37.21

Диагностирование автомобилей и проектирование станций технического обслуживания

Каманен И.А.

Введение. Для повышения эффективности ТО и ремонта автомобилей требуется индивидуальная информация об их техническом состоянии до и после обслуживания или ремонта. При этом необходимо, чтобы получение указанной информации было доступным, не требовало бы разборки агрегатов и больших затрат труда.

ООО «Выборгский технический центр» является государственным учреждением и занимается диагностированием автомобилей и выявлением неисправностей, но не имеет пункта технического обслуживания.

Цели и задачи. Была поставлена задача спроектировать участок (пункт технического обслуживания) для обслуживания легковых автомобилей в г. Выборге при станции технического обслуживания (СТО) для автомобилей, не прошедших технический осмотр, с целью повышения качества предлагаемых услуг по диагностике автомобилей и их ремонту. На сегодняшний день эта станция занимается лишь осмотром узлов и агрегатов легковых автомобилей и не может произвести ремонт выявленных неисправностей.

Методика исследования. Был выполнен технологический расчет станции технического обслуживания и участка диагностики.

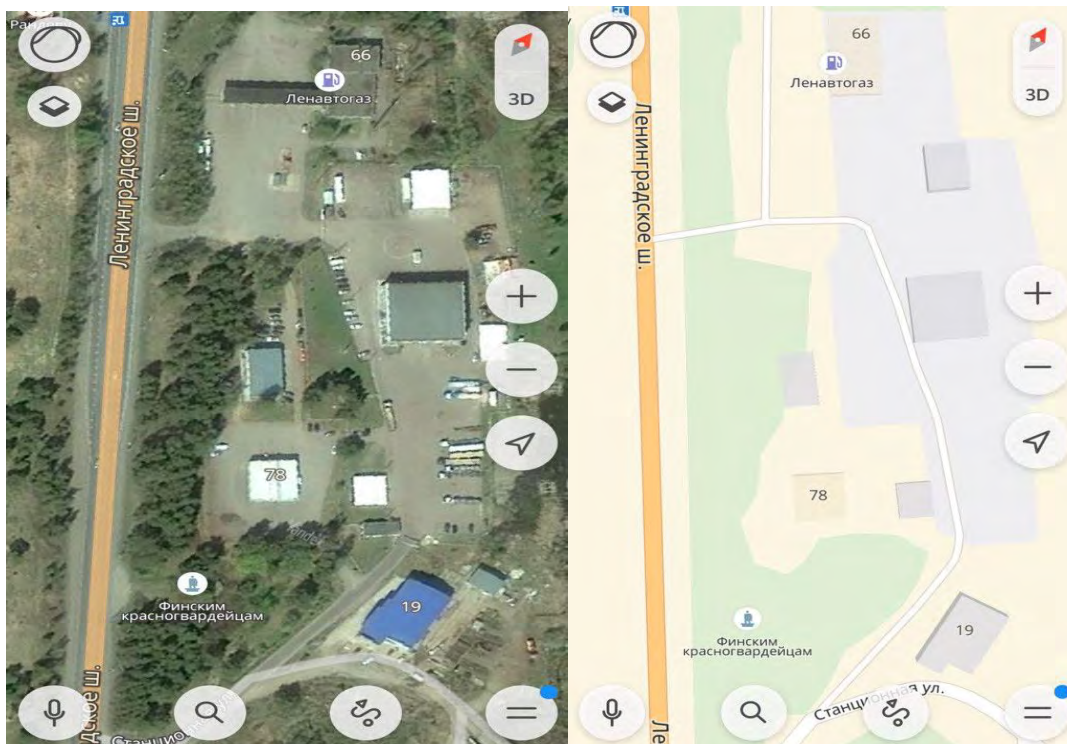


Рисунок 1 - План местности на карте станции технического осмотра ООО «Выборгский технический центр» (цифрой 78 обозначена СТО)

Динамика результатов финансово-хозяйственной деятельности ООО «Выборгский технический центр» за прошедшие года представлена на графиках (рис. 2 и рис. 3).



Рисунок 2. Выручка в годах



Рисунок 3. Прибыль в годах

Самый загруженный период в году наблюдается с апреля по ноябрь, в связи с прохождением обязательного технического осмотра для получения полиса ОСАГО.

Максимально допустимое количество машин, проходящих технический осмотр, составляет до 10000 маш/год. За 20 рабочих дней проходит 500 машин. 1 машина находится на линии около 20 минут.

Численность работников центра составляет 11 человек, в том числе руководитель. Рабочий день составляет 8 часов.

На одного эксперта приходится 12 машин в день, соответственно, на двух экспертов 24 машины в день.

Стоимость самой линии по примерным расчетам составит около 4 миллионов рублей. Планируемый срок окупаемости - 1 год.

На момент прохождения практики все вышеуказанные данные были представлены в ознакомительных целях.

Не зная причину поломки, невозможно провести качественный и быстрый ремонт. В наше время, когда автомобиль попадает в автосервис, диагностика является единственным способом установить точные причины поломки и определить наиболее разумные пути решения возникшей проблемы.

Диагностика окажется полезной не только при возникновении какой-то поломки. Специалисты рекомендуют проводить ее в качестве профилактических мер. Заказывая диагностику своих автомобилей, клиенты СТО своевременно могут выявить и заменить поврежденные узлы и детали. А от этого зависит безопасность дорожного движения, а, следовательно, безопасность пассажиров и окружающих.

Главная особенность диагностики состоит в том, что она рассматривает и изучает техническое состояние любых машин или механизмов в процессе их эксплуатации.

Существуют два метода диагностирования машин: внешний осмотр и диагностирование инструментальными средствами (с помощью специального оборудования и приборов).

Порядок проведения технического осмотра ООО «Выборгский технический центр»:

Проведение технического диагностирования с целью оценки соответствия транспортного средства установленному для соответствующей категории транспортных средств перечню параметров и требований.

Оформление и выдача заявителю диагностической карты, содержащей заключение о возможности или невозможности эксплуатации транспортного средства.

Оформление и выдача талона технического осмотра или международного сертификата технического осмотра в случае соответствия транспортного средства требованиям безопасности транспортных средств.

После завершения процедур технического диагностирования оператор технического осмотра осуществляет ввод данных в единую автоматизированную информационную систему технического осмотра.

Результаты и обсуждение исследований.

Цель постановки диагноза – выявить неисправности объекта, определить потребность в ремонте или ТО, оценить качество выполненных работ или же подтвердить пригодность диагностируемого механизма к эксплуатации до очередного обслуживания.

При размещении станций технического обслуживания автомобилей вблизи жилой застройки необходимо пользоваться нормативными документами, определяющими требования на размещение.

Пункт технического ремонта на станции ООО «Выборгский технический центр» необходим для того, чтобы незамедлительно и эффективно устранять выявленные неисправности. Так как у станции технического осмотра нет пункта технического обслуживания, всем клиентам после осмотра приходится искать пункты СТО в другом месте, чтобы устранить неисправности. Тем самым они подвергают опасности себя и других участников дорожного движения, передвигаясь на неисправном автомобиле, в поисках СТО.

Был произведён расчёт станции технического обслуживания для технического центра.

Производственная площадь СТО рассчитана по формуле 1.

$$S_{\text{ТОПР}} = X S_A K_{\Pi} + S_0, \text{ м}^2, \quad (1)$$

где X - количество постов; $S_A, \text{ м}^2$ – площадь, занимаемая автомобилем $b \text{ м}^2$; K_{Π} – коэффициент плотности расстановки постов (отношение площади всех обслуживаемых а/м с проездами, проходами, рабочими местами к площади всех автомобилей): при двухстороннем расположении автомобилей $K_{\Pi} = 4...5$; S_0 – сумма площадей, занимаемых навесным и прочим оборудованием, размещенным на постах.

$$S_{\text{ТОТР}} = 81 * 6 * 5 + 30.81 = 2460.81 \text{ м}^2$$

Производственная площадь участка диагностики: 277 м².

Ориентировочно производственная площадь СТО распределяется следующим образом:

зона постов ТО и ТР – 50%: $2460.81 * 0.5 = 1230.41 \text{ м}^2$;

производственные отделения вне постовых работ – 10%:

$$2460.81 * 0.1 = 246.08 \text{ м}^2;$$

малярный участок – 13%: $2460.81 * 0.13 = 319.91 \text{ м}^2$;

кузовной участок – 12%: $2460.81 * 0.35 = 861.28 \text{ м}^2$;

участок уборочно-моечных работ – 5%: $2460.81 * 0.05 = 123.04 \text{ м}^2$.

Площадь складских помещений не включается в производственную площадь СТО.

Расчет количества мест для стоянки автомобилей: $81/2=40$ мест.

Количество мест для стоянки автомобилей клиентов и персонала следует принимать из расчета 2 места на один рабочий пост.

Площадь помещения для клиентов считается из расчета на один рабочий пост:

Для крупной станции – 6...7 м²

Соответственно получается: $81 * 6 = 486 \text{ м}^2$.

Заключение и выводы

В заключении можно сделать выводы, что диагностирование занимает важную роль в обслуживании. ООО «Выборгский технический центр» позволяет выявить все неисправности автомобилей. Особенностью диагностики является то что она рассматривает и изучает техническое состояние любых машин или механизмов в процессе их эксплуатации.

На станции ООО «Выборгский технический центр» необходим участок технического ремонта, чтобы максимально быстро и эффективно устранять разного рода неисправности в автомобиле и освободить себя от поисков других СТО.

Библиографический список

1. Абалонин С.М. Ценообразование – современные подходы: Ценовые факторы в деятельности автотранспортных предприятий: Учебное пособие. – М: Транспорт. 2012.
2. Власов Ю.А., Тищенко Н.Т. Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования: Учебное пособие. – Томск, изд. Томского ГАСУ, 2009. – 277 с.
3. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. Изд-е 4 перераб. и доп. – М.: Наука, 2007; 2010. – 535 с.

Сведения об авторах

ФИО	Каманен И.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7599-1335
e-mail	Ilya.kamanen@mail.ru

В данной статье рассмотрен один из вариантов модернизации станции технического осмотра ООО «Выборгский технический центр» с целью сосредоточения различных видов работ по техническому осмотру и ремонту, расширения спектра предоставляемых услуг.

Ключевые слова: технический осмотр, ремонт, диагностика, транспорт.

УДК 629

Разделы рубрикатора ГРНТИ 73.41.41

Проектирование участка для технического обслуживания и ремонта автомобилей

Огромный Д.С.

Введение.

Согласно национальной стратегии развития автомобильной промышленности, её подъём и развитие предусматривается осуществлять в трёх направлениях. Первое – реструктуризация и реформирование действующих автомобильных комплексов путём разделения их на самостоятельные, специализированные, заготовительные, агрегатные, кузовные и сборочные производства с целью улучшения их управления. Второе – организация производства автомобилей на совместных с зарубежными партнёрами сборочных предприятиях. На первом этапе сборка ведётся из готовых узлов, агрегатов и комплексов с последующим переходом на изготовление их в основном на месте сборки. И третий путь – освоение производства новых моделей конкурентоспособных автомобильных компонентов (коробок передач, двигателей, ведущих мостов), в том числе на лицензионной основе с привлечением иностранных партнёров.

До недавнего времени в России выпускались в основном автомобили средней грузоподъёмности. А автомобилей малой грузоподъёмности выпускалось всего 13,5% от общего выпуска. В национальной стратегии в интересах автотранспортников намечено увеличение выпуска малотоннажных автомобилей.

Цели и задачи.

В ходе работы по формулам 1, 2 и 3 были рассчитаны основные показатели для проектирования участка, на котором будет производиться капитальный ремонт (КР) и техническое обслуживание (ТО), а именно ежедневное обслуживание, техническое обслуживание 1 (ТО1), техническое обслуживание 2 (ТО2) и сезонное обслуживание (СО), автомобилей самосвалов, закрепленных за организацией. Основные показатели производственной программы сведены в таблице 1.

Результаты и обсуждение исследований.

Таблица 1 - Основные показатели производственной программы

Наименование	Обозначение	Ед. из.	Количество
Сменная производительность	$N_{см}$	м3/смена	17,6
Количество машин	M_c	шт.	36
Среднесуточный пробег	L_{cc}	км.	372
Количество КР в год	$N_{кг}$	шт/год.	14
Количество СО в год	$N_{сог}$	шт/год	72
Количество ТО-2 в год	$N_{2г}$	шт/год	260
Количество ТО-1 в год	$N_{1г}$	шт/год	821
Суточная загрузка зоны ТО	$N_{сут}$	маш/сут	5

Количество ТО2 в год:

$$N_{2г} = N_{2ц} * \beta_{г} * M_c, \quad (1)$$

где $N_{2г}$ - Количество ТО - 2 в год, шт.; $N_{2ц}$ - Количество ТО - 2 в цикле, шт.; M_c - Количество машин.

$$N_{2г} = 19 * 0,38 * 36 = 259,92 \text{ шт.}$$

Количество ТО1 в год:

$$N_{1г} = N_{1ц} * \beta_{г} * M_c, \quad (2)$$

где $N_{1г}$ - Количество ТО-1 в год; $N_{1ц}$ - Количество ТО-1 в цикле, шт.

$$N_{1г} = 60 * 0,43 * 36 = 820,8 \text{ шт.}$$

Количество СО в год:

$$N_{со} = 2 * M_c, \quad (3)$$

где $N_{со}$ - Количество СО в год, шт.

$$N_{со} = 2 * 36 = 72 \text{ шт}$$

По формулам 4 и 5 было рассчитано количество основных, вспомогательных и инженерно-технических рабочих (ИТР), необходимых для выполнения всех видов обслуживания и ремонта.

$$P_{ш} = \frac{T_{общ}}{\Phi_{д}}, \quad (4)$$

где $T_{общ}$ - общие трудозатраты ТО, чел – час; $\Phi_{д}$ - действующие фонд рабочего времени в год, дней.

$$P_{ш} = \frac{17578,3}{1738,56} = 10,1 \text{ чел.}$$

Количество вспомогательных рабочих может быть определено в процентах от основных рабочих или по трудозатратам, можно принять 15% от трудозатрат основных рабочих.

$$P_{вс} = \frac{T_{всп}}{\Phi_{д}}, \quad (5)$$

где $T_{всп}$ - трудозатраты вспомогательных рабочих, чел-час.

$$P_{вс} = \frac{2636,7}{1738,56} = 1,5 \text{ шт.}$$

Количество ИТР берётся примерно на 20 - 25 человек один автомеханик.

На проектируемый участок выделяется один ИТР.

При помощи норм и правил было выбранное необходимое оборудование для всех работ на участке и произведен расчет площадей помещений необходимых для различных видов работ (таблица 2).

Таблица 2 - Расчетные и принимаемые площади помещений

Наименование помещения	Един, изм.	Расчетная	Принятая
1. Зона хранения механизмов	м2	1860,6	2227
2. ЗонаТО	м2	450,15	570
3.Производственные помещения	м2		
Слесарно-механическое		38,5	56,4
Шиномонтажное		15	18,9
4. Бытовые помещения	м2	35,1	35,38
5. Складские помещения	м2		
Склад резины		9	25,65
Склад запасных частей		18	26,55
6. Кабинет механика	м2	12	12,6
			2972,48

Основные показатели электроэнергии и расходных материалов, таких как топливо и моторное масло, сведены в таблице 3.

Таблица 3 - Основные расходы на электроэнергию и горюче-смазочные материалы

Наименование	Обозначение	Ед. из.	Количество
Общая мощность, необходимая на освещение	$P_{осв}$	кВт.	32853,7
Общая потребность в электроэнергии	$P_{общ}$	кВт*ч/год	51111,4
Нормы расхода жидкого топлива	G_H	л.	150,8
Годовой расход топлива	$G_{общ.год}$	л.	1340913,6
Расход моторного масла	Q_M	л.	57226,65

При расчетах и проектированиях были учтены санитарные, противопожарные, трудовые и экологические нормы и учтены все необходимые требования техники безопасности.

Заключение и выводы. На основании расчетов спроектирована схема технологического процесса (рисунок 1), которая является наиболее целесообразной. Она позволяет сократить расходы на простой техники при ожидании своей очереди технического обслуживания или ремонта. Исключает пересечение автомобилей, нуждающихся в ремонте и автомобилей пригодных для дальнейшей эксплуатации и позволяет следить за комплектностью и временем убытия и прибытия автомобилей на территорию.

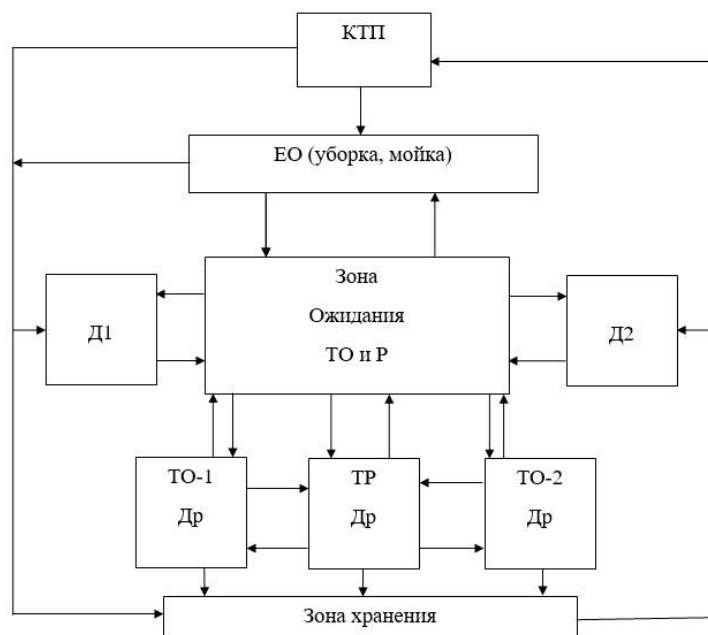


Рисунок 1 - Схема технологического процесса

В заключение хочется отметить, что спроектированный участок является актуальным, так как запланирован с учетом размещения современного оборудования, которое позволяет работать как с автомобилями старого производства, так и с автомобилями новых образцов. Также оборудование предназначено для быстрой, но в тоже время удобной работы. Что снижает трудозатраты рабочих и позволяет увеличить производительность труда.

Библиографический список

1. Виноградов В.М., Бухтеева И.В., Редин В.Н. Организация производства технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей: Учебное пособие для сред. проф. образования - М.: ИЦ Академия, 2012. - 272 с.
2. Епифанов Л.И., Епифанова Е.А. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебное пособие - М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 352 с.
3. Масуев М.А. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учебное пособие для студ. высш. учеб. Заведений - 2- е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 224 с.
4. Синельников А.Ф. Основы технологии производства и ремонт автомобилей: Учебное пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / А.Ф. Синельников. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 320 с.

Сведения об авторах

ФИО	Огромный Д.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4142-6099
e-mail	dimaogromnyj@live.ru

Аннотация

В данной статье спроектирован участок для проведения технического обслуживания и ремонта технологических машин и комплексов и разработан технологический процесс с учетом размещения современного оборудования, которое позволяет работать как с автомобилями старого производства, так и с автомобилями новых образцов.

Ключевые слова: техническое обслуживание, капитальный ремонт, эксплуатация, транспорт.

УДК 629

Разделы рубрикатора ГРНТИ 73.41.41

Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора

Пушков Ю.Л., Коряковский И.А.

Введение. В последние годы часть транспортных операций (прямая вывозка деревьев на расстояние 5 и более км) осуществляется по магистральным волокам и дорогам с улучшенным покрытием, что привело к повышению скорости движения данных машин, а значит к повышению требований безопасности движения. Это в значительной степени повышает требования к такому важному эксплуатационному свойству колесного лесопромышленного трактора, как эффективность тормозной системы.

Цель и задачи работы. Повышение эксплуатационной эффективности тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования некоторых технических решений и параметров.

Одним из конструктивных решений, направленных на повышение ресурса, а также увеличение надежности фрикционных тормозов трактора, является оснащение трелевочного трактора вспомогательной тормозной системой, обеспечивающей плавное нарастание тормозных сил трактора и снижение скорости до минимальной, до начала работы основной системы торможения.

Применение тормоза – замедлителя позволяет увеличить общую реализуемую мощность, увеличить техническую скорость, уменьшить износ шин, повысить устойчивость трелевочного трактора в режиме торможения, облегчить условия работы оператора и в целом повысить эффективность использования трелевочного трактора на лесозаготовках.

Для решения этой задачи необходимо согласованное действие системы «вспомогательный тормоз (ВТС) – рабочий тормоз (РТС)», обеспечивающее эффективность работы тормозной системы при различных условиях эксплуатации.

Согласованность взаимодействия рабочей тормозной и вспомогательной систем, можно представить в виде расчетного модуля, предназначенного для анализа совместной работы, при торможении трелевочного трактора на единичном спуске.

На вход системы подаются управляющие воздействия, отражающие:

- положение исполнительного органа–замедлителя (положение заслонки моторного тормоза);
- передаточное число коробки передач трактора;
- уровень давления в тормозных камерах трелевочного трактора.

Под воздействием внешних факторов, определяемых: сопротивлением опорной поверхности f , уклоном i , с учетом ограничений некоторых величин (условия сцепления колес с опорной поверхностью φ , предельное температурное состояние фрикционных пар t), система «трелевочный трактор–пачка–волок» реализует совокупность выходных параметров, характеризующих состояние КТС во времени [2]:

- поступательной скорости движения КТС в начале торможения;

- замедления (J_T) трактора;
- суммарное значение температуры во фрикционных парах t_{π} ;
- реакция в шарнире пачкового захвата R_a .

Функциональные связи в расчетном модуле можно представить в виде уравнения баланса сил, приложенных к трелевочному трактору:

$$P_{T.T.} + P_{B.C.} + P_{C.П.} - G_{T.C.}(i - f) = \left(\frac{G_{KMC}}{q} + \frac{J_T}{r_t^2} + J_n \right) j, \quad (2)$$

где $P_{T.T.}$ – тормозные силы трактора, Н;

$P_{B.C.}$ – тормозные силы вспомогательной тормозной системы трактора;

$P_{C.П.}$ – сила сопротивления волочению пачки;

$G_{T.C.}$ – масса транспортной системы;

i – угол спуска ;

f – коэффициент сопротивления качению КТС;

J_T – замедление трелевочного трактора ;

q – ускорение свободного падения;

J_T – момент инерции трелевочного трактора;

J_{π} – момент инерции трелеваемой пачки;

r_t – радиус колес трактора.

Тормозная сила, обусловленная совместной работой рабочей и вспомогательной тормозных систем трактора, определяется выражением:

$$P_{T.T.} = \frac{M_3 i_o i_{кп} (2 - \eta_{mp})}{r_T} + P_1 + P_2, \quad (3)$$

где i_o – передаточное число главной передачи;

$i_{кп}$ – передаточное число коробки передач;

η_{mp} – КПД трансмиссии;

M_3 – тормозной момент на валу замедлителя;

P_1, P_2 – тормозные силы, развиваемые механизмами на передней и задней осях трактора [1].

Тормозной момент M_3 зависит от частоты вращения n положения β регулирующего органа (моторного тормоза). Как показывает анализ литературных источников, зависимость момента M_3 от n и β аппроксимируется уравнением вида:

$$M_3 = b_1 n + b_2 \beta + b_3 n \beta + b_4, \quad (4)$$

где b – коэффициент полиномиальной регрессии.

Тормозные силы P_1, P_2 в общем случае определяются из выражения вида:

$$P_i = \psi_i (v_{ск}, t, p_{Т.К.}, h_{шт.}, \mu, \{K_1\}), \quad (5)$$

где $v_{ск.к.}$ – скорость скольжения фрикционной пары;

t – температура соприкосновенной пары (тормозной барабан, фрикционные накладки);

$p_{Т.К.}$ – текущее значение давление в рабочих тормозных камерах трактора;

$h_{шт.}$ – ход штока рабочей тормозной камеры;
 μ – коэффициент трения фрикционной пары;
 K_1 – совокупность конструктивных геометрических параметров тормозного механизма трактора.

При работе на линейном участке характеристики тормозной камеры и постоянных параметров, $\{K_1\}$ можно использовать зависимость (5),

$$P_i = \psi_i(t, p_{т.к.}, n_6), \quad (6)$$

где n_6 – частота вращения тормозных барабанов.

Учитывая тормозной момент, создаваемый вспомогательной тормозной системой, время необходимое для полной остановки транспортной системы и пройденного пути можно определить:

$$T = \int_{v_1}^{v_6} \frac{\left\{ \frac{G_{mp}}{q} + \frac{J_T}{r_T^2} + J_n \right\} dv}{M_3 \frac{i_o i_{kn} (2 - \eta_{mp})}{r_T} + P_1 + P_2 + P_{свн} - G_{mp} (i - f)} = \int_{v_1}^{v_3} A dv, \quad (7)$$

$$S = \int_{v_1}^{v_3} A_v dv. \quad (8)$$

Используем уравнение, необходимое для определения текущих значений нагрева тормозных барабанов:

$$t_i = t_n + \frac{P_i V_{ск}}{\alpha F} \left(1 - e^{-\frac{\alpha F \tau}{mC}} \right), \quad (9)$$

где t_n – начальная температура нагрева, °С;

P_i – тормозная сила Н;

$V_{ск}$ – скорость относительного скольжения фрикционных элементов в м/с;

F – площадь охлаждаемой поверхности тормозного барабана в м²;

α – коэффициент теплоотдачи в Вт/(м² К);

m – масса тормозного барабана;

τ – время процесса торможения;

C – теплоемкость материала барабана в Дж/(кг К)

Величину коэффициента теплоотдачи α определяется по формуле:

$$\alpha = 4,1868 (1,6 + 2,8 \sqrt{V}), \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)} \quad (10)$$

Проверка на устойчивость трактора осуществляется с помощью известного критериального неравенства:

$$\varphi Z_i = \sqrt{(P_i)^2 + (Y_i)^2}, \quad (11)$$

где Z_i , Y_i – соответственно вертикальные и поперечные реакции колес трелевочного трактора.

Таким образом, использование вспомогательной тормозной системы, позволяет при сохранении курсовой устойчивости трактора, снизить начальную скорость движения в начале торможения в интервале скоростей $V_{\max} - V_{\min}$. При недостаточной эффективности ВТС, включается рабочая тормозная система.

Выводы

1. Для улучшения тормозных свойств колесного лесопромышленного трактора, необходима установка регулятора тормозных сил, обеспечивающего тормозное усилие в механизмах колес пропорционально действующим силам.

2. Одним из основных конструктивных решений, направленных на повышение тормозных свойств, а также увеличение надежности работы тормозных механизмов колес, является оснащение лесопромышленного трактора вспомогательной тормозной системой – моторный тормоз – замедлитель, обеспечивающий плавное нарастание тормозных сил и снижение скорости движения до минимальной. Применение тормоза – замедлителя позволяет увеличить общую тормозную мощность, повысить скорость движения, устойчивость трелевочной системы и уменьшить износ шин, в режиме торможения, облегчить условия работы оператора и в целом повысить эффективность использования лесопромышленного трактора.

Библиографический список

1. Пирковский Ю.В. Некоторые вопросы качения автомобильного колеса //Автомобильная промышленность. 1965. №12. С. 26–29.
2. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: СПб: СПбГЛТА им. С.М.Кирова, 2003.-145с.

Сведения об авторах

ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Коряковский И.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7410-9920
e-mail	i-koryakovskii@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена вопросам повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора с учетом воздействия внешних факторов. Одним из основных конструктивных решений, направленных на повышение тормозных свойств, а также увеличение надежности работы тормозных механизмов колес, является оснащение лесопромышленного трактора вспомогательной тормозной системой – моторный тормоз – замедлитель, обеспечивающий плавное нарастание тормозных сил и снижение скорости движения до минимальной.

Ключевые слова: транспорт леса, лесопромышленный трактор, тормозная система, лес

УДК 62*21474

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

Инновационные способы повышения работоспособности конструкций лесных автомобильных дорог

Насковец М.Т., Борозна А.А.

Введение.

В практике дорожного строительства приходится сталкиваться с решением задач по прокладке трасс автомобильных дорог, проходящих по участкам местности с различными типами грунтов. В настоящее время имеются эффективные конструкции, применяемые при проектировании дорог в различных грунтово-гидрологических условиях, позволяющие обеспечить проезжаемость большегрузного автотранспорта [1].

Цели и задачи

Вместе с тем, особые трудности при эксплуатации транспортных путей возникают, когда основанием дороги служат мелкозернистые и пылеватые песчаные грунты либо торфяные и болотные, а также суглинистые и глинистые грунты. Каждый из данных видов грунтов обладает присущими только ему физико-механическими свойствами. Для того, чтобы обеспечить проезжаемость транспортных средств по дорогам, устраиваемым на таких грунтах, необходимо как можно полнее учитывать еще и специфику работы дорожных конструкций с учетом воздействия подвижной нагрузки от колес большегрузных лесовозных автопоездов. Однако учесть все многообразие факторов, влияющих на работоспособность дорожных конструкций, задача сложная. Поэтому она должна решаться для каждого конкретного случая в отдельности.

Методика исследования и анализ результатов

В частности, чтобы улучшить взаимосвязь между слоями, а также в целом между собой составных вертикальных элементов дорожной конструкции, конструктивно проработана идея более рационального перераспределения воздействующей нагрузки за счет наибольшего ее восприятия нижележащими, инертными массами слагающих грунтовых компонентов. В основу предлагаемого способа возведения дорожной одежды положено введение в земляное полотно вертикальных свайных стабилизирующих опор (свай) и в покрытие горизонтальной арматуры. Это необходимо, когда устраиваются покрытия из асфальто- или цементобетона. Такие конструкции представляют собой массивную монолитную плиту, лежащую на грунтовом основании. При этом покрытие не связано с основанием. Чтобы повысить эффективность передачи нагрузки от колес через покрытие на основание предлагается перед укладкой покрытия в грунтовое основание предварительно забивать свайные элементы (рис. 1). Это дает возможность посредством арматуры соединять покрытие со сваями. Таким образом, покрытие и основание за счет взаимосвязи работают как бы единая целостная конструкция.

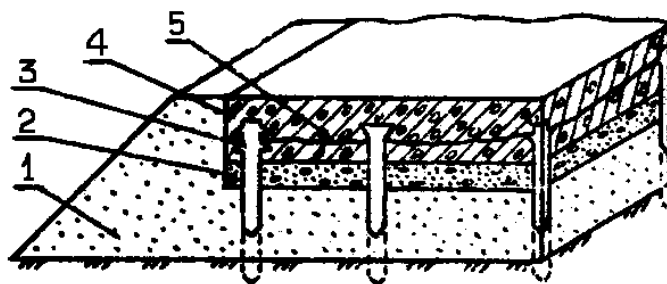


Рис.1. Дорожная конструкция на свайных элементах
1 – грунтовое основание; 2 – подстилающий слой;
3 – свая; 4 – покрытие; 5 – арматура

Известно, что устройство многослойных дорожных конструкций стандартными методами может приводить к неравномерности передачи колесной нагрузки по глубине, что в свою очередь снижает работоспособность многослойных дорожных конструкций в местах ее приложения. Устройство дорожных конструкций с приданием им в поперечном сечении дугообразные очертания в форме изобар позволяет достичь передачи нагрузки по глубине конструкции по линиям равных сжимающих напряжений, что приводит к снижению величин возникающих в дорожных конструкциях в процессе движения автотранспорта разрушающих деформаций (рис. 2 и 3).

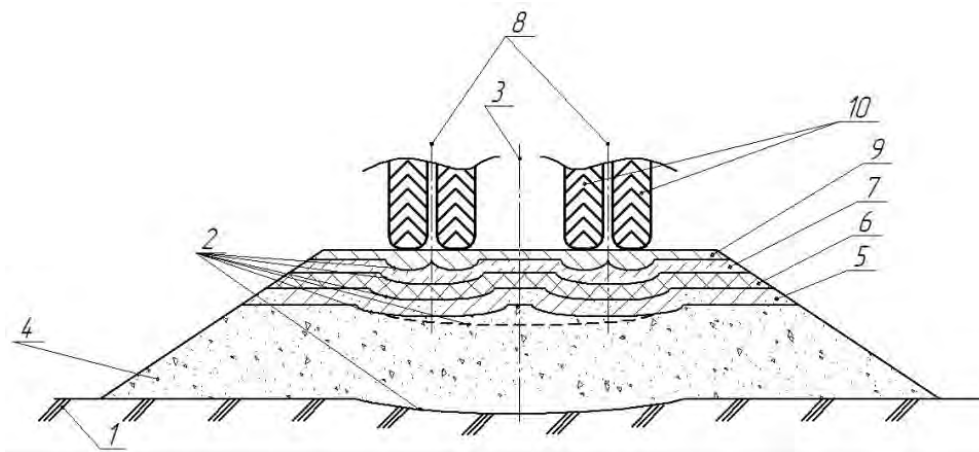


Рис. 2 Способ устройства многослойных дорожных конструкций
1 – грунт основания; 2 – прорези; 3 – ось симметрии прорезей; 4 – насыпь; 5 – основание; 6 – нижележащий слой покрытия; 7 – вышележащий слой покрытия; 8 – оси симметрии колесопроводов; 9 – верхний слой покрытия; 10 – спаренные колеса

Предлагаемое техническое решение (рис. 2) позволяет добиться повышения несущей способности многослойной дорожной конструкции за счет обеспечения равномерной передачи колесной нагрузки по всем слоям дорожной конструкции, вплоть до грунтового основания, что поможет уменьшить толщины некоторых слоев [2].

К разряду технических решений повышающих работоспособность дорожных конструкций можно отнести способ строительства, при котором колеи полос движения (рис. 3) предлагается выполнять криволинейного очертания, в соответствии с разработанной концепцией изменения напряжений

в грунте по закономерностям линий равных напряжений, с укладкой в них геотекстильного материала.

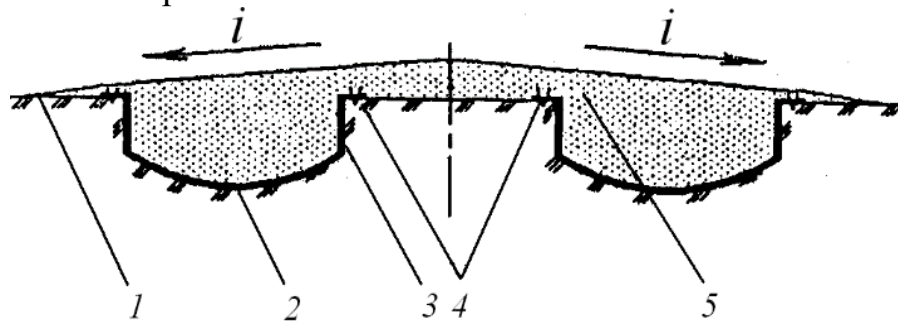


Рис. 3. Вариант конструкции дорожной одежды колеинового типа:

1 – грунт основания; 2 – колеи; 3 – синтетический материал;
4 – вертикальные связи; 5 – слой покрытия

Дорожные же конструкции лесных транспортных путей, как правило, имеют либо грунтовые покрытия, либо покрытия из гравийных или песчано-гравийных материалов. На таких дорогах предусматривается введение в конструкцию вертикальных и горизонтальных прослоек из геотекстильных материалов.

Основные функции, которые выполняют горизонтально уложенные прослойки из геотекстилей в конструкциях дорог: армирование и разделение слоев из насыпного и слабого грунтов. Вертикальные упрочняющие прослойки, способствуют гашению разрушающих напряжений, а также препятствуют интенсивному боковому смещению частиц и армируют дорожную конструкцию по вертикали.

Для повышения эксплуатационных качеств автомобильных дорог, содержащих прослойки, и упрощения процесса их строительства, предлагается способ устройства дорожного покрытия, предполагающий соединение воедино вертикально устанавливаемых полос из геосинтетического материала с горизонтально укладываемым материалом (рис. 4).

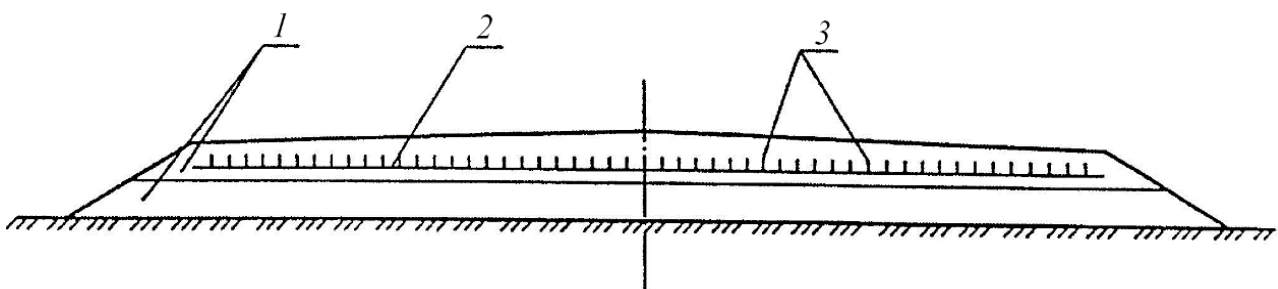


Рис. 4. Дорожная конструкция с комбинированной прослойкой:

1 – земляное полотно с дорожной одеждой; 2 – горизонтально уложенный геосинтетический материал; 3 – вертикальные полосы

К разряду новых технических решений повышающих работоспособность дорожных конструкций можно отнести способ строительства, при котором колеи полос движения предлагается выполнять с учетом распределения колесной нагрузки по глубине, в соответствии с разработанной концепцией

изменения напряжений в грунте по закономерностям линий равных напряжений.

Всестороннее изучение практики строительства лесных автомобильных дорог на основаниях с низкой несущей способностью грунтов (пониженные переувлажненные места, торфяные грунты, заболоченная местность) дает возможность выделить ряд следующих наиболее характерных вариантов взаимодействия устраиваемых дорожных конструкций с поверхностью грунтовых оснований (рис. 5).

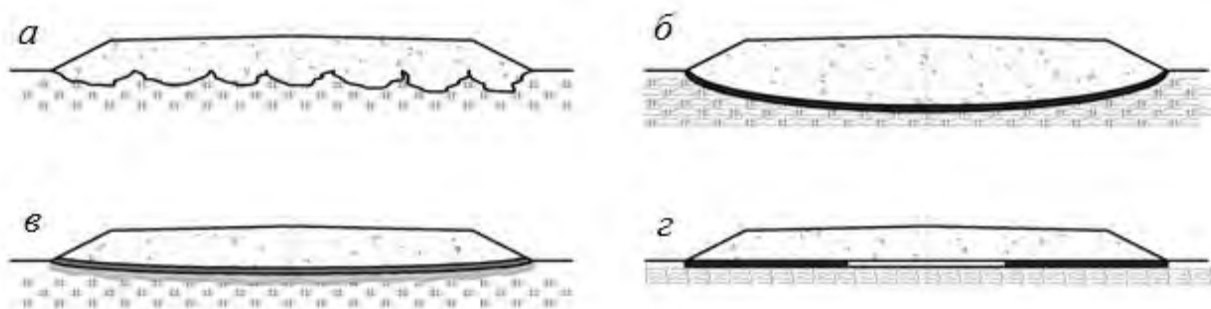


Рис. 5. Варианты контакта насыпи с поверхностью слабого грунтового основания:

а – насыпь на торфяном грунте;

б – насыпь на слабом основании с гибкой геотекстильной прослойкой;

в – насыпь на слабом основании с относительно жесткой геотекстильной прослойкой;

г – насыпь на жестком настиле, уложенном на торфяном грунте

В данном случае существенное влияние на форму криволинейного контакта оказывает как вид и состояние грунта основания, так и степень гибкости разделяющей прослойки. В частности, чем ниже несущая способность грунта и меньше гибкость прослойки, тем больше кривизна контакта насыпи на границе с основанием.

Как можно видеть наиболее эффективно использование для целей строительства на основаниях с низкой несущей способностью насыпи на жестком настиле. Настил можно устраивать в виде различного сочетания жестких поперечных элементов (круглые деревянные, синтетические трубы различных диаметров и других элементов с положительной плавучестью) с рулонными геотекстильными материалами. Причем поперечные элементы могут укладываться как вплотную друг к другу, так и в виде разреженного (рис. 5) настила.

Смонтированные таким образом конструкции, не позволяют за счет наличия геотекстильного материала просыпаться на слабое основание грунту насыпи, и вместе с тем жесткие поперечные элементы обеспечивают вертикальную осадку насыпи по всей ширине ее подошвы.

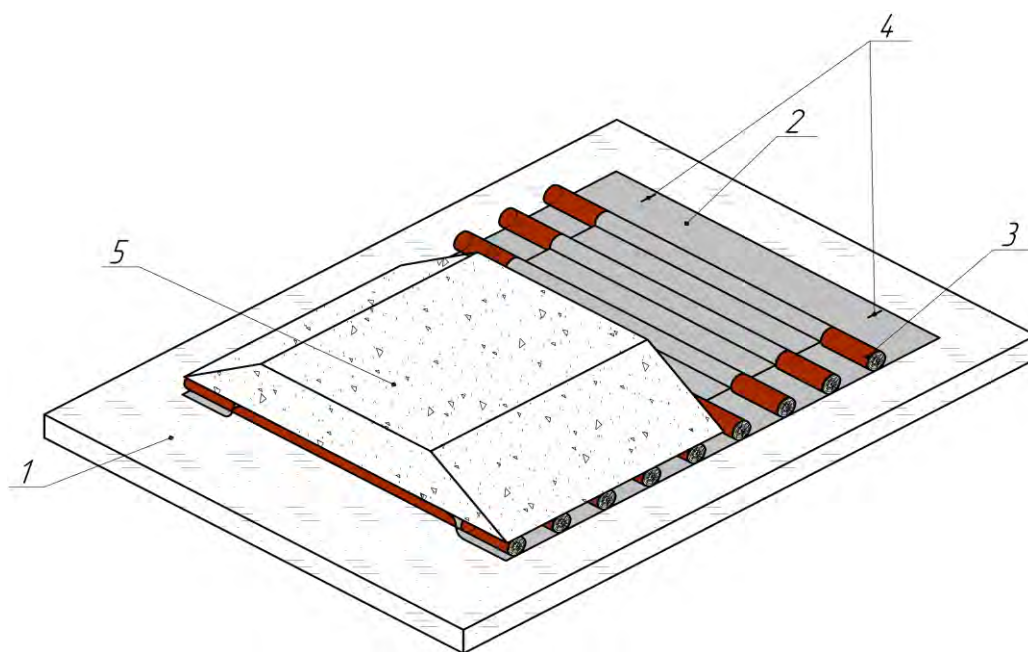


Рис. 6 – Насыпи с геотекстильной прослойкой и разреженным настилом:
 1 – основание из слабого грунта; 2 – гибкая прослойка из синтетического текстильного материала; 3 – поперечные элементы; 4 – прорезы, симметричные оси дороги; 5 – земляное полотно

Заключение. Разработанные, достаточно разноплановые дорожные конструкции и способы их возведения, предлагаемые для практического применения способны в полной мере учитывать принципы восприятия, передачи и распределения подвижной колесной нагрузки по их глубине с учетом конструктивных особенностей слоев и слагающих их материалов. Причем рассмотренные технические решения позволяют повышать несущую способность автомобильных дорог, устраиваемых на местности с различными грунтово-гидрологическими условиями. Данные разработки предполагают использование в своих конструкциях современных дорожно-строительных материалов, позволяют снизить материалоемкость дорожных одежд и земляного полотна, эффективно применять местные грунты и, в конечном счете, направлены на повышение работоспособности и снижение стоимости строительства автомобильных дорог.

Библиографический список

1. Насковец М.Т., Драчиловский А.И., Дини М.Н. Взаимодействие насыпей лесных автомобильных дорог, содержащих упрочняющие прослойки с торфяным основанием // Вестник СибАДИ. Вып. 6(46), 2015. С. 71-75.
2. Насковец М.Т., Дини М.Н. Комбинированные геосинтетические прослойки для устройства лесных дорог. Конструкции и результаты лабораторных испытаний // Труды БГТУ. 2017, №1: Лесное хоз-во. С. 109-114.

Сведения об авторах

ФИО Насковец М.Т.
Организация Белорусский государственный технологический университет
e-mail naskovets@belstu.by

ФИО Борозна А.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3705-7499
e-mail 3349280@mail.ru

Ключевые слова: дорожные конструкции, прослойки из геотекстильных материалов, работоспособность дорожных конструкций.

УДК 625.7

Разделы рубрикатора ГРНТИ 67.17.23. Машины, механизмы и оборудование для строительства дорог.

Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля

Кривоногова А.С., Бирман А.Р.

Введение. Для лесопромышленного комплекса задача глубокой переработки низкосортной лиственной древесины является остроактуальным. Один из возможных вариантов её решения является термохимическая переработка. Основным продуктом этой переработки – древесный уголь, который может служить основой для получения таких уникальных по своим свойствам нанопористых продуктов как углеродные монообменники, активированный уголь, эффективные сорбенты и т.п. продукция.

В настоящее время исследование древесины и древесных материалов – крупный самостоятельный раздел науки.

Опираясь на данные предварительного анализа, которые позволяют утверждать о пригодности древесины осины для производства качественного древесного угля и древесноугольных материалов [10]. Исследуем способы подготовки древесного сырья путём его модификации, переработки древесины и древесного угля с целью получения конечного продукта в виде сорбентов для очистки водных сред от ионов тяжёлых металлов и органических включений, устанавливаем закономерности и уравнения связи для расчёта технологических режимов обработки и устанавливаем показатели свойств новых материалов [7, 8].

Цели и задачи. Классификация существующих способов пропитки капиллярно-пористой структуры (КПС) основана на трёх основных физических явлениях, происходящих при пропитке [14, 15]: перемещение жидкости под действием капиллярных сил, диффузное перемещение молекул или ионов пропитывающего вещества; перемещение жидкости под действием внешнего избыточного давления.

Под теоретической моделью капиллярно-пористой структуры (КПС) понимают воображаемое тело, состоящее из системы гипотетических капилляров, эквивалентное в отношении тех или иных свойств (гидродинамических, капиллярных и других) исследуемому пористому телу [13].

Простейшая капиллярная модель представляет собой систему параллельных прямых трубок одинакового радиуса и одинаковой длины, равной длине рассматриваемого тела, в направлении потока движущейся сквозь него жидкости [4].

Результаты и обсуждение исследований. Взаимосвязь структуры древесины и древесного угля можно увидеть с помощью электронной микроскопии. Микрофотограммы образцов древесного угля и древесины показывают, что в угле сохраняются основные анатомические компоненты древесины: сосуды, годовичные кольца, волокна, сердцевинные лучи, (рис. 1, 2) [16].

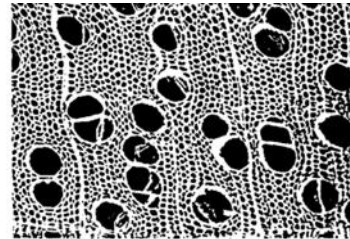
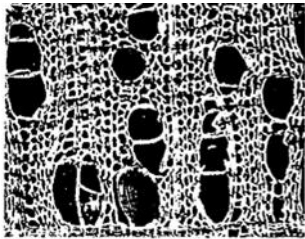


Рис. 1. Микрофотограммы поперечного среза (увеличение в 200 раз)
а – древесина берёзовая *б* – уголь из древесины берёзовой

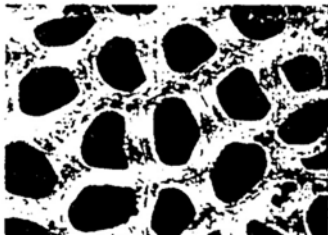


Рис. 2. Микрофотограммы поперечного среза (увеличение в 200 раз):
а – древесина берёзовая *б* – уголь из древесины берёзовой

Результаты статистической обработки микрофотограмм представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Распределение общей пористости берёзовой древесины и полученного из нее древесного угля

Доля от общей пористости, %	Древесина	Древесный уголь
Сосуды	23,6	24,2
Волокна	35,4	50,2
Лучи	11,6	8,0
Стенки сосудов и волокон	29,4	17,6

Как видно из таблицы, в процессе пиролиза заметно увеличивается пористость волокон при незначительном увеличении пористости сосудов. При этом снижается доля пористости, обусловленная порами лучей и стенок сосудов и волокон. Под действием высокой температуры происходит выгорание межклеточного вещества и клеточных стенок (толщина стенок снижается от 4,2 до 1,27 мкм, т.е. более чем в три раза), нарушаются соединения между отдельными элементами сосудов.

Пористость древесных углей не находится в прямой зависимости от их прочности [10-12]. Более пористый древесный уголь может быть более прочным, чем менее пористый, если стенки клеток прочны. Прочность же стенок клеток угля сильно возрастает с повышением температуры прокаливания угля при увеличении его пористости. Отношение между порами и плотной массой древесных углей зависит от толщины стенок клеток, благодаря чему это отношение бывает различно не только для разных пород, но даже для одной и той же породы [16]. Отношение объёма пор ко всему объёму древесного угля для осинового угля в среднем составляет 0,72.

Общая пористость не является постоянной величиной и кроме качества и породы древесины, а также способа получения угля, зависит ещё от гранулометрического состава угля. Так, при измельчении угля от размеров куска 2x2x4 см до размеров зёрен 0,3 см общая пористость его уменьшается на 7...10%, что происходит за счёт исчезновения крупных пор и трещин при измельчении угля. Это положение является важным для настоящей работы, так как она связана с анализом сорбционной способности кускового активированного угля и возможностью его регенерации, практически неосуществимой при использовании порошкообразных сорбентов.

Для получения сорбентов на базе окислённых углей необходимо ввести жидкий окислитель (в данном исследуемом варианте) в поровое пространство угля-сырца методом пропитки.

Использование чисто капиллярного давления без давления внешнего по нашему мнению технологически затруднено при производстве окислённых углей. Особенно порошкообразной фракции значительного объёма и применении окислителей, например, пероксида. Полная сквозная пропитка в этом случае является длительным не технологичным процессом без фиксированных временных границ [2, 5].

Диффузионная пропитка технически осуществляется кратковременным или длительным погружением КПС в ванны с последующей выдержкой. Диффузия в чистом виде определяется законом Фика [5, 9, 13].

$$i = D \cdot \frac{dk}{dx}, \quad (1.1)$$

где i – плотность потока диффундирующих молекул; D – коэффициент диффузии; k – концентрация вещества в растворе; x – длина пути направления диффузии.

Как и капиллярная, полная диффузионная пропитка не имеет фиксированных временных границ, но, при наличии достаточного экспериментального опыта и накоплении предприятием надёжных

статистических данных, может быть использована для сквозной равномерной пропитки [1].

Пропитка центробежным способом основывается на взаимодействии находящихся в поле центробежных сил пропитывающей жидкости и капиллярно-пористой структуры, например, древесины или древесного угля. При использовании центробежного способа значительно сокращается продолжительность пропитки [2, 6]. Эффективность данного способа обусловлена тем, что удаление влаги происходит за счёт градиента давления, возникающего в материале, помещённом в центробежном поле. Это же положение относится к процессу пропитки [13 – 15].

Параметром, определяющим процесс пропитки, принято считать линейную скорость торца материала, или параметр пропитки h :

$$h = \omega^2 \cdot R^2, \quad (1.2)$$

где ω – частота вращения; R – радиус дальнего торца материала [3].

Результаты и обсуждение исследований. Степень обезвоживания зависит от структуры, параметра обезвоживания, начального состояния древесины. Например, ядровая часть хвойной древесины вследствие перекрытия пор в стенках трахеид обезвоживается заметно хуже (на 30...40%) заболонной части [3].

При высокой эффективности сушки древесины центробежным способом очевидна привлекательность применения этого метода для пропитки древесины (замещение пропитывающим составом свободных воздуха или влаги, находящихся древесине) [9].

Интенсификация процессов пропитки за счёт центробежной нагрузки изучены в основном для древесины, а для древесного угля в этой области проведено недостаточно исследований. Кроме этого, отрасль пока не оснащена в достаточной степени оборудованием, создающим поле центробежных сил (центрифугами, барабанами и т.д.). Поэтому необходимы дальнейшие исследования в направлении математического моделирования как процессов уплотнения древесины, используемой для пиролиза, так и процессов пропитки древесного угля водорастворимыми веществами.

Наиболее широкое применение получили три способа пропитки под давлением. По терминологии Сенежской лаборатории консервирования древесины – это способ ВДВ (вакуум – давление – вакуум), ДДВ (давление воздушное – давление жидкостное – вакуум) и ДВ (давление – вакуум).

Другие способы пропитки, например, за счёт возбуждения в жидкости ультразвукового поля или за счёт электрогидравлического эффекта в настоящее время не получили широкого применения из-за их низкой производительности, высокой энергоёмкости и сложной реализации.

Заключение и выводы. Таким образом, исследования процесса пропитки не нашли своего окончательного завершения и продолжение работы в этом направлении является актуальной задачей.

Библиографический список

1. Бирман А.Р. Борирование древесины пропиткой с целью повышения её нейтронозащитных свойств / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 208. – СПб: ИПО СПбГЛТУ, 2014.– С. 130-137.
2. Бирман А.Р. Использование методов пропитки длинномерных сортиментов сырья / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2015 №1 – Нижневартовск: НВГУ, 2015. – С. 45-48.
3. Бирман А.Р. Критический анализ использования способов пропитки с целью повышения качественных характеристик древесного сырья / Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Кривоногова А.С., ТоанНгуен Ван // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2016. – С. 58-60.
4. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан. Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения // Научное обозрение. 2015. Вып. 17. 462 с. С. 90-94.
5. Бирман А.Р. Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А. // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – С. 238-243.
6. Бирман А.Р. Пропитка древесины гидростатическим способом / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сборник науч. труд.по материал. заоч. НПК, 2014 г. №5 ч. 4 (10-4). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – С. 33-38.
7. Бирман А.Р. Технологическое устройство для пропитки капиллярно-пористых тел / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Т.Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2017. – С. 99-101.
8. Кривоногова А.С. Актуальность разработки модели установки для пропитки капиллярно-пористых тел / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Нгуен Ван Тоан // Инновационные процессы в научной среде: сборник статей МНПК. 2016, Ч. 3 – Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016. – С. 54-56.

9. Кривоногова А.С. Математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – С. 251-256.
10. Кривоногова А.С. Моделирование процесса пропитки капиллярно-пористых структур в производстве древесно-угольных сорбентов / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан, Белоногова Н.А. // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – С. 204-205.
11. Кривоногова А.С. Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник трудов по материалам международной заочной НПК, 2015. - № 2, ч.1 (13-1). Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2015. – С. 236-240.
12. Кривоногова А.С. Разработка экспериментального технологического устройства для пропитки капиллярно-пористых тел / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Нгуен Ван Тоан. // Инновационные механизмы решения проблем научного развития: сборник статей МНПК. 2016, Ч. 3 – Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016. – С. 63-65.
13. Пятакин, В.И., Тишин Ю.Г., Базаров С.М. Техническая гидродинамика древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 304 с.
14. Соколова В.А. Использование железо-водных и дерево-железных смесей в защите от ионизирующих излучений / В.А Соколова, А.Р. Бирман, В.В. Орлов, А.В. Теппоев, А.С. Кривоногова, И.В. Бачериков, Г.К. Парфенопуло // Системы. Методы. Технологии. № 1 (37)/ 2018. – Братск: БрГУ, 2018. – С. 94-99.
15. Торцовая пропитка длинномерных сортиментов / А.Р. Бирман, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова // Научное обозрение. № 7/2014. – М.-Саратов, 2014. – 281-286 с.
16. Юрьев, Ю.Л., Древесный уголь. Справочник /автор и составитель Ю.Л. Юрьев. Екатеринбург: Издательство «Сократ», 2007. – 184 с.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.	
Организация	Санкт-Петербургский	государственный
	лесотехнический университет имени С.М. Кирова	
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия	
SPIN-код	8399-6121	
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com	
ФИО	Бирман Алексей Романович	
Организация	Санкт-Петербургский	государственный

лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 3247-9904
e-mail birman1947@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются методики проведения экспериментов по пропитке капиллярно-пористых структур. Проведен критический анализ способов пропитки капиллярно-пористых структур. Даны рекомендации по осуществлению встречно-центрифужного способа пропитки в поле центробежных сил и определены режимы пропитки на экспериментальном и производственном оборудовании. Произведен анализ явлений, происходящих в древесине в процессе ее модификации и выявлено влияние определяющих факторов процесса на свойства конечного продукта. **Проведен критический анализ способов пропитки древесины.** Получены опытные результаты, характеризующие недостатки некоторых методов пропитки, также малопроизводительные методы пропитки древесины. Сделаны выводы, классифицирующие методы пропитки капиллярно-пористых структур по основным физическим явлениям, происходящим при пропитке капиллярно-пористых структур.

Ключевые слова: древесина, капиллярно-пористые структуры, пропитка в поле центробежных сил, wood, capillary-porous structure, treatment in the field of centrifugal forces.

УДК 630*841.21:544.022.537

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.03

Исследование дорожно-строительного материала для лесных дорог с использованием осадка промывных вод ГУП «Водоканал СПб», укрепленного вяжущими

Зубова О.В., Пигарев В.Е., Мячиков Е.Я.

Введение.

Лес – это огромный источник полезнейших ресурсов, которыми мы пользуемся мало и не рационально. Не имея развитую дорожную сеть, не получится эффективно использовать добытые в лесу материалы и обеспечить должный уход за ним.

Дороги представляют собой один из важнейших элементов инфраструктуры лесной промышленности. Экономическое развитие лесного региона напрямую зависит от того, насколько развита дорожная сеть.

От качества и протяжённости лесных дорог зависит финансовое состояние лесных предприятий: время доставки лесной продукции до складов, расход топлива, износ и частота ремонта. Также налаженная доступная транспортная сеть позволяет снизить лесную пожароопасность.

На сегодняшний день проблема строительства дорог обусловлена снижением объёмов лесозаготовок в связи с отдалённостью массивов эксплуатационных лесов, в том числе высокой стоимостью дорожно-строительных материалов.

Обеспечить качество дорог возможно, только создав устойчивые основания (земляное полотно), прочные конструкции дорожных одежд, современную дорожно-строительную технику и передовые технологии. При этом возведение дорог очень дорогостоящее дело. Одним из способов снижения стоимости возведения дорог является применение дешёвых материалов, которые получают из отходов различной промышленности.

На протяжении последних десятилетий всё более активно исследуется возможность применения различных отходов промышленности при строительстве лесных дорог. В данной области получены высокие результаты. Например, шлаковые и зольные отходы уже нередко применяются в строительстве, как дорог общего пользования, так и лесных дорог. В данном исследовании нами рассматривается возможность утилизации осадка промывных вод ГУП «Водоканал СПб».

На кафедре Промышленного транспорта проведены исследования по применению в дорожной одежде лесных дорог золы от сжигания осадка сточных вод ГУП «Водоканал СПб». По данным испытаний, получены положительные результаты, которые подтверждены патентом № 2471913.

В результате очистки питьевой воды образуется большое количество загрязняющих веществ, которые оседает в очистных сооружениях. Данный материал требуется утилизировать или переработать, чтобы избежать захоронения на полигонах и загрязнения окружающей среды. Для больших объёмов данного отхода было предложено использовать его в строительстве лесных дорог.

Цель исследования: получение нового дорожно-строительного материала, улучшение его свойств получаемого состава, а также утилизация отходов промышленности.

Описание исследуемого материала.

Осадок промывных вод ГУП «Водоканал СПб» получается в результате очистки питьевой воды. Технологический процесс водоподготовки включает следующие основные этапы:

- аммонирование воды (используется сульфат аммония)
- обеззараживание воды (используется гипохлорит натрия)
- коагуляция загрязняющих веществ (используется сульфат алюминия)
- флокуляция (используется катионный флокулянт)
- фильтрация через песчаную загрузку на контактных осветлителях (одноступенчатая схема очистки)
 - отстаивание и фильтрация через песчаную загрузку на скорых фильтрах (двухступенчатая схема очистки)
 - обеззараживание УФ-излучением

С 2007 года в Водоканале действует уникальная двухступенчатая технология комплексного обеззараживания питьевой воды на водопроводных станциях Санкт-Петербурга.

Она включает в себя использование высокоэффективного и одновременно безопасного реагента - гипохлорита натрия (химический метод) и ультрафиолетовую обработку воды (физический метод). Эта комбинация позволяет полностью гарантировать эпидемиологическую безопасность водоснабжения Санкт-Петербурга, а также полное соответствие микробиологических показателей качества воды действующим нормативам.

Осадок промывных вод ГУП «Водоканал СПб» выпадает при коагуляции. Хлопья образуются сначала за счет части взвешенных частиц и коагулянта или только коагулянта. Образовавшиеся хлопья последнего сорбируют вещества, загрязняющие сточные воды и, осаждаясь вместе с ними, очищают воду.

При использовании в качестве коагулянтов солей алюминия и железа в результате реакции гидролиза образуются малорастворимые в воде гидроксиды железа и алюминия, которые сорбируют на развитой хлопьевидной поверхности взвешенные, мелкодисперсные и коллоидные вещества и при благоприятных гидродинамических условиях оседают на дно отстойника, образуя осадок.

Коагуляция – способность дисперсных систем выделяться на растворе под влиянием внешних воздействий. Вещества, обуславливающие коагуляцию называются коагулянтами. Центробежное отделение твердой фазы под действием центробежных и центростремительных сил происходит таких аппаратах, как центрифуги и гидроциклоны. Применяется для очистки стоков от мелкодисперсных и коллоидных примесей.

Для очистки производственных сточных вод применяют различные минеральные коагулянты.

1. Соли алюминия. Сульфат алюминия (глинозем) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (плотность 1,62 т/м³, насыпная масса 1,05-1,1 т/м³, растворимость в соде при температуре 20⁰С-362 г/л).

2. Соли железа. Сульфат двухвалентного железа, или железный купорос $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (плотность 3 т/м³, насыпная масса 1,9. т/м³, растворимость в воде при температуре 20 °С-265 г/л).

Нефелиновый шлам – шламообразный отход, образующийся при производстве глинозема, содержащий 80 – 85% белита или двухкальциевого силиката; остальное количество массы – гидраты глинозема, железа, сульфаты натрия и калия, комплексные гидраты.

Таблица 1. Зерновой состав нефелинового шлама.

Содержание частиц различной крупности, мм							
> 5мм	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0.25–0.1	< 0.1	Всего
0,26	0,23	1,96	19,67	41,04	32,81	5,02	100%

Комплексное вяжущее для укрепления портландцемент марки 400, также Портландцемент марки М-400 – это гидравлическое вяжущее вещество, в составе которого преобладают силикаты кальция (70-80%). Это вид цемента, наиболее широко применяемый во всех странах.

В связи с тем, что осадок промывных вод содержит в своём составе органику и нестабилен при укреплении минеральными вяжущими, для экономии цемента и снижения водопоглощения используется битум марки СГ 40/60.

Методика исследования. Анализ полученных результатов выполнялся в программе Microsoft EXCEL. Для создания образцов использовались металлические цилиндры, плунжеры диаметром 3,5см, рычажный настольный пресс, эксикаторы для хранения образцов; электронные весы, часы песочные, штангенциркуль и др. оборудование.

Давление для уплотнения образцов – 150 МПа в течение трёх минут; – взвешивание, измерение габаритов, хранение полученных образцов воздушно-влажное в эксикаторах 28 суток; замачивание образцов 2 суток; испытание на рычажном настольном прессе.

Результаты испытаний образцов представлены в таблице 1.1 и на графиках (рис 1-4).

Исследование физико-механических свойств образцов с использованием осадка промывных вод, укрепленного вяжущими.

Таблица 1.1.

№ образца	Состав смеси, %			Водопоглощение, %, $W_{вп}$	Модуль упругости МПа $E_{упр.}$	Предел прочности при сжатии МПа $R_{сж}$
	НФШ	Осадок ПВ	Цемент			
1-5	30	70	4	6	44,1	0,025
1-6	30	70	4	6	0,34	0,025
1-17	30	70	6	6	48,2	0,029

1-18	30	70	6	6	0,79		0,041
1-29	30	70	8	6		74,1	0,15
1-30	30	70	8	6	0,81		0,12
2-5	40	60	4	6		38,9	0,05
2-6	40	60	4	6	0,26		0,034
2-17	40	60	6	6		42,1	0,082
2-18	40	60	6	6	0,58		0,065
2-29	40	60	8	6		50,2	0,13
2-30	40	60	8	6	0,72		0,14
3-5	50	50	4	6		51,2	0,281
3-6	50	50	4	6	0,67		0,33
3-17	50	50	6	6		80,4	0,334
3-18	50	50	6	6	0,78		0,41
3-29	50	50	8	6		84,1	0,391
3-30	50	50	8	6	1,40		0,45

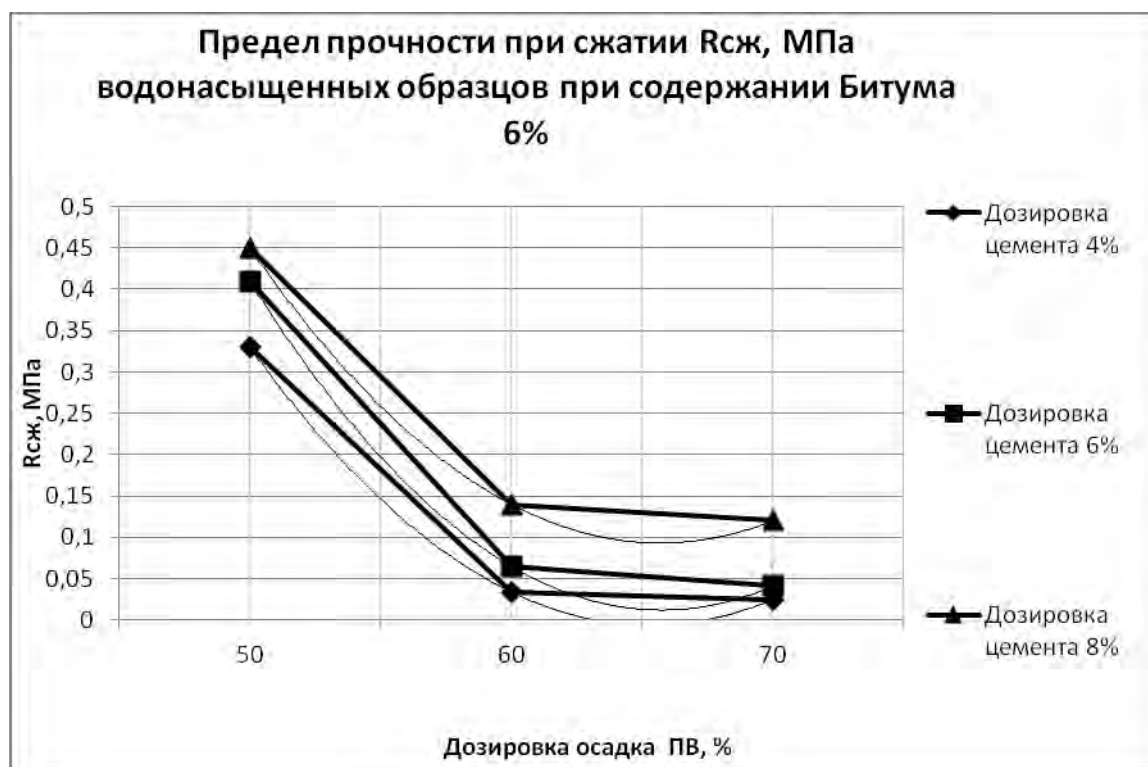


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов смеси НФШ и вяжущих от дозировки осадка промывных вод и цемента.

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:
 $y=0,1435x^2-0,7265x+0,913$
 $R^2 = 1$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:
 $y=0,1605x^2-0,8265x+1,076$
 $R^2 = 1$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 8% имеет вид:
 $y = 0,145x^2 - 0,745x + 1,05$
 $R^2 = 1$

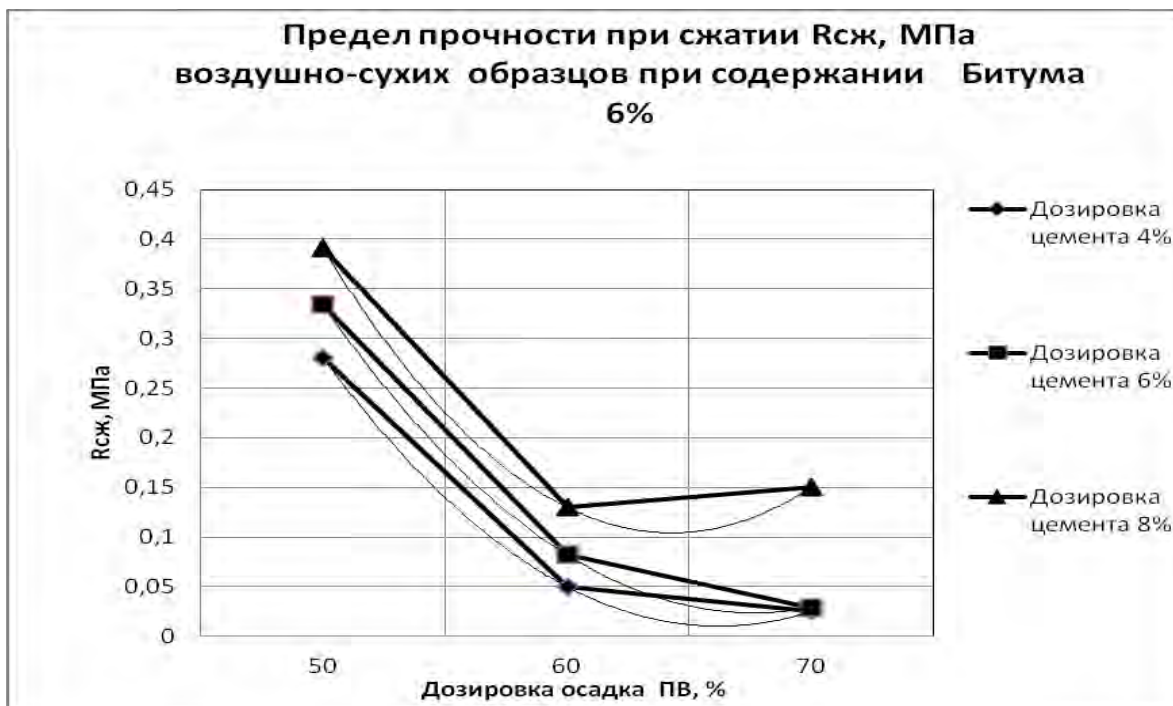


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии воздушно-сухих образцов смеси НФШ и вяжущих от дозировки осадка промывных вод и цемента.

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:
 $y = 0,103x^2 - 0,54x + 0,718$
 $R^2 = 1$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:
 $y = 0,0995x^2 - 0,5505x + 0,785$
 $R^2 = 1$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 8% имеет вид:
 $y = 0,1405x^2 - 0,6825x + 0,933$
 $R^2 = 1$

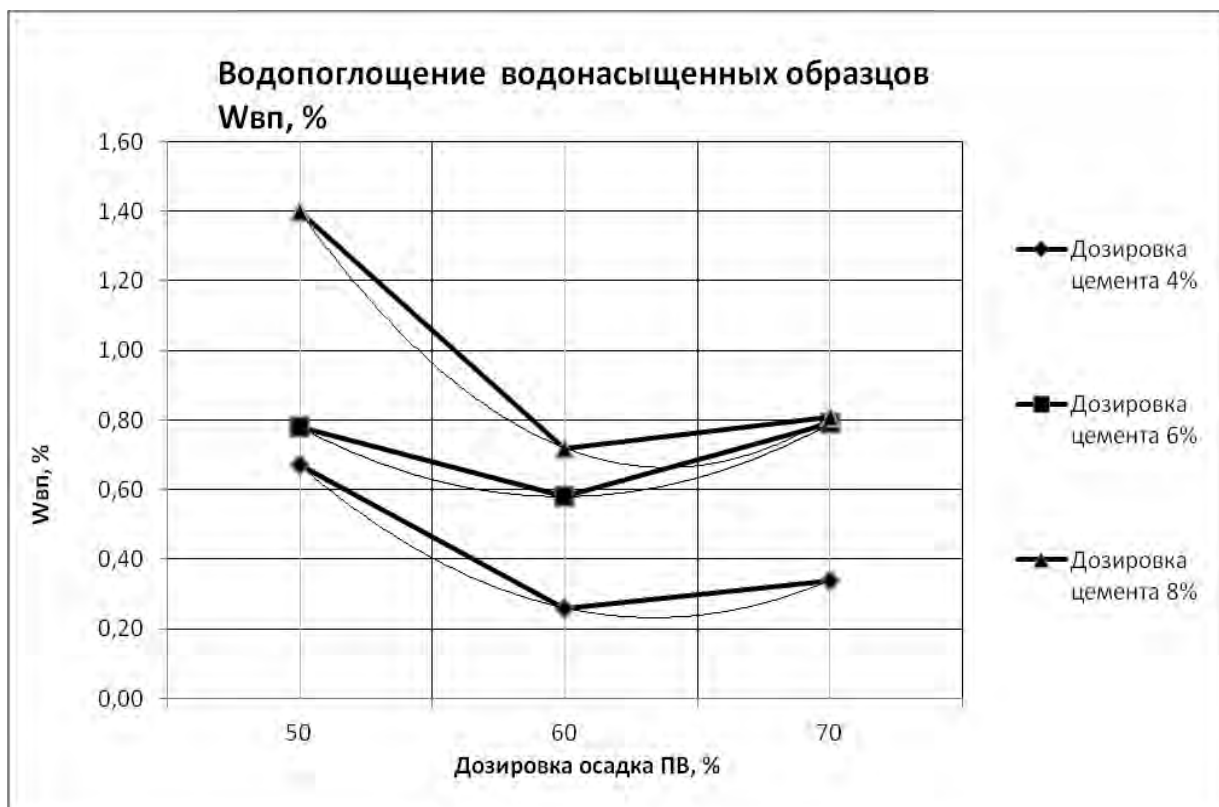


Рис. 3. Зависимость водопоглощения водонасыщенных образцов смеси НФШ и вяжущих от дозировки осадка промывных вод и цемента.

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:

$$y=0,245x^2-1,145x+1,57$$

$$R^2 = 1$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:

$$y=0,205x^2-0,815x+1,39$$

$$R^2 = 1$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 8% имеет вид:

$$y=0,385x^2-1,835x+2,85$$

$$R^2 = 1$$

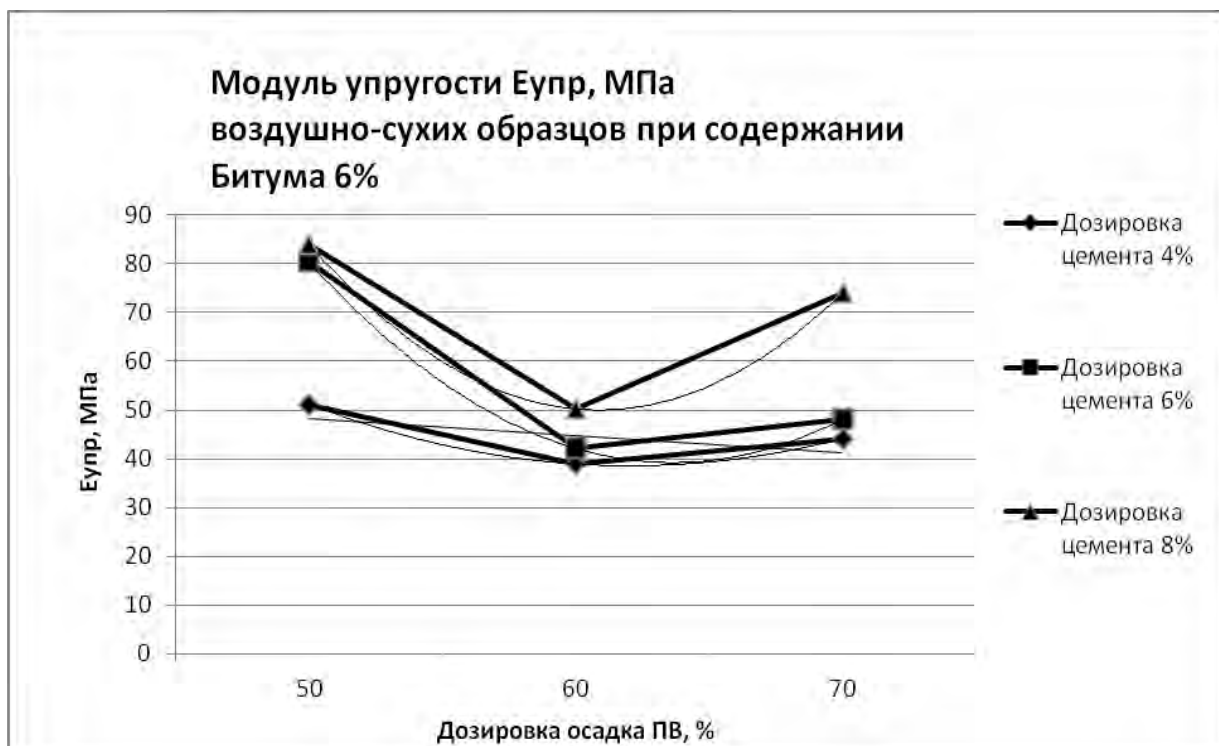


Рис. 4. Зависимость модуля упругости водонасыщенных образцов смеси НФШ и вяжущих от дозировки осадка промывных вод и цемента.

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:
 $y = 8,75x^2 - 38,55x + 81$
 $R^2 = 1$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:
 $y = 22,2x^2 - 104,9x + 163,1$
 $R^2 = 1$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 8% имеет вид:
 $y = 28,9x^2 - 120,6x + 175,8$
 $R^2 = 1$

Анализ графиков на рисунках 1-4 показывает, что предел прочности воздушно-сухих и водонасыщенных образцов снижается при увеличении дозировки осадка промывных вод. При содержании осадка 50% $R_{сж}$ составляет 0,3-0,45 МПа. Модуль упругости образцов во всем диапазоне дозировок находится в пределах от 40 до 85 МПа, а водопоглощение от 0,3 до 1,4% . Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования материала на основе осадка промывных вод, укрепленным комплексными вяжущими в слоях оснований дорожных одежд. Это позволит утилизировать большой объем осадка промывных вод, что непосредственно улучшит и экологические показатели. Необходимо продолжить исследования в данной области для получения большего количества данных.

Библиографический список

1. Зубова О.В., Пигарев В.Е. Влияние длительности процесса структурообразования золопесчаной смеси с комплексным вяжущим на прочность и водостойкость дорожно-строительного материала для лесных дорог. // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА материалы Международной научно-технической конференции. 2017. С. 66-67.

2. Способ устройства конструктивного слоя дорожной одежды на основе золы от сжигания осадков сточных вод. Зубова О.В., Бессараб Г.А., Суворова Н.А., Салминен Э.О. патент на изобретение 2471913 23.03.2011.

3. Безрук В.М. Укрепленные грунты. /Гурячков И.Л. и др. -М.: Транспорт, 1982. -231 с.

4. Сайт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»: http://www.vodokanal.spb.ru/vodosnabzhenie/tehnologii_ochistki/.

Сведения об авторах

ФИО Зубова Оксана Викторовна
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 6997-4065
e-mail Ok_z19@mail.ru

ФИО Пигарев В.Е.
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5679-9920
e-mail markosvks@mail.ru

ФИО Мячиков Е.Я.
Организация Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4458-4665
e-mail severevalenok@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассматривается возможность применения нетрадиционных дорожно-строительных материалов на основе осадка промывных вод ГУП Водоканал СПб, укрепленного комплексным вяжущим, с добавлением нефелинового шлама. В результате проведены исследования по возможности взаимодействия осадка с вяжущими и оптимизации состава смеси. Результаты исследований подтверждают эффективность использования данного отхода, был получен высокий результат по прочности разрабатываемого материала.

Ключевые слова: ГУП «Водоканал СПб, коагуляция, лесные дороги, осадок промывных вод, нефелиновый шлам, комплексные вяжущие, цемент; State Unitary Enterprise "Vodokanal SPb, coagulation, forest roads, sludge of washing water, nepheline sludge, complex binders, cement.

УДК 634.0.383.4:625814

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

Научное издание

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ИНСТИТУТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСПОРТА ЛЕСА
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ПО ИТОГАМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ 2017 ГОДА**

Материалы научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ

Редактор Соколова В.А.
Оригинал-макет подготовлен Бачериковым И.В.

Отпечатано в авторской редакции с готового оригинал-макета