

Министерство науки и высшего образования РФ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени  
С.М. Кирова»

---

*Институт технологических машин и транспорта леса*

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ИТОГАМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ 2022 ГОДА**

6 - 10 февраля 2023 г.



Санкт-Петербург  
2023

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

Ответственный редактор:

С.А. Угрюмов, доктор технических наук, профессор.

Члены редколлегии:

С.В. Спиридонов, кандидат технических наук, доцент.

А.А. Куликов, кандидат технических наук, доцент.

Л.Я. Громская, кандидат технических наук, доцент.

А.С. Кривоногова, кандидат технических наук, доцент.

А.В. Теппоев, кандидат технических наук, доцент.

УДК 630\*3

ГРНТИ 66.01.00, 66.17.00, 66.19.00

OECD 04.01. RF FORESTRY

ББК 43.90

Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2022 года [Электронный ресурс] / отв. редактор С.А. Угрюмов. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2023. – 355 с. Режим доступа: свободный. URL: <http://spbftu.ru>.

Collection of articles based on the materials of the scientific and technical conference of the Institute of Technological Machines and Forest Transportation based on the results of research work in 2022 [Electronic resource] / ed. editor S.A. Ugryumov. – St. Petersburg: SPbSFTU, 2023. – 355 p.

В сборнике представлены материалы докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ 2022 года института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета. Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов лесопромышленного комплекса. Сборник предназначен для работников лесной и деревоперерабатывающей промышленности, студентов, аспирантов и преподавателей вузов.

Сборник рецензируемый.

The collection presents materials from the reports of a scientific and technical conference on the results of research work in 2022 of the Institute of Technological Machines and Forest Transport of St. Petersburg State Forestry University. The subject of the conference covers a wide range of issues of the timber industry. The collection is intended for workers in the forestry and woodworking industry, students, graduate students and university professors.

The collection is peer-reviewed.

© СПбГЛТУ, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА.....	8
<i>Добрынин Ю.А., Васякин Е.А.</i> К вопросу оценки качества технологического процесса прокладки лесных противопожарных минерализованных полос.....	8
<i>Мотовилов Г.К., Антонова Т. С., Тюрин Н. А.</i> Обоснования региональной инфраструктуры пеллетного производства методом гравитационной модели.....	12
<i>Шифрин Б.М., Турбал Е.Ю.</i> Разработка модели процесса сортировки сухих пиломатериалов.....	16
<i>Федяев Ар.А., Сюткин Н.Д.</i> Использование древесных отходов для сорбционной очистки сточных вод.....	21
2. ЛЕСОЗАГОТОВКА И ТРАНСПОРТ ЛЕСА.....	25
<i>Добрынин Ю.А.</i> Об одной особенности микрорельефа трелёвочных волоков.....	25
<i>Добрынин Ю.А., Поликарпов А.О.</i> К вопросу оценки возмущений на ходовую систему транспортных машин в процессе их движения в лесных условиях.....	28
<i>Зубова О.В., Пархоменко В.А., Мальков Е.Ю.</i> Оценка эффективности работы отечественной и зарубежной дорожно-строительной техники при строительстве лесных дорог.....	32
<i>Зубова О.В., Петрова А.С., Швыдкая А.Д.</i> Внедрение инноваций в строительство лесных дорог.....	37
<i>Зубова О.В., Хохлов Г.И.</i> Особенности технологии строительства лесных дорог на переувлажненных грунтах .....	42
<i>Коваленко Т.В., Эйвазов А.Ф., Беспалов Р.С. Диваков Д.О.</i> Методика применения БПЛА для составления фотометрии дороги.....	46
<i>Ларин С.М., Громская Л.Я., Тюрин Н.А.</i> Особенности транспортного обеспечения интенсивной модели лесного хозяйства.....	51
<i>Силецкий В.В., Ляфишева М.Р.</i> Особенности расчета жестких дорожных одежд на лесной дороге: сравнение методов расчета и рекомендации.....	56
<i>Силецкий В.В., Рыбакова Е.В.</i> Эффективность применения различных реагентов для обеспыливания лесных дорог.....	59
<i>Силецкий В.В., Смирнова В.Н.</i> Применение щелочей в лесном дорожном строительстве: перспективы и ограничения.....	64
<i>Трофимов А.В., Зверев И.А., Мурашкин А.А.</i> Использование технологий «Индустрии 4.0» в лесозаготовительной отрасли.....	69
<i>Угрюмов С.С., Угрюмов С.А.</i> Разработка программного обеспечения для обоснованного выбора лесозаготовительного оборудования.....	74
<i>Хитров Е.Г., Беспалов Р.С., Диваков Д.О., Эйвазов А.Ф. Козловская К.А.</i> Изучение производительности трелевки форвардером.....	78

<i>Эполетов Д.В.</i> Исследование сопротивления движению сортиментных ПЛОТОВ.....	83
<b>3. ТЕПЛОТЕХНИКА, ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА.....</b>	<b>87</b>
<i>Иванов М.М., Костюшина К.И.</i> К вопросу об использовании автономных источников тепловой энергии.....	87
<i>Иванов Н.М., Спиридонов С.В.</i> Тепловой баланс опытной газогенераторной установки.....	92
<i>Иванова И.В., Иванов Н.М.</i> Разработка методики определения термохимических характеристик лигнина и отходов растительной биомассы.....	98
<i>Иванова И.В., Иванов Н.М., Аверина Н.М.</i> Перспективы промышленного применения центробежного питательного насоса при новой гидродинамической схеме.....	104
<i>Костюшина К.И., Иванова И.В.</i> Альтернативные источники энергии и возможность их применения в городе Санкт-Петербурге.....	110
<i>Сотина И.А., Марков В.А.</i> Анализ путей автоматизации теплицы.....	116
<i>Федяев А.А.</i> Исследование возможности снижения потребления ТЭР при производстве строительных материалов.....	120
<i>Федяев А.А.</i> Оценка параметров индивидуального жилого дома с пассивным солнечным отоплением.....	125
<i>Федяев А.А., Федяева Н.Ю.</i> Исследование эффективности тепловой защиты зданий.....	130
<b>4. МАШИНОСТРОЕНИЕ.....</b>	<b>136</b>
<i>Болдырев И.В., Чураков А.В., Шушков П.Н.</i> Разработка комплекса аппаратуры для исследования нагрузки режимов трансмиссии лесных машин.....	136
<i>Власов Е.Н., Вишнев Д.В.</i> Об особенностях проектирования промышленных роботов.....	141
<i>Власов Е.Н., Давыденко С.В.</i> О методике определения погрешности позиционирования промышленных роботов.....	145
<i>Власов Е.Н., Демиденко В.А.</i> О системах визуального определения положения объектов манипулирования в робототехнике.....	148
<i>Вшивцев П.А., Кретинин В.И., Тепноев А.В.</i> Реализация системы по обеспечению качества выпускаемой продукции на производстве.....	152
<i>Дурманов М.Я., Вяткова В.А., Васильев Л.А., Никонов В.С.</i> Моделирование скорости изнашивания вкладыша коренного подшипника двигателя ЯМЗ-238НД5 на неустановившихся режимах функционирования.....	158
<i>Дурманов М.Я., Спиридонов С.В., Васильев Л.А., Вяткова В.А., Никонов В.С.</i> Моделирование скорости изнашивания компрессионного кольца дизеля ЯМЗ-238НД5 на неустановившихся режимах функционирования.....	164

<i>Дурманов М.Я., Спиридонов С.В., Никонов В.С., Васильев Л.А., Вяткова В.А.</i> Влияние конструктивных параметров на величину часового расхода топлива колесного трактора.....	169
<i>Епифанцев К.В., Теплое А.В., Микулина А.А., Сотина И.А.</i> Разработка новых типов эталонов для калибровки кругломеров.....	173
<i>Зверев И.А., Трофимов А.В., Скобёлкин Д.А.</i> Анализ технологического процесса изготовления пильного диска захватно-срезающего устройства.....	178
<i>Кизилов А.Б.</i> Критерии рационального выбора метода упрочнения поверхностей деталей машин и оборудования лесного комплекса.....	183
<i>Кизилов А.Б., Рачков И.Д.</i> Применение современных антифрикционных материалов в узлах трения лесных машин.....	186
<i>Марков В.А., Карасев Ю.А., Попова Д.А.</i> Определение вероятности безотказной работы балансира гусеничного трактора.....	190
<i>Михайлов О.А.</i> Процесс колееобразования лесосечных колесных машин на снежном волокне.....	195
<i>Михайлов О.А., Захаров В.А.</i> Основы взаимодействия гусеничного движителя с лесным волокном.....	200
<i>Михайлов О.А., Захаров В.А.</i> Суммарный закон характеризующей свойства трелевочного волокна.....	204
<i>Мосеев И.Г., Дудкин М.Е.</i> К вопросам внедрения и применимости технологий цифровых двойников.....	209
<i>Пенкин А.Н.</i> Расчет долговечности при мягком малоцикловом нагружении.....	211
<i>Пенкин А.Н., Демиденко В.А., Вишнев Д.В., Торощин П.С.</i> Построение диаграмм деформирования при малоцикловой усталости.....	215
<i>Пенкин А.Н., Демиденко В.А., Вишнев Д.В., Торощин П.С.</i> Расчет кривых усталости при малоцикловом нагружении.....	219
<i>Силина В.И., Чураков А.В., Шушков П.Н.</i> Испытание систем исследования листовых рессор.....	223
<i>Тарадин Г.С., Вишнев Д.В.</i> Апробация математических моделей взаимодействия колесного движителя на заснеженной лесосеке.....	229
<i>Тарадин Г.С., Демиденко В.А.</i> Методика определения давления на заснеженную поверхность лесосечными машинами.....	234
<i>Тарадин Г.С., Торощин П.С.</i> Методика определения процесса сжатия снега колесным движителем лесосечной машины.....	238
<b>5. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ.....</b>	<b>245</b>
<i>Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Козлова И.К.</i> склеивание паркетных щитов в прессах проходного типа.....	245
<i>Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Козлова И.К., Ковалева О.Н.</i> Обоснование параметров прессового оборудования для склеивания паркетных щитов.....	250

<i>Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Козлова И.К., Фролов И.С.</i> Определение прочности двухслойных паркетных щитов с наклонным расположением реек подложки.....	256
<i>Горелик М.Д., Угрюмов С.А.</i> Использование отходов окорки древесного сырья в производстве королита.....	261
<i>Долгов К.А., Марков В.А.</i> Чувствительность САУ как критерий качества сушки шпона.....	266
<i>Угрюмов С.А., Козловская К.А.</i> Эффективные направления переработки коры на предприятиях лесопромышленного комплекса.....	269
<i>Федосеева М.А., Елисеев И.В.</i> Управление качеством пилопродукции с использованием систем распознавания образов.....	274
<i>Федяев Ар.А., Санжара Е.А., Сомов А.Б.</i> Исследование тепловых свойств древесины в зависимости от пороков строения.....	281
<i>Федяев Ар.А., Санжара Е.А., Сомов А.Б.</i> Исследование тепловых свойств древесины разных пород.....	285
<b>6. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ.....</b>	<b>289</b>
<i>Белов С.В., Рубан Р.Р., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.</i> Ретроспектива применения арочных конструкций в мостовых конструкциях и дорожном строительстве в лесопромышленном комплексе.....	289
<i>Диваков Д.О., Беспалов Р.С., Эйвазов А.Ф., Коваленко Т.В.</i> Применение вторично использованных материалов при строительстве лесных дорог..	294
<i>Дубинин А.К., Аншаков А.С., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.</i> Применение деревянных арочных конструкций на объектах промышленного, сельскохозяйственного строительства и лесопромышленного комплекса: актуальность применения.....	299
<i>Козлов Д.Д., Шифрин Б.М., Артемов Е.А.</i> Принятие решений в условиях риска при наличии инсайдерской информации.....	303
<i>Куликова Д.Р.</i> САПР сегодня и завтра.....	308
<i>Тарабан М.В., Вохмянин Н.А., Ан С.С.</i> Теория графов в представлении кредитных портфелей .....	312
<i>Тарабан М.В., Вохмянин Н.А., Крокина Д.Д.</i> Комбинаторные методы: рекурсия и динамическое программирование.....	315
<i>Тарабан М.В., Вохмянин Н.А., Эгамбердиев Р.Р.</i> Определения логики предикатов и общая концепция алгоритма.....	320
<i>Тепноев А.В., Сафонова Н.Ю., Кретицин В.И., Дудкин М.Е.</i> Влияние психофизиологических и климатических факторов на вахтовых работников.....	324
<i>Трофимов А.В., Зверев И.А., Мурашкин А.А.</i> О эффективном представлении компьютерных технологий в учебном процессе.....	330
<i>Хрусталева И.В.</i> Определение параметров многоклетевой установки с применением методов оптимизации.....	335

<i>Черный О.Г.</i> К теореме о конечном перемещении абсолютно твердого тела.....	338
<i>Чистяков С.М., Александров И.Д., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.</i> Функциональная и конструктивная целесообразность строительных ферм из древесных материалов в лесопромышленном комплексе.....	340
<i>Чураков А.В., Попов В.Д.</i> Применение механических тестеров.....	345
<i>Шифрин Б.М., Попова Д.А.</i> Разработка IDEF-модели процесса контроля качества.....	350

### **К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОКЛАДКИ ЛЕСНЫХ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПОЛОС**

**Добрынин Ю.А., Васякин Е.А.**

#### *Введение.*

Вопросы борьбы с лесными пожарами не теряют своей актуальности во времени, более того, динамика роста площадей лесных пожаров за последние десятилетия имеет тенденцию роста [1]. Более 90% пройденной огнём площади приходится на низовые пожары, для предупреждения возникновения которых, а также приостановления их распространения, прокладывают заградительные барьеры в виде минерализованных полос [2].

При создании минерализованных полос предъявляются соответствующие требования к их качеству, а в дальнейшем, при их длительной во времени эксплуатации, не должно быть потери качества, что можно обеспечить сравнительной количественной оценкой состояния полос методами теории надёжности.

В настоящее время надёжности лесных противопожарных минерализованных полос, при противопожарном обустройстве лесов, не уделяется должного внимания. Отсутствуют научные обоснования надёжности технологического процесса как на стадии их прокладки, так и на стадии их эксплуатации [3].

#### *Цель работы.*

На основе теории надёжности провести оценку технологического процесса механизированной прокладки лесных противопожарных минерализованных полос.

Под надёжностью минерализованной полосы принимаются её свойства как заградительного барьера, способного выполнять защитные функции на назначенном сроке их службы. Формирование надёжности минерализованной полосы обеспечивается на двух этапах:

- первым этапом является технологический процесс прокладки полос со свойствами надёжности требуемого качества и количества;
- вторым этапом является процесс эксплуатации полос с обеспечением свойств надёжности: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

В настоящей статье рассматривается первый этап.

#### *Методика исследования.*

При формировании требуемого уровня надёжности прокладываемой минерализованной полосы главная роль отводится применяемому техническому средству, обеспечивающему параметры полосы в конкретных лесорастительных условиях.



Минерализованные полосы, в основном создаются машинно-тракторными агрегатами (МТА), составленными на базе лесных гусеничных тракторов и лесных двухотвальных плугов. Прокладываемые ими полосы представляют собой борозды с пластами по обе стороны.

Условия работы МТА на прокладке полос имеют повышенную сложность присущую лесной среде. Это неравномерное распределение по поверхности лесной площади деревьев, подростов, кустарников, валежника, камней, влажности почвы, неровностей поверхности и многих других факторов оказывающих большое влияние на изменчивость значений качественных и количественных показателей прокладки борозд. Кроме того, негативное влияние оказывают часто встречаемые плугом мощные корни в верхнем слое почвы. В этой связи при прокладке полосы образуются отрезки разного качества.

Для получения достоверной информации о надежности протекания технологического процесса требуется применение вероятностно-статистического подхода. Значения показателей в этом случае являются случайными величинами по математическому ожиданию  $m(X)$  с диапазонами изменений  $m(X_{\min}) \dots m(X_{\max})$  с характерными среднеквадратичными отклонениями  $\sigma_x$  и коэффициентами вариации  $C_v$ , а также с вероятностями их появления  $P$ .

Минерализованная полоса состоит из трёх групп качества: длины  $m(L_{МП})$ , ширины  $m(B_{МП})$  и высоты минерализованного слоя  $m(H_{МП})$ . Эти параметры взаимосвязаны между собой и дают общую качественную и количественную характеристику исполнения проложенной полосы, как трёхмерного пространственного объекта. Из противопожарных требований – невозможности проникновения огня сквозь созданную полосу, её площадь должна быть полностью минерализована без погрешностей. Таким образом, главным показателем качества полосы следует считать её площадь  $m(F_{МП})$ :

$$m(F_{МП}) = m(L_{МП}) \times m(B_{МП}), \text{ м}^2. \quad (1)$$

При этом вся площадь  $m(F_{МП})$  должна соответствовать для конкретных лесорастительных условий заданной высоте слоя  $m(H_{МП})$ .

Каждая группа по своему исполнению представлена подгруппами хорошего  $m(L_{ХК}), m(B_{ХК}), m(H_{ХК})$  и плохого  $m(L_{ПК}), m(B_{ПК}), m(H_{ПК})$  качества, при этом показатели подгрупп представляют вспомогательный уровень. Основные показатели можно представить в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} m(L_{МП}) &= m(L_{ХК}) + m(L_{ПК}), \text{ м.} \\ m(B_{МП}) &= m(B_{ХК}) + m(B_{ПК}), \text{ м.} \\ m(H_{МП}) &= m(H_{ХК}) + m(H_{ПК}), \text{ м.} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Как видно из приведенной части структуры процесса прокладки полосы пахотным агрегатом качество длины её выполнения сопровождается значительным количеством отрезков брака. Случайный характер расположения отрезков брака делает полосу уязвимой по проникновению низового пожара. Форма и количество

отрезков брака полностью зависят от сложности лесорастительных условий и приспособляемости МТА к обеспечению качественных и количественных свойств надёжности по противопожарным требованиям.

Устранение брака минерализованной полосы осуществляют с помощью мотоинструмента, а также другого противопожарного снаряжения и инвентаря [4]. При восстановлении качества полосы, пласти устанавливают на место согласно размерам ширины полосы и прижимают их к почве, а рваные и разорванные пространства пластов минерализуют почвогрунтом из борозды. На отрезках с выглублением плуга формируют профиль борозды по соответствующим размерам. При этом почвогрунт укладывают по обе борозды в размерах поперечного сечения полосы.

При прокладке минерализованных полос учитывают возможную общую длину неустроенных участков плохого качества  $m(L_{\text{НПК}})$ . Условием возможности допущения таких участков является рассредоточение их суммарной длины не более 3 м на каждых 100 м созданной полосы, также учитывают степень заделки растительных остатков на противопожарной полосе. Она должна быть не менее 90% поверхности полосы [5].

В качестве оценочного показателя эффективности реализации технологического процесса механизированной прокладки минерализованной полосы МТА, принят следующий коэффициент надёжности:

$$m(K_{\text{АНП}}) = m(F_{\text{ХК}}) / (m(F_{\text{МП}})). \quad (3)$$

#### *Результаты исследования.*

По результатам наблюдений за работой МТА, состоящего из лесохозяйственного гусеничного трактора ЛХТ-4М класса тяги 40кН и лесного двухотвального широкозахватного плуга ПЛШ-1,2, создающего минерализованную полосу шириной 2,4 м с бороздой шириной 1,2 м и глубиной 0,24 м, по выражению (3) на основе экспериментальных исследований процесса прокладки полосы [6], получено значение коэффициента надёжности  $m(K_{\text{АНП}})=0,67$ .

Этот результат, являющийся оценочным показателем эффективности реализации технологического процесса механизированной прокладки минерализованной противопожарной полосы, указывает на низкую приспособляемость МТА к выполнению работ в конкретных лесорастительных условиях, когда неудовлетворительное качество проложенной полосы составляет 33%.

Чтобы повысить значение коэффициента надёжности требуется проведение дополнительных работ с применением ручного инструмента, а также, проведение предварительной расчистки полос от подроста, подлеска и захламлиенности участка, предназначенного для прокладки полосы соответствующим МТА.

#### *Заключение.*

Лесные противопожарные минерализованные полосы имеют существенное значение в борьбе с низовыми пожарами. Их эффективное функционирование непосредственно зависит от надёжности как технологического процесса прокладки, так и на последующем назначенном сроке их службы. На примере механизированной

прокладки минерализованной полосы машинно-тракторным агрегатом приведён оценочный показатель качества процесса в виде коэффициента надёжности.

#### Библиографический список

1. ИСДМ Рослесхоз. Информационная система дистанционного мониторинга Рослесхоза по учёту лесных пожаров с 01.01.2010 по 31.12.2020 годы.
2. ГОСТ Р 57972. Объекты противопожарного обустройства лесов. Общие требования: национальный стандарт Российской Федерации: введён 2019-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 12 с.
3. Гусев В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах. – Санкт-Петербург: ФГУ СПбНИИХЛ, 2005. – 199 с.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации №1605-р от 19.07.2019 «Об утверждении нормативов обеспеченности субъекта Российской Федерации лесопожарными формированиями, пожарной техникой и оборудованием, противопожарным снаряжением и инвентарём, иными средствами предупреждения и тушения лесных пожаров».
5. Рекомендации по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб (утв. Рослесхозом 17 ноября 1997 г.).
6. Васякин Е.А. Исследование эксплуатационных режимов лесохозяйственных машинно-тракторных агрегатов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: ЛТА, 1981. – 20 с.

#### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Добрынин Ю.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия.
<b>SPIN-код</b>	526-1250
<b>e-mail</b>	dobrynina-ltu@mail.ru
<b>ФИО</b>	Васякин Е.А.
<b>Организация</b>	ООО «Лестехмаш»
<b>Адрес организации</b>	188330, Заводская ул., д. 8., кв.6, пгт. Сиверский, Гатчинский район, Ленинградская обл., Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	e-mail vasakinevgeney@mail.ru

#### Аннотация

Приведен пример использования теории надежности для оценки качества процесса прокладки лесных противопожарных полос механизированным способом посредством машинно-тракторного агрегата.

**Ключевые слова:** низовой пожар, минерализованная полоса, заградительный барьер, прокладка полосы, машинно-тракторный агрегат, коэффициент надежности процесса прокладки.

**УДК 630\*377**

**Разделы рубрикатора ГРНТИ:** 66.17.15, 66.17.99

# ОБОСНОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПЕЛЛЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ГРАВИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Мотовилов Г.К., Антонова Т. С., Тюрин Н. А.

## *Введение.*

Региональное размещение пеллетного производства зависит от большого числа факторов. Главными из них являются уровень развития транспортной инфраструктуры, мощность производства, наличие в непосредственной близости от пеллетного завода обширных источников качественных сырьевых материалов и широкого рынка потребителей продукции [1]. Привлекательность источников сырья определяется его качеством, количеством и расстоянием транспортировки по существующей транспортной сети до пеллетного завода. Привлекательность потребителей может быть оценена объемом потребления и расстоянием транспортировки продукции.

Для оптимизации пеллетного производства по критерию максимума указанных предпочтений воспользуемся методом гравитационной модели [2], основанной на законе всемирного тяготения: все тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению масс этих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. По аналогии модель обоснования размещения пеллетного производства основана на предположении, что величина взаимодействия пеллетного завода с источниками сырья и потребителями продукции пропорциональна показателю предпочтения (объем и качество сырья в источнике, потребность и объем продукции, поставляемый потребителю) и обратно пропорциональна квадрату мер издержек (расстоянию от завода до источников сырья и потребителей продукции). Указанная задача носит географический характер и может быть решена с помощью картографического моделирования на базе геоинформационных систем и технологий.

## *Цель работы.*

Целью работы является математическое описание и оптимизация размещения пеллетного производства.

## *Постановка задачи выбора местоположения производства.*

Пусть в некотором регионе необходимо разместить одно предприятие по переработке отходов лесопромышленных производств в топливные гранулы установленной мощностью  $M$  т. в год готовой продукции. Имеются данные о  $n$  свободных источниках сырья и их запасах  $Q_i$  в  $m^3$ .  $i=1..n$  в исследуемом регионе и известны координаты потребителей готовой продукции  $(x_j, y_j)$  и их потребности  $P_j$ . Известны коэффициенты выхода готовой продукции  $v_i$  по сырью  $i$ -го источника,  $m^3/т$ . Необходимо определить оптимальное положение предприятия по методу гравитационной модели с учетом существующей транспортной инфраструктуры региона, источников и

качества сырьевых материалов и потребностей потенциальных потребителей. При этом требуется соблюсти условие – местоположение предприятия должно быть в населенном пункте.

*Математическая модель и алгоритм поиска местоположения пеллетного производства.*

Для размещения нового пеллетного производства методом гравитационной модели необходимо найти опорные оптимальные координаты его местоположения в регионе  $x^c, y^c$  по критерию максимума предпочтения по доставке сырья и поставки готовой продукции региональным потребителям в начале, без учета существующей транспортной инфраструктуры региона, приняв коэффициенты удлинения транспортировки равным 1,0. Целевая функция поиска опорных координат размещения пеллетного производства  $x^c, y^c$ , объемов поставки сырья из источников  $q_i$  и поставки готовой продукции потенциальным потребителям  $p_j$  имеет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n Q_i q_i / (k_i ((x^c - x_i)^2 + (y^c - y_i)^2)) + \sum_{j=1}^m P_j p_j / (k_j ((x^c - x_j)^2 + (y^c - y_j)^2)) = \max, \quad (1)$$

с ограничениями:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{v_i} = M, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$q_i \leq Q_i, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$q_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

$$p_j \leq P_j, \quad j=1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m p_j \leq M, \quad (6)$$

$$p_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, m, \quad (7)$$

где  $q_i$  – объем поставки сырья из  $i$ -го источника в пункт размещения предприятия, м куб.;  $n$  – количество сырьевых источников в регионе;  $k_i$  – коэффициент удлинения доставки сырья с  $i$ -го источника с учетом транспортной инфраструктуры;  $p_j$  – объем поставляемой продукции  $j$ -му потребителю, тонн;  $m$  – количество потенциальных потребителей пеллет в регионе;  $k_j$  – коэффициент удлинения доставки пеллет  $j$ -му потребителю с учетом транспортной инфраструктуры региона;  $x_i, y_i$  – координаты центра запаса  $i$ -го источника сырья;  $x_j, y_j$  – координаты потребителя пеллет  $j$ -ого потребителя,  $M$  – мощность пеллетного производства по выпуску готовой продукции, тонн;  $v_i$  – коэффициент выхода готовой продукции по сырью  $i$ -го источника, м<sup>3</sup>/т.;  $Q_i$  – возможный объем поставки сырья  $i$ -го источника, м куб.;  $P_j$  – спрос пеллет  $j$ -го потребителя, тонн.

Целевая функция (1) определяет максимизацию критерия предпочтения размещения пеллетного производства на транспортировку сырья на завод и готовой продукции потребителям. Выражения (2) и (3) определяют баланс между требуемым объемом сырья и наличием его запасов в пунктах его хранения. Ограничение (4) отражает условие неотрицательности объемов поставок сырья. Ограничение (5) определяет баланс между массой поставляемых пеллет и требуемым их потреблением. Выражение (6)

ограничивает поставки пеллет потребителям мощностью завода. Выражение (7) отражает условие не отрицательности объемов поставок продукции.

Полученные координаты  $x^c, y^c$  позволяют получить опорное, начальное решение задачи оптимального размещения нового пеллетного производства в регионе. Основным недостаток полученного решения – отсутствие учета существующей в регионе транспортной инфраструктуры. Все перевозки обеспечиваются по прямой воздушной линии и предполагается наличие транспортной связи каждого источника и потребителя с производством, что, как правило, невозможно даже в регионах с развитой транспортной инфраструктурой. Для учета транспортной инфраструктуры при поиске местоположения предприятия, используем полученное начальное опорное решение местоположения производства и инструментарий геоанализа. Для этого, полученные координаты нового пеллетного производства  $x^c, y^c$  нанести на карту и рассчитать коэффициенты удлинения  $k_i$  транспортировки сырья от центроидов их запасов  $x_i, y_i$  до опорного решения  $x^c, y^c$  размещения предприятия и аналогично, коэффициенты удлинения поставки готовой продукции от завода до потребителей с учетом существующей транспортной инфраструктуры. Коэффициент удлинения определяется для источников поставки сырья по формуле:

$$k_i = \frac{l_i^t}{l_i^p}, \quad (8)$$

где  $l_i^t$  – расстояние транспортировки отходов от  $i$ -го источника до местоположения пеллетного производства  $x^c, y^c$  по существующей транспортной сети, км;  $l_i^p$  – воздушное расстояние по прямой от центроида запасов  $i$  – го источника до опорного решения  $x^c, y^c$ . Коэффициент удлинения поставки готовой продукции с завода до каждого потребителя определяется аналогично. При отсутствии транспортной связи значение коэффициента удлинения принимают сколь угодно большим наперед заданным числом, например 99999.

После определения коэффициентов удлинения, уточняем координаты оптимального положения нового пеллетного завода  $x^c, y^c$ , объемы поставок сырья  $q_i$  и готовой продукции  $p_i$  с учетом наличия дорог по критерию максимума предпочтения по целевой функции (1) с прежними ограничениями (2-7).

Поиск оптимального месторасположения завода по производству пеллет может быть выполнен с помощью предлагаемого эвристического алгоритма методом нелинейного программирования в надстройке MS Excel «Поиск решения» и геоинформационных технологий в следующей последовательности:

1. Решением оптимизационной модели (1-7), находят начальные опорные координаты оптимального положения пеллетного производства в регионе без учета существующей транспортной сети, приняв все коэффициенты удлинения равными единицы.

2. Полученные координаты  $x^c$ ,  $y^c$  наносят на карту и рассчитывают коэффициенты удлинения с учетом использования существующих автомобильных дорог региона для доставки лесопромышленных отходов на производство  $k_i$  и готовой продукции  $k_j$  потребителям по формуле (8).

3. Вновь рассчитываем оптимальные координаты производства по целевой функции (1) с найденными коэффициентами удлинения и ограничениями (2-7). Наносим на карту полученные в результате расчета оптимальные координаты точки положения завода по производству пеллет  $x^c$ ,  $y^c$  теперь уже с учетом существующей транспортной сети региона.

4. Вблизи точки найденного оптимального положения пеллетного производства рассматривают все населенные пункты на возможность размещения в них завода по производству пеллет. Для каждого населенного пункта решается оптимизационная задача с целевой функцией (1) и ограничениями (2-7), теперь уже с известными координатами завода в данном населенном пункте и уточненными значениями источников сырья и поставки продукции потребителям. По максимуму показателя предпочтения доставки сырья и поставки продукции потребителям окончательно выбирают лучший из населенных пунктов для размещения завода.

#### *Заключение.*

Предложенная математическая модель и алгоритм ее реализации основаны на теории методов оптимальных решений и могут быть рекомендованы для определения оптимального расположения пеллетных производств в регионе с учетом различных ограничений. Преимущества методики заключаются в наглядности результатов, возможности учета нескольких параметров выбора мест расположений пеллетного производства, скорости анализа, универсальности применения, а также низкой стоимости реализации проекта.

#### **Библиографический список**

1. Мотовилов Г.К., Тюрин Н.А. Методика обоснования инфраструктуры пеллетного производства по критерию минимума грузовой работы доставки сырья // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2021. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – С. 12-16.
2. Шумилов А.В. Оценивание гравитационных моделей международной торговли: обзор основных подходов // Экономический журнал ВШЭ, 2017. – Т. 21. – № 2. – С. 224-250.

#### **Сведения об авторах**

**ФИО**

Мотовилов Г.К.

**Организация**

Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет им. С.М. Кирова  
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер.,  
д. 5, Литер У

**Адрес организации**

**SPIN-код**

1725-3427

**e-mail**

ziber71@gmail.com

**ФИО** Антонова Т.С.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет им. С.М. Кирова  
**Адрес организации** 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5,  
Литер У  
**SPIN-код** 4581-5931  
**e-mail** antonova.stl@mail.ru

**ФИО** Тюрин Н.А.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет им. С.М. Кирова  
**Адрес организации** 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер.,  
д. 5, Литер У  
**SPIN-код** 8998-5234  
**e-mail** tnalif@mail.ru

#### **Аннотация**

Приведен метод гравитационной модели территориального размещения производства пеллет из древесных отходов для оптимизации производства по критерию максимума указанных предпочтений.

**Ключевые слова:** пеллетное производство, гравитационная модель, грузовая работа, оптимизация, сырьевые источники, критерий предпочтения, картографическое моделирование.

**УДК:** 630\*6

**Разделы рубрикатора ГРНТИ:** 68.01.29

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СОРТИРОВКИ СУХИХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ**

**Шифрин Б.М., Турбал Е.Ю.**

### *Введение.*

Автоматизированные сортировка и штабелирование пиломатериалов являются неотъемлемыми процессами современного лесопильного производства. Долгое время в нашей стране инвестиции в линии сортировки ставились на последнее место при планировании лесопильного завода. Считалось, что главное – быстро и качественно пилить, а остальное можно и «руками перекидать». На сегодняшний день эта точка зрения уходит в прошлое и многие предприятия осознали, что инвестиции в современную линию автоматической сортировки окупятся в среднесрочной перспективе, при этом повышая экономическую эффективность производства и



значительно снижая человеческий фактор. Если же на лесозаводе сортировка и штабелирование пиломатериалов ведется по старинке и замедляет все производственные процессы, то выход только один – поиск возможностей для приобретения и установки современного и спроектированного под конкретные задачи и условия конкретного предприятия оборудования [1].

*Цель и задачи исследований.*

Целью работы является разработка концептуальной модели процесса сортировки сухих пиломатериалов. В рамках данной цели решены задачи по построению диаграмм IDEF0 и IDEF3.

*Методы исследования.*

В работе использованы методологии моделирования семейства ICAM, методология функционального моделирования, методология документирования технологических процессов.

*Результаты исследований.*

Сортировка пиломатериалов (ПМ) в лесопильном потоке состоит в разделении пиломатериалов по соответствующим признакам (порода, качество, размеры), укладке в организованные или неорганизованные плотные пакеты и в кратковременном хранении сортированных групп пиломатериалов перед укладкой в сушильные штабеля.

Таким образом, система автоматизации в общем случае должна [2]:

- организовывать алгоритмы управления оборудованием линии;
- выполнять задачи сортировки пиломатериалов по заданным правилам;
- отображать состояния оборудования, текущие данные по продукции и результаты сортировки;
- отображать, изменять и хранить несколько наборов правил сортировки;
- формировать сменные отчеты;
- обеспечивать ручной и автоматический режимы управления;
- выполнять тестирование отдельных узлов и агрегатов линии;
- диагностировать аварийные состояния оборудования и проверять корректность технологических параметров;
- вводить архивы событий и состояний системы.

Для описания алгоритма сортировки была использована методология функционального моделирования – IDEF-технология описания системы в целом как множества взаимозависимых действий или функций.

Наиболее широко применяемая графическая нотация IDEF0 применяется для построения функциональной/концептуальной модели системы [3]. Диаграммы IDEF0 отображают функции/процедуры, а также потоки информации и материальных объектов.

К основным преимуществам методологии IDEF0 относятся:

- полнота описания бизнес-процесса (управление, информационные и материальные потоки, обратные связи);
- комплексность при декомпозиции (мигрирование и туннелирование стрелок);

- возможность агрегирования и детализации потоков данных и информации (разделение и слияние стрелок);
- наличие жестких требований методологии, обеспечивающих получение моделей процессов стандартного вида;
- простота документирования процессов;
- соответствие подхода к описанию процессов в IDEF0 международным стандартам ИСО 9001:2015.

Идея IDEF0 лежит в том, что бизнес-процесс (работа) отображается в виде прямоугольника, в который входят и выходят стрелки (рис. 1).



Рис. 1. Общая контекстная диаграмма верхнего уровня

Функции стрелок на общей контекстной диаграмме верхнего уровня:

- стрелки входов отображают входящие документы, материальные и информационные ресурсы, необходимые для выполнения работы, работа может не иметь ни одной стрелки входа;
- стрелки выходов отображают исходящие документы, материальные и информационные ресурсы, являющиеся результатом выполнения работы;
- стрелки управления отображают правила, ограничения и другие управляющие воздействия, в нотации каждая работа должна иметь не менее одной стрелки управления;
- стрелки механизмов отображают те ресурсы, которые необходимы для выполнения работы, но которые не подвергаются изменению.

Верхний уровень процесса сортировки сухих пиломатериалов с помощью IDEF-методологии приведен на рис. 2.



Рис. 2. Верхний уровень процесса сортировки сухих пиломатериалов

Родительская диаграмма декомпозируется на четыре основные подфункции (рис. 3): «Разобрать сушильные штабеля»; «Произвести торцовку и рассортировать»; «Пакетизировать и промаркировать»; «Отгрузить».



Рис. 3. Декомпозиция процесса сортировки сухих пиломатериалов

Дочерняя функциональная диаграмма для подфункции «Произвести торцовку и рассортировать» представлена на рис. 4.

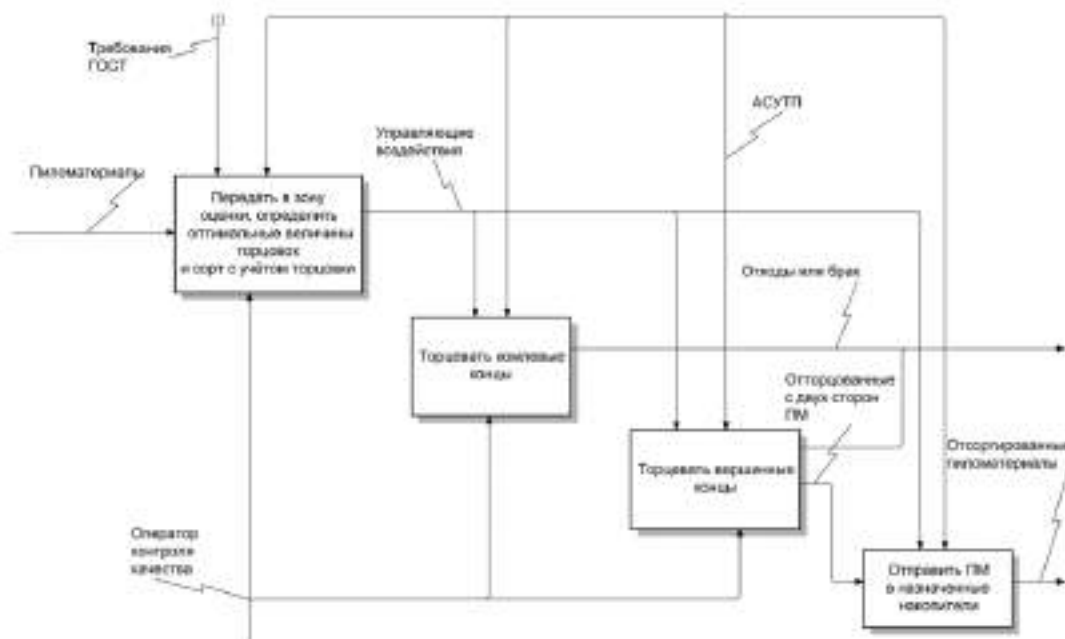


Рис. 4. Функциональная диаграмма подфункции «Произвести торцовку и рассортировать»

### *Заключение.*

Каждый из блоков имеет свои входы и выходы, управления и механизмы исполнения. Связи между блоками описываются отношениями выход-вход, которые возникают при соединении выхода одного блока с входом другого блока. Подобное структурно-функциональное моделирование процесса позволило более наглядно показать структуру процесса, причинно-следственные связи, исполнителей, результаты их работы и их ответственность.

### **Библиографический список**

1. Отраслевой информационно-аналитический журнал «Деревообработка. Бизнес и профессия» URL: <https://infoderevo.ru/rybriki/tekhnologii-i-oborudovanie/sortirovka-v-voprosakh-i-otvetakh/> (Дата обращения 24.03.2023).
2. Система управления линией сортировки сухих пиломатериалов – Автоматика-Север URL: <https://avtomatika.info/solutions/sistema-upravleniya-liniey-sortirovki-suhih-pilomaterialov/> (Дата обращения 24.03.2023).
3. Шифрин Б.М. Использование IDEF-моделей для анализа процессов контроля качества / Б. М. Шифрин, Д. А. Попова // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2023. – № 11. – С. 165-168.

### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Шифрин Б.М.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	5125-4307
<b>e-mail</b>	shifrinb@mail.ru
<b>ФИО</b>	Турбал Е.Ю.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует.
<b>e-mail</b>	dd2212-vs@yandex.ru

### **Аннотация**

В статье обосновываются актуальность и основные принципы автоматизации сортировки сухих пиломатериалов. Показан процесс функционального моделирования процесса сортировки, отображающей функции/процедуры, а также потоки информации и материальных объектов.

**Ключевые слова:** лесопильный поток, сортировка пиломатериалов, функциональное моделирование, IDEF-технология.

УДК 674.038

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.31.21

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Федяев Ар.А., Сюткин Н.Д.

## *Введение.*

Важным аспектом в деревообрабатывающем производстве является переработка отходов, образующихся в технологическом процессе. Ежегодно в России образуется около 3576,63 га древесных отходов, при этом 18% таких отходов не используются в дальнейшем [1]. Такое положение негативно влияет на экологическую ситуацию. До 2022 года в России не было окончательного закона об обязательной переработке древесных отходов, из-за этого в деревообрабатывающем производстве многие отходы сжигались и подвергались захоронению. На данный момент ситуацию регулирует федеральный закон «Об отходах производства и потребления» [2], который закрепляет запрет на сжигание и захоронение отходов и обязывает отправлять полученные остатки снова в производственную цепочку с последующим результатом в виде готовой продукции. Все это предопределяет актуальность направления исследований по утилизации древесных отходов.

Химический состав древесных опилок разнообразен, они содержат около 70 % углеводов (целлюлоза и гемицеллюлоза) и 27 % лигнина. Из этих высокомолекулярных компонентов и складывается сорбционная способность древесины. Сорбционные свойства целлюлозы обусловлены особенностями ее строения элементарных звеньев и наличием в них гидроксильных групп, а также зависят от субмикроскопической структуры целлюлозной системы.

В последние десятилетия в мире отмечается интенсивное поступление тяжелых металлов в окружающую среду, что создаёт проблему глобального масштаба. Металлы часто обнаруживаются в промышленных сточных водах, которые образуются на различных предприятиях и в нефтеперерабатывающей промышленности.

Сорбционная очистка воды – высокоэффективный способ глубокого очищения, при котором эффект достигается путем связывания на молекулярном уровне частиц химических веществ и различных примесей [3]. В настоящее время использование древесных опилок для сорбции ионов тяжелых металлов из сточных вод является объектом многих исследований. Это природный материал, образующийся в большом количестве в качестве отхода и имеющий низкую стоимость. Возможность использования древесных опилок в качестве сорбента обусловлена в значительной степени наличием в его составе лигнина. Лигнин - природный энтеросорбент, полимер растительного происхождения, являющийся продуктом переработки древесины хвойных и лиственных пород, его сорбционные свойства обусловлены наличием развитой внутренней поверхности и пористой структуры с преобладанием пор радиусом более 50 нм.

В его структуре присутствуют гидроксильные, карбоксильные и фенольные группы, связывающие катионы металлов.

Существуют новые типы сорбционно-ионообменных материалов на основе древесных опилок, для чего сырье предварительно обрабатывают растворами ортофосфорной, соляной и серной кислот и гидроксида натрия.

Также перспективным является использование древесных опилок в сочетании с бентонитом. Бентониты - тонкодисперсные глины, состоящие не менее чем на 60–70% из минерала монтмориллонита, обладающие высокой связующей способностью, адсорбционной и каталитической активностью. Для увеличения пористости и лучшего закрепления частиц бентонита опилки предварительно подвергались модификации. В качестве модификаторов использовались растворы 0,5 н и 1 н соляной кислоты. Эксперимент проводился при постоянной температуре 20°C в статических условиях. По завершении эксперимента, была получена максимальная эффективность очистки 95 % для ионов меди и время достижения полной динамической емкости сорбента 9,5 ч [4].

Также в ряде других работ изложены способы получения сорбента путем обработки древесных опилок ортофосфорной кислотой совместно с диметилформамидом и мочевиной, карбамидом с последующей сушкой, отмывкой и термообработкой. Такие материалы обладают высокими сорбционными характеристиками по отношению к ионам  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , кроме того, сорбенты на основе древесных опилок могут быть неоднократно использованы для очистки воды от соединений тяжелых металлов, при этом возможна их регенерация раствором гидроксида натрия. При регенерации раствором гидроксида натрия максимальная эффективность очистки практически не изменяется и составляет около 70 % [5].

#### *Цель работы.*

Определить эффективность очистки модельного раствора с использованием сорбционных материалов без предварительной обработки (сосновые опилки).

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: произвести опыт и расчет эффективности использования опилок в качестве сорбента; оценить значимость опилок в очистке воды от ионов металла и их возможное применение.

#### *Методы исследования.*

Для эксперимента приготовили модельный раствор, содержащий ионы определяемого металла ( $Cu^{2+}$ ) нужной концентрации. Использовали 1 г сорбента (вес сорбента зависит от природы материала), приготовленная смесь была помещена в коническую колбу на 250 мл и добавили 100 мл модельного раствора (4,5 %). Полученная смесь перемешивалась на лабораторном шейкере в течение 1 часа. После отстаивания раствора, отобрали 15 мл модельного раствора (после процесса сорбции) в колбу на 50 мл, добавили 15 мл раствора аммиака (1:1) и довели до метки дистиллированной водой. Раствор перемешали и провели измерения на спектрофотометре в кювете 30

мм, при длине волны 630 нм. Затем определили остаточную концентрацию с помощью градуировочного графика и провели расчет эффективности по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{нач}}} * 100\%, \quad (1)$$

где  $C_{\text{нач}}$  и  $C_{\text{кон}}$  – начальная и конечная концентрации раствора, мг/л.

*Результаты исследования.*

При измерении на спектрофотометре кюветы 30 мм с содержанием полученного раствора получили следующие результаты:

$$D_1 = 0,194, \quad D_2 = 0,197, \quad D_3 = 0,192.$$

По результатам трех опытов рассчитали среднюю оптическую плотность, которая составила  $D_{\text{ср}}=0,194$ .

Дальше определяли по градуировочному графику (рис. 1) конечную концентрацию раствора. Для получения градуировочного графика зависимости оптической плотности от концентрации готовили растворы различной концентрации сульфата меди (II), составившую  $C_{\text{кон}} = 3$  мг/мл.

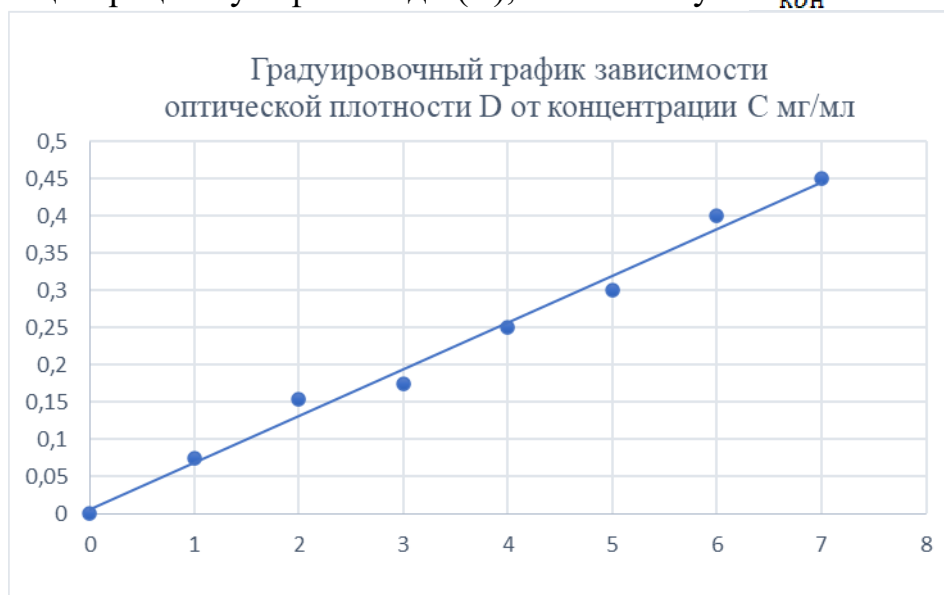


Рис.1. Градуировочный график зависимости оптической плотности от концентрации

Была определена эффективность очистки:

$$\mathcal{E} = \frac{4,5 - 3}{4,5} * 100\% = 30\%$$

*Заключение.*

В чистом виде, без дополнительной обработки опилки обладают невысокой сорбционной способностью, поэтому требуют дополнительной обработки, которую проводят различными методами, например, добавлением растворов ортофосфорной, соляной, серной кислот и гидроксида натрия, а также гидроалюмосиликата. Кроме того, на результат могли повлиять такие факторы как: недостаток времени и скорость перемешивания, температурные условия, измельченность опилок. Использование древесных опилок позволит

снизить содержание тяжелых металлов в водах и обеспечит вторичное применение деревообрабатывающим отходам

#### Библиографический список

1. Колесникова А.В. Анализ образования и использования древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса России // Актуальные вопросы экономических наук, 2013. – № 33. – С. 116-120.
2. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 19.12.2022) "Об отходах производства и потребления" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023).
3. Климов Е.С., Бузаева М.В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 201 с.
4. Фогель А.А., Комарова Л.Ф., Дел Соле Роберта. Исследование свойств и структуры сорбента на основе древесных опилок и бентонитовых глин // Ползуновский вестник, 2011. – №4-2. – С. 183-186.
5. Сомин В.А., Осокин В.М., Комарова Л.Ф. Очистка воды от ионов  $Cu^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  с использованием сорбентов на основе древесных отходов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2015. – №1. – С. 86-97.

#### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Федяев Артур Александрович
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5, Литер У, Россия
<b>SPIN-код</b>	8169-9209
<b>e-mail</b>	art_fedyaev@mail.ru
<b>ФИО</b>	Сюткин Н.Д.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5, Литер У, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	syutkin.kolya@mail.ru

#### Аннотация

Важным вопросом в современном мире является утилизация и переработка отходов технологических производств. В данной статье рассмотрен один из возможных вариантов использования древесных отходов (опилок) в качестве сорбента для очистки сточных вод от ионов металла, а также проведен опыт с определением эффективности сосновых опилок в качестве сорбента.

**Ключевые слова:** опилки, сорбент, отходы, переработка, очистка

**УДК** 628.477

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 44.01.91



### ОБ ОДНОЙ ОСОБЕННОСТИ МИКРОРЕЛЬЕФА ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ

Добрынин Ю.А.

*Введение.*

Микрорельеф трелевочных волоков является основным источником возмущения колебаний лесных машин – форвардеров, скиддеров и других лесотранспортных средств. В этой связи он представляет интерес для исследования его параметров как “входных” в динамическую систему машин, определяющих “выходные” значения эксплуатационных характеристик, таких как скорость передвижения и воспринимаемые трактористом-оператором ускорения, непосредственно связанные с ограничениями по требованиям охраны труда.

*Цель исследования.*

На основе экспериментальных данных результатов исследования параметров микрорельефа трелевочных волоков определить их статистические характеристики, установить между ними вероятностную связь, провести анализ полученных результатов.

*Методика исследования.*

Естественное состояние поверхности трелевочных волоков характеризуется наличием пней, корневищ, пересекающих волоков под различными углами стволов поваленных деревьев, порубочных остатков, валунов, канав, ям и т.д. Это обстоятельство значительно усложняет выбор мерных участков, поскольку сами пни, валуны, канавы и т.д. выходят за пределы понятия микрорельефа местности и относятся к группе сосредоточенных препятствий. По этой причине мерные участки выбирались на расчищенных волоках, позволяющих осуществлять беспрепятственное движение машин.

Длину мерного участка и шаг дискретизации непосредственных измерений параметров неровностей устанавливали в соответствии с известными требованиями [1,2] По результатам измерений вычерчивались профилограммы (по каждой колее), на которой выделялись неровности микропрофиля. Каждая неровность заносилась в корреляционную таблицу, согласно своим параметрам – высоты и длины. Кроме того, измерялось расстояние между вершинами неровностей. По сводным корреляционным таблицам определялись статистические характеристики параметров неровностей, законы распределения и устанавливалась корреляционная связь между ними [3].

На рис. 1 представлены гистограммы длин неровностей и расстояний между ними, аппроксимированные логарифмически нормальными законами распределения.

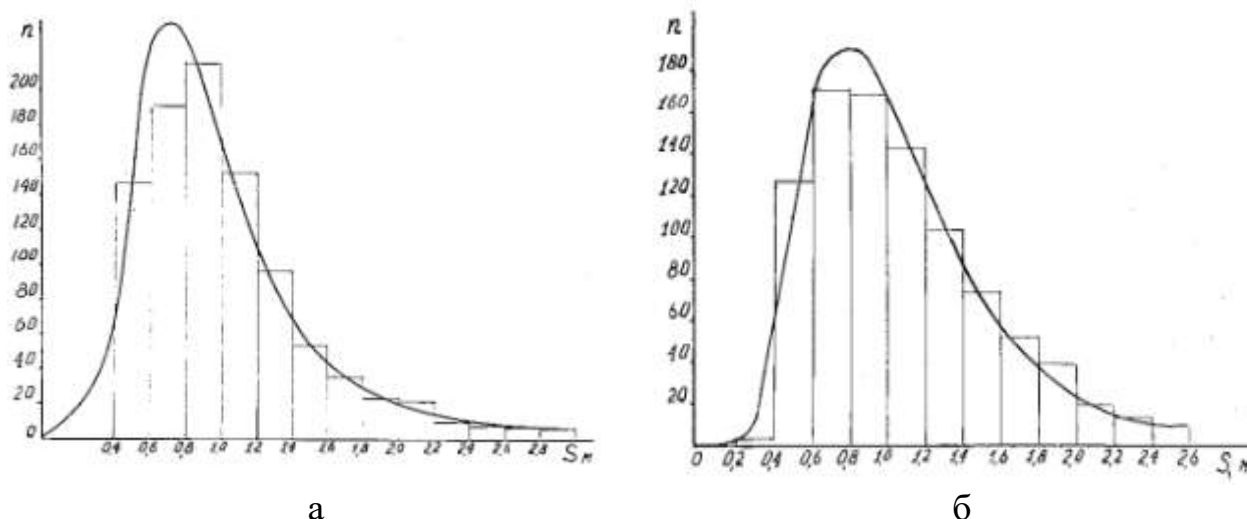


Рис.1. Гистограммы распределения:  
 а) распределение длин неровностей;  
 б) распределение расстояний между неровностями

Физическая сущность логарифмически нормальной модели распределения – это проявление неоднородности, когда встречаются, хотя и с малой вероятностью, но очень большие по абсолютной величине значения исследуемых параметров. Если появление длин неровностей более трёх метров не скажется на колебаниях машины при реальных скоростях движения по волоку [3], то встреча с неровностями, имеющими большие высоты, может вызвать нежелательные последствия.

Анализ результатов, полученных при обработке экспериментальных данных показал, что математические ожидания длин неровностей ( $1,25 \pm 0,08\text{м}$ ) и расстояний между вершинами неровностей ( $1,21 \pm 0,09\text{м}$ ) практически совпадают. Совпадение так же наблюдается и по их модальным значениям. Это указывает на то, что несмотря на случайное чередование неровностей достаточно вероятно событие, когда транспортное средство встречается с несколькими неровностями одинаковой длины, что на определенных скоростях движения машины может вызвать резонансные явления.

При установленных статистических параметрах высот и длин неровностей, носящих плавный характер (обычно его принимают синусоидальным) можно рассматривать детерминированное воздействие на “входе” в динамическую систему, что используется при исследовании вертикальной динамики машин на плавность хода.

#### *Результаты исследования.*

В результате статистической обработки результатов экспериментальных исследований микрорельефа (микропрофиля) трелёвочных волоков, проведённых в лесных условиях Ленинградской области установлены законы распределения высот, длин неровностей и расстояние между вершинами неровностей. Между высотами и длинами неровностей установлена корреляционная связь и рассмотрена образованная ими поверхность

распределения [3]. Отличительной особенностью проведённого исследования является проведение сравнительного анализа законов распределения расстояний между вершинами неровностей с их длинами, который показал, что средние и модальные значения расстояний между неровностями и длинами неровностей практически совпадают. Следовательно, весьма вероятно встреча транспортного средства с чередующимися неровностями одинакового размера, способных вызвать, на определённых рабочих скоростях движения машины резонансные явления, последствия которых общеизвестны.

#### *Заключение.*

При исследовании параметров микрорельефа лесных волоков, представляющих собой “входное” воздействие на динамическую систему транспортных средств в процессе их движения, установлено, что необходимо обращать внимание и на такой параметр, как расстояние между вершинами неровностей. Совпадение наиболее вероятных значений длин неровностей и расстояний между ними на реальных рабочих скоростях движения лесной машины создаёт условия для возникновения явления резонанса динамической системы.

#### **Библиографический список**

1. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Ленинград: Колос, 1970. – 376 с.
2. Фурунжиев Р.И. Проектирование оптимальных виброзащитных систем. – Минск: Высшая школа, 1971. – 210 с.
3. Добрынин Ю.А. Исследование вертикальной динамики трактора на трелёвке леса в условиях рубок промежуточного пользования: дис.... канд. техн.наук. – Ленинград: ЛТА, 1973. – 205 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Добрынин Ю.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия.
<b>SPIN-код</b>	526-1250
<b>e-mail</b>	dobrynina-ltu@mail.ru

#### **Аннотация**

На основе экспериментальных исследований микрорельефа трелёвочных волоков получены статистические характеристики параметров его неровностей – высоты и длины, а также расстояний между вершинами неровностей. По установленным законам распределения длин неровностей и расстояния между их вершинами выявлено, что их средние и модальные значения практически совпадают, что указывает на высокую вероятность

чередования неровностей одинаковой длины, а это возмущение на ходовую систему лесных машин, на определенных рабочих скоростях движения, ведёт к возникновению резонансных колебаний машины, последствия которых общеизвестны.

**Ключевые слова:** трелевочный волок, микрорельеф, неровность, высота, длина, расстояние между неровностями, статистические характеристики, закон распределения, возмущение, колебания, резонанс.

**УДК 630\*377**

**Разделы рубриката ГРНТН: 66.17.15, 66.17.99**

## **К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ХОДОВУЮ СИСТЕМУ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН В ПРОЦЕССЕ ИХ ДВИЖЕНИЯ В ЛЕСНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Добрынин Ю.А., Поликарпов А.О.**

*Введение.*

При эксплуатации транспортных средств в лесных условиях на их производительность непосредственно влияет скорость движения, которая в свою очередь, зависит от воздействия на ходовую систему неровностей пути. Неровности пути относят к микропрофилю, а поскольку движение машин происходит по определенной колее, то в каждой колее (левой и правой) свой микропрофиль воздействия. Его принимают одинаковым при исследовании вертикальных колебаний транспортных средств и разным при изучении поперечных колебаний, свойственных лесным тракторам—форвардерам и скиддерам. В настоящем исследовании принято допущение об одинаковых параметрах микропрофиля по левой и правой колее движения транспортных машин, влияющих на их вертикальную динамику.

*Цель исследований.*

Предложить критерий оценки возмущений от микропрофиля пути на ходовую систему транспортных машин, позволяющий прогнозировать скорости их движения на технологических операциях.

*Методика исследования.*

Результаты измерений параметров микропрофиля пути передвижения машин представляют собой случайные функции, которые рассматриваются как эргодические стационарные. В общем случае микропрофиль трелевочных волоков и лесных дорог представляет собой нестационарную случайную функцию, так как наличие даже незначительных уклонов местности ведёт к нестационарности по математическому ожиданию и дисперсии его высот. По этой причине опытные реализации параметров микропрофиля подвергались фильтрации для исключения линейного и длиннопериодного тренда. Полученные профилограммы дают полную информацию о высотах и длинах

неровностей, воспринимаемых ходовыми системами транспортных машин. По высотам неровностей и по выделенным на профилограммах их длинам были установлены законы их распределения [1].

Принято считать, что наибольшая интенсивность вертикальных колебаний транспортных машин зависит от высоты преодолеваемых неровностей, непосредственно влияющей на скорость движения. Однако при этом не маловажная роль принадлежит и длинам неровностей, так как при определённой длине неровности и скорости движения могут возникнуть резонансные явления, последствия которых общеизвестны, что указывает на необходимость совместного рассмотрения высот и длин неровностей, как системы случайных величин с установлением корреляционной связи между ними. Имея законы распределения высот и длин неровностей и коэффициент корреляции между ними, есть все основания построить поверхность распределения параметров неровностей, которая может служить вероятностным критерием оценки ровности пути.

В лесных условиях, где состояние преодолеваемого пути транспортным средством отличается многообразием, поверхность распределения высот и длин неровностей может иметь различную форму, например, нормальную поверхность; гамма-распределения, типа А и др. [2]. Не исключено, что все неровности, обмеренные в различных условиях, будут иметь одну форму поверхности распределения, но различные статистические характеристики по математическому ожиданию и дисперсии.

На рис. 1 на основе экспериментальных измерений высот и длин неровностей представлена стереограмма их распределения с коэффициентом корреляции 0,5.

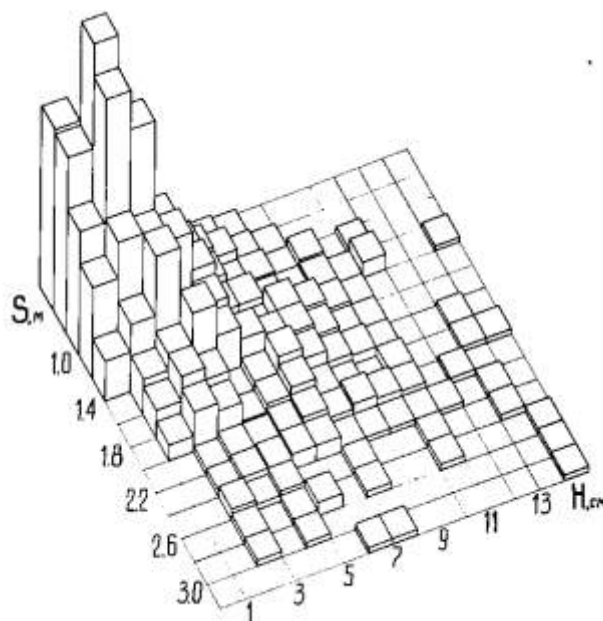


Рис.1. Стереограмма распределения высот и длин неровностей трелевочных волоков, полученная на лёгких суглинках в Ленинградской области

Стереограмма описывается логарифмически нормальной поверхностью распределения [1]:

$$P(l_g H, l_g S) = \frac{1}{2\pi\sigma_{l_g H}\sigma_{l_g S}\sqrt{1-r_{12}^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-r_{12}^2)}\left[\frac{l_g H - m_{l_g H}}{\sigma_{l_g H}} - r_{12}\frac{l_g S - m_{l_g S}}{\sigma_{l_g S}}\right]^2 - \frac{r_{12}^2(l_g S - m_{l_g S})^2}{2\sigma_{l_g S}^2(1-r_{12}^2)}\right\} \quad (1)$$

где  $l_g H, l_g S$  – логарифмы значений высот и длин неровностей;  $m_{l_g H}, m_{l_g S}$  – математические ожидания логарифмов высот и длин неровностей;  $\sigma_{l_g H}, \sigma_{l_g S}$  – среднеквадратичные отклонения логарифмов, высот и длин неровностей;  $r_{12}$  – коэффициент корреляции между высотами и длинами неровностей.

Используя зависимость (1) и переходя от логарифмов исследуемых величин к натуральным значениям, можно определить вероятность встречи транспортной машины с неровностью заданной высоты и длины совместно, что может служить критерием оценки ровности пути, который можно использовать, как имеющий практическое значение для определения рациональной скорости передвижения транспортных машин.

Рассматривая профилограмму микрорельефа как случайную функцию, приведённую к стационарному виду и вычислив её корреляционную функцию (рис. 2), получаем значение дисперсий высот неровностей по оси ординат “D” и интервалов корреляции по оси абсцисс “Δl”.

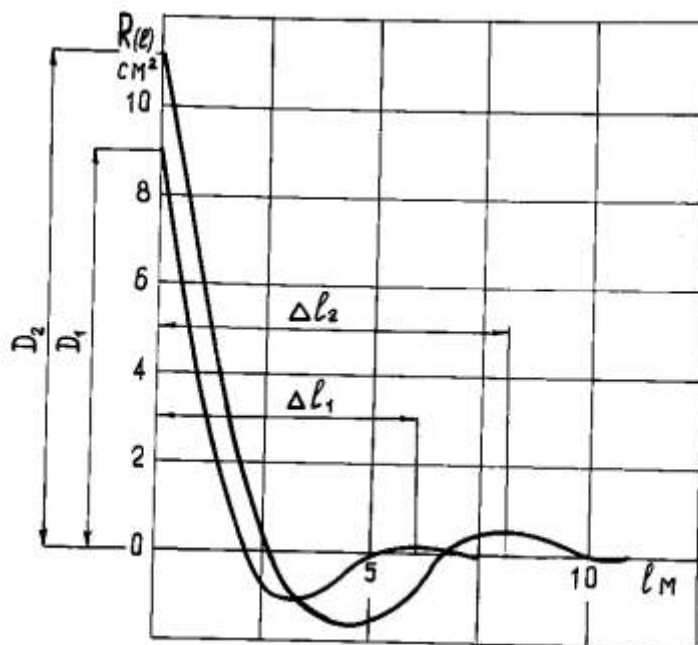


Рис.2. Корреляционные функции микропрофиля трелёвочных волоков

Дисперсия характеризует высоты неровностей, а интервал корреляции их длины [3] и имея достаточное количество корреляционных функций можно получить законы распределения дисперсий и интервалов корреляции. Переходя от значений дисперсий к высотам неровностей, а от интервалов корреляции к их длинам, можно вычислить коэффициент корреляции между ними и построить соответствующую поверхность распределения высот и длин

неровностей, которую можно считать, как и при первом способе статистической обработки профилограмм, вероятностной оценкой состояния ровности пути.

#### *Результаты исследований.*

Поверхность распределения высот и длин неровностей микропрофиля пути передвижения транспортных машин в лесных условиях представляет собой полную характеристику воздействия на их ходовую систему. Вероятностная природа параметров неровностей (высот и длин) характеризуется математическими ожиданиями и дисперсиями искомых параметров, имеющих между собой линейную корреляционную связь с соответствующим коэффициентом корреляции, что при совместном рассмотрении образует второй уровень статистической оценки состояния ровности пути передвижения машин в виде поверхности распределения параметров воздействия пути на ходовую систему транспортных машин.

Для практического использования предлагаемого вероятностного критерия оценки состояния ровности пути необходимо продолжать накапливать статистические результаты исследования микропрофиля различных типов условий передвижения машин – трелевочных волоков, лесных дорог, дорог общего пользования и др. по различным климатическим зонам и условиям. При достаточно большом статистическом материале провести систематизацию и построение поверхностей распределения параметров неровностей микропрофиля. Полученные результаты могут служить отправными данными для проектирования ходовых систем машин, для расчёта их надёжности. По ним можно проводить планирование и прогнозирование производительности машин, их расхода топлива и определять возможности использования того или иного парка машин в конкретных условиях эксплуатации.

#### *Заключение.*

Проведенный анализ параметров неровностей микропрофиля пути передвижения транспортных машин – высоты и длины, указывает на их корреляционную связь, а совместное рассмотрение их законов распределения даёт возможность построить их поверхность распределения со своими законами, представляющими второй уровень статистик.

Полученные поверхности распределения нормальные, логарифмически нормальные или подчиняющиеся другим законам распределения близкими к нормальному могут служить вероятностными критериями оценки ровности состояния микропрофиля пути передвижения транспортных машин в реальных условиях эксплуатации.

#### **Библиографический список**

1. Добрынин Ю.А. Исследование вертикальной динамики трактора на трелевке леса в условиях рубок промежуточного пользования: дис....канд. техн.наук. – Ленинград: ЛТА, 1973. –205с.
2. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – Москва: Наука, 1971. –576 с.

3. Пархиловский И.Г. Исследование вероятностных характеристик поверхностей распространенных типов дорог и их сравнительный анализ // Труды семинара по подвескам автомобилей. – Москва: НАМИ, 1968. – Вып. 15. – С. 24-40.

#### **Сведения об авторах**

**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** 526-1250  
**e-mail** dobryninua-ltu@mail.ru

**ФИО** Поликарпов А.О.  
**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** 13roockman13@gmail.com

#### **Аннотация**

В статье предложен вероятностный критерий оценки состояния ровности пути передвижения транспортных машин, представляющий собой поверхность распределения основных параметров микропрофиля – его высот и длин неровностей.

**Ключевые слова:** микропрофиль, высота неровности, длина неровности, закон распределения, статистики распределения, поверхность распределения, вероятностный критерий.

**УДК** 630\*377

**Разделы рубрикатора ГРНТИ:** 66.17.15, 66.17.99

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСНЫХ ДОРОГ**

**Зубова О.В., Пархоменко В.А., Мальков Е.Ю.**

*Введение.*

В настоящее время строительство грунтовых дорог является самым простым и доступным способом устройства лесной дорожной



инфраструктуры, несмотря на то, что они относятся к самой низкой категории. Главным преимуществом данной дороги является доступная стоимость. Строительство грунтовых дорог подходит для маршрутов с низким автомобильным потоком и для малозаселённых территорий и производственных объектов. При строительстве дорог в лесных условиях необходимо также особое внимание уделять параметрам дорожно-строительной техники ввиду отдаленности от населенных пунктов и сложности их транспортировки в лес. В последнее время данная проблема осложнена сокращением возможности использования иностранной техники.

*Цель работы.*

В связи с вышеизложенным в ходе данной научной работы предлагается рассмотреть отечественные и зарубежные аналоги дорожно-строительных машин для строительства грунтовых дорог и выяснить, какие из них окажутся более экономичными и технологичными. Планируется также привести рекомендации по усовершенствованию отечественной техники для создания конкурентоспособности зарубежным аналогам и дальнейшего создания условий для импортозамещения.

*Результаты исследования.*

При строительстве грунтовых дорог используются следующие технологические операции:

- 1) Подготовительные работы.
- 2) Возведение земляного полотна.
- 3) Строительство дорожной одежды.

Сравнительный анализ строительной техники проводился для таких операций, как земляные работы при возведении насыпи, а также работы по транспортировке грунта, его разравниванию и уплотнению в дорожной одежде.

Для анализа эффективности производства земляных работ рассмотрены экскаваторы импортного производства CASE и отечественного производства UMG [1,2]. Основные характеристики этих машин сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики машин

Показатели	Экскаватор	
	CASE CX220C NLC	UMG E240C
Рабочий вес, кг	21200	24000
Мощность, кВт/л.с:	117 /157	131/176
Объем ковша, м <sup>3</sup>	0,9 – 1,1	0,8...1,4
Максимальная глубина копания, м	6,62	6,87 – 8,17
Габаритная ширина, мм	2540	3000
Скорость движения вперед/назад, км/ч	5,6 / 3,4	4,5 / 2,6
Длина рукояти, м	2,4	2,7
Цена, руб.	10 400 000	9 700 000

Таким образом в ходе сравнения на данном примере, мы выяснили, что отечественный экскаватор UMG обладает рядом преимуществ по сравнению с иностранным – это мощность двигателя, увеличенный объем ковша, а также меньшая стоимость.

Также были рассмотрены в исследовании такие распространенные дорожно-строительные машины, как бульдозер - импортного производства CASE и отечественного производства ЧТЗ («Челябинский тракторный завод») [3,4]. Их характеристики представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристика бульдозеров

Характеристика	Бульдозер	
	CASE 2050M XLT	ЧТЗ Б14
Мощность, кВт/л.с:	173 /232	169.1 /230
Объем отвала, м <sup>3</sup>	4,83	5,85
Рабочий вес, кг	22539	24500
Ширина колеи гусениц, мм	1940	2080
Скорость движения вперед/назад, км/ч	0–9,3 / 0–9,3	0–7,8 / 0–7,8
Цена, руб.	15 875 127	11 612 750

Таким образом в ходе сравнения на данном примере, мы выяснили, что отечественный бульдозер является более подходящим для земляных работ по таким параметрам, как размер отвала, ширина гусениц и существенно более низкая стоимость.

Для производства планировочных работ рассматривались автогрейдер импортного производства CASE и автогрейдер отечественного производства UMG ГС [1,2] (табл. 3).

Таблица 3 – Характеристика автогрейдеров

Характеристика	Автогрейдер	
	CASE 845B	UMG ГС-18.05
Мощность, кВт/л.с:	129 /173	128 /132
Эксплуатационная масса, кг	16134	16360
Ширина отвала, мм	3658	3658
Максимальная скорость движения, км/ч	44,8	42,5
Цена, руб.	14 990 000	8 250 000

Таким образом, сравнительный анализ техники для планировочных работ показал, что при практически равных эксплуатационных показателях стоимость отечественного автогрейдера почти в 2 раза ниже.

Для подвозки дополнительных объемов грунта рассмотрены самосвалы импортного производства MAN и отечественного КАМАЗ [5,6]. Основные характеристики в табл. 4.

Таблица 4 – Характеристика самосвалов

Характеристика	Самосвал	
	MAN TGS 40.400 6X4 BB	<i>КАМАЗ 6520</i>
Мощность, кВт/л.с:	294 /400	294 /400
Объем кузова, м <sup>3</sup>	20	20
Снаряженная масса, кг	15 000	13025...14500
Грузоподъемность, кг	25 000	20 000
Средний расход топлива, л на 100 км	32,7	37-40
Топливный бак, л	400	350
Цена, руб.	6 300 000	3 500 000

Анализ табл. 4 показывает, что, несмотря на большую стоимость зарубежной машины, стоит обратить внимание на все ее плюсы, такие как большая емкость топливного бака, существенно более низкий расход топлива, повышенная грузоподъемность, что делает зарубежный вариант более эффективным.

Для уплотнения дорожной одежды рассматривался грунтовый каток импортного производства CASE и отечественного производства РАСКАТ [1,7]. Характеристики представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Характеристика катков

Характеристика	Каток	
	CASE 1110-EX-D	<i>РАСКАТ RV-13 DT</i>
Мощность, кВт/л.с:	82/112	129,5/140
Эксплуатационная масса, кг	11 450	13 000
Амплитуда вибрации, мм	1,8 / 0,8	1,9/0,9
Рабочая скорость движения, км/ч	5,5	6
Емкость топливного бака, л	215	235
Цена, руб.	5 454 000	4 880 000

Таким образом, при уплотнении грунта по всем характеристикам отечественный каток РАСКАТ RV-13 DT лучше зарубежного.

Общие затраты при покупке дорожно-строительных машин: при покупке набора зарубежной техники – 53.019.172 руб., при покупке набора отечественной техники – 36.942.356 руб.

В рамках исследования был проведен опрос операторов отечественной техники, в результате которого удалось выяснить ряд недостатков и плюсов данной техники. Операторам отечественных экскаваторов и бульдозеров для продолжительной, непрерывной работы не хватало шумоизоляции кабины и климат контроля температуры внутри салона. Также недостаточно плавное и отзывчивое управление стрелой. Из плюсов была отмечена быстрая и простая ремонтпригодность. Водители КАМАЗов отмечают комфорт современного салона, но достаточно маленький ресурс двигателя до капитального ремонта

по сравнению с импортными машинами. С целью устранения всех перечисленных минусов отечественной техники, следует произвести ряд улучшений, таких как улучшение шумо- и виброизоляции кабины, установка более мощного и модернизированного гидропривода, повышение качества комплектующих.

#### *Заключение.*

Подводя итоги исследования, нужно отметить, что в области строительства грунтовых дорог российские аналоги техники показали достойный, конкурентоспособный уровень. Экскаватор UMG E240C, бульдозер ЧТЗ Б14 и каток РАСКАТ RV-13 DT не только смогли составить конкуренцию, но и обойти зарубежные аналоги по ряду важных характеристик. Главным преимуществом отечественной техники является цена. Российские машины не только стоят в разы дешевле, но и дешевле обходятся в обслуживании. Так же в результате изучения установлено, что большинству из перечисленных видов техники не хватает шумо- и виброизоляции, качественной предпродажной подготовки, качества сборки. Таким образом, по результатам исследования можно утверждать, что после доработки всех выше перечисленных недостатков, отечественная техника встанет в один ряд с техникой импортного производства.

#### **Библиографический список**

1. UMG E240C Строительно-дорожная техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://umg-sdm.com/> (Дата обращения 05.04.2023).
2. Техсервис [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://case.tsgroup.ru/products/srednie-eksikator/gusenichnyu-eksikator-case-cx220c-nlc> Дата обращения 05.04.2023
3. Техника CASE 2050M XLT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.casece.com/apac/ru-ru> (Дата обращения 05.04.2023).
4. Бульдозеры ЧТЗ Б14 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chtz-uraltrac.ru/catalog/categories/3.php>. (Дата обращения 05.04.2023).
5. Самосвал MAN TGS 40.400 6X4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.man.eu/ru/ru/homepage.html>. (Дата обращения 05.04.2023).
6. КАМАЗ 6520 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://azgaz.ru/special/business/menyayuverenno/?utm\\_source=yandex&utm\\_medium](https://azgaz.ru/special/business/menyayuverenno/?utm_source=yandex&utm_medium) (Дата обращения 05.04.2023).
7. Дорожная техника РАСКАТ RV-13DT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ОАО-RASKAT.RU>. (Дата обращения 05.04.2023).

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Зубова О.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	6997-4065
<b>e-mail</b>	ok_z19@mail.ru

**ФИО** Пархоменко В.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** vlad.parkhomenko.2020@list.ru

**ФИО** Мальков Е.Ю.  
**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** malkovevgen10.02.2002@gmail.com

#### **Аннотация**

В статье проведен сравнительный анализ характеристик отечественной и зарубежной дорожно-строительной техники. Рассмотрены ключевые параметры машин для разных видов дорожных работ, включая цену за единицу техники. По результатам исследования и анализу недостатков отечественной техники, выявленной в результате анализа отзывов машинистов, установлено, что по большинству важных параметров наша техника конкурентоспособна, цена покупки и цена обслуживания существенно лучше зарубежных аналогов.

**Ключевые слова:** дорожно-строительные машины, импортозамещение.

**УДК** 630.383

**Раздел рубрикатора ГРНТИ:** 66.17.15

## **ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВО ЛЕСНЫХ ДОРОГ**

**Зубова О.В., Петрова А.С., Швыдкая А.Д.**

### *Введение.*

Новые технологии активно разрабатываются и внедряются в отрасль дорожного строительства. Это необходимо для того, чтобы перемещение автотранспортных средств сделать более безопасным и доступным, а дорожное полотно — более надежным и долговечным. Из-за повышения требований к состоянию дорожных одежд в настоящее время внедрение

инноваций становится неотъемлемым условием для строительства и развития лесотранспортных сетей.

*Цель работы.*

Целью работы является обзор перспективных технологий строительства лесных дорог, позволяющих снизить сроки строительства, затраты ресурсов, а также уменьшить негативное воздействие на лесную экосистему, при обеспечении высокого качества дороги.

*Результаты исследования.*

Композитные водопропускные трубы представляют собой искусственные сооружения, предназначенные для пропуска водотоков под насыпями лесовозных дорог (рис. 1).

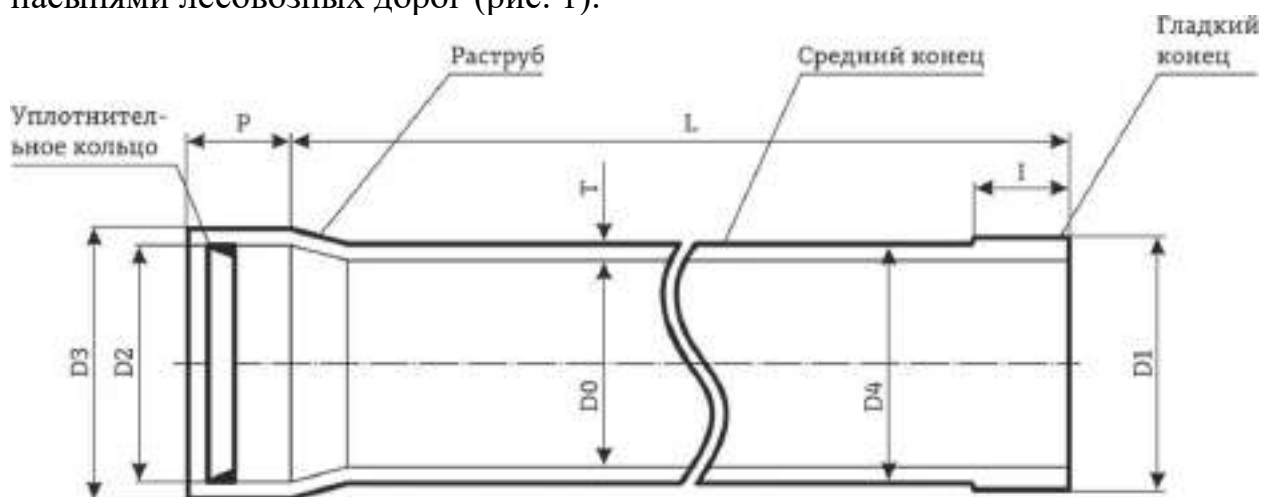


Рис.1. Строение композитной трубы

Сфера применения труб из композитных материалов – ремонт и устройство новых водопропускных труб на лесных дорогах:

Стеклопластиковые водопропускные трубы применяются прежде всего для строительства, а также их используют для замены и ремонта водопропускных труб в условиях умеренного и холодного климата, при температурах воздуха от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ .

Трубы производятся методом намотки на оправку требуемой формы многослойного композитного материала на основе ненасыщенной полиэфирной смолы, усиленной стекловолокном и кварцевым наполнителем.

Стеклопластиковые водопропускные трубы следует использовать для:

- нового строительства водопропускных сооружений под насыпями лесных дорог;
- удлинения существующих бетонных, железобетонных труб при уширении проезжей части и реконструкции дорог;
- ремонта существующих труб методом «труба в трубе».

Композитные трубы бывают:

- одноочковые (сооружения, состоящие из одной трубы);
- двухочковые (сооружения, состоящие из двух труб);
- многоочковые (сооружения, состоящие из трех труб и более);

- бесфундаментные;
- на фундаментах.

Преимущества труб из композитных материалов:

1. Отсутствие коррозии.

Из-за неблагоприятных климатических условий одной из главных причин повреждения железобетонных труб является коррозия. Внутренняя незащищенная поверхность трубы больше всего подвергается разрушению, засорению отверстия и образованию провалов на поверхности грунта. В случае с композитными трубами таких проблем не возникает, так как композитные материалы устойчивы к гальванической или электролитической коррозии.

2. Увеличение срока службы.

В среднем срок безремонтной службы составляет 60 лет. Данные трубы благодаря собственной гладкой внутренней поверхности могут в разы увеличить свою износоустойчивость за счет того, что для циркуляции жидкости требуется меньше энергии, следовательно, разрушение трубы происходит медленнее. При строительстве лесных дорог долговечность – это немаловажный фактор, потому что замена или ремонт трубы происходит достаточно проблематично в лесных условиях.

3. Снижение транспортных издержек благодаря небольшому весу.

В сравнении с железобетонными трубами трубы из композитных материалов за счет своего небольшого веса не нуждаются в тяжелой технике при транспортировке. Несомненно, это является значимым моментом в строительстве лесных дорог, поскольку тяжелая техника может разрушить грунтовую лесную дорогу.

Как и у любого другого изделия, у композитных труб есть свои плюсы и минусы. Единственным недостатком данных труб является их цена, в сравнении с железобетонными трубами они дороже в 2 раза. Но данные трубы обладают рядом преимуществ, которые обосновывают такую стоимость. Также при строительстве лесных дорог необходимо учитывать не только цену данного изделия, но и сопутствующие расходы.

Еще одной инновацией в строительстве лесовозных дорог является метод холодной регенерации (холодный ресайклинг), так как постоянно растущая интенсивность движения по лесным дорогам, а так же значительное увеличение нагрузок на ось требуют увеличения несущей способности дорожной одежды.

Эта технология позволяет производить реконструкцию, укрепление грунтов с использованием старого покрытия как нового. Для этого используют специальные машины — ресайклеры, которые на месте измельчают, перемешивают грунт при помощи фрезерного барабана, в процессе чего добавляются вяжущие материалы и стабилизаторы, которые предназначены для повышения несущей способности основания.

Холодный ресайклинг имеет ряд преимуществ над другими способами реконструкции. Данный метод достаточно экономичный, так как старое

дорожное полотно используется как строительный материал для нового и в закупке нового материала нет необходимости; Благодаря тому, что сама технология производится прямо на месте строительства, время реконструкции уменьшается, что для лесных условий является очень удобным. Сами ресайклеры обладают высокой производительностью, что позволяет проводить работы быстрее в несколько раз по сравнению с традиционными методами стабилизации грунтов. Загрязнение окружающей среды отсутствует, благодаря использованию старой дорожной одежды, кроме того нет необходимости привоза дополнительных материалов, так как технология производится прямо на месте, что снижает загрязнение. При использовании холодной регенерации получаются связные слои большой толщины, которые отличаются однородностью материала, что сохраняет структурную целостность дорожной одежды. Благодаря этому между тонкими слоями дорожной одежды вяжущие материалы не используются. Сокращается вероятность повреждения грунта, так как ресайклеры, в основном, выполняют один проход, что оказывает небольшое давление на грунт, что повышает его целостность, в отличие от обычных дорожно-строительных машин. Одним из достоинств является высокий уровень безопасности при реконструкции дорог, так как холодный ресайклинг выполняется только на одной полосе с целью сохранения одностороннего движения по другой.

Данные преимущества делают холодный ресайклинг наиболее выгодной технологией для ремонта дорожной одежды на лесной дороге. Но при реконструкции лесных дорог есть свои особенности, так как размерами лесная дорога отличается от дороги общего пользования, то лучше всего использовать небольшую фрезу, чтобы увеличить проходимость и маневренность машины.

Данный метод хорош тем, что он позволяет удовлетворить различные требования заказчика по реконструкции дорожной одежды, повысить транспортно-эксплуатационные показатели на длительный срок. Перед тем как начать работы, заказчик и исполнитель определяют, какие есть повреждения и какой должен быть результат. Кроме того учитываются климатические условия, интенсивность дорожного движения и наличие необходимых материалов.

Использование холодного ресайклинга при реконструкции лесовозной дороги позволит привести к минимуму появление деформаций из-за неровностей нижележащих слоев, восстановить целостность дорожной одежды, повысить несущую способность конструкции для больших перевозок грузов.

#### *Заключение.*

В наше время на дорогах общего пользования внедряется много инноваций в связи с развитием техники и технологий, поэтому не стоит забывать и про лесные дороги, ведь нововведения в строительстве приведут к экономии, повышению качества дорог, к улучшению несущей способности,



что позволит доставлять лесные грузы потребителю максимально быстро, безопасно и надежно.

### Библиографический список

1. Крашенинин Е.Ю., Шиковский В.С., Никитин И.В., Парфенова Т.С. Рекомендации по применению водопропускных труб из полимерных композиционных материалов: ОДМ 218.3.053-2015. – Москва: Федеральное дорожное агентство (росавтодор), 2021. – 5 с.
2. Инженерная практика: российский нефтегазовый журнал о технологиях и оборудовании [Электронный ресурс]. – Москва: ООО «Би Джи Промоушн», 2017. – Режим доступа: <https://glavteh.ru/стеклопластиковые-трубы-экономика> (Дата обращения: 13.04.2023).
3. Материалы для дорожного строительства и ремонта дорог [Электронный ресурс] / ООО «Претор-менеджмент». – Режим доступа: <https://www.pretor-road.ru/> (Дата обращения: 10.04.23).
4. Основные средства [Электронный ресурс] : журнал / электрон. журн. - Москва: ООО «РИА Р.О.С.С.БИЗНЕС», 2015. – Режим доступа: <https://os1.ru/>. (Дата обращения 11.04.23).
5. Ресайклинг дорог [Электронный ресурс]–Режим доступа: [https://cemdor.ru/recycling\\_dorog/recycling\\_dorogi.html](https://cemdor.ru/recycling_dorog/recycling_dorogi.html) (Дата обращения 11.04.23).
6. Трубы из композитных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ntt.su/articles/kompozitnye-truby/>. (Дата обращения 10.04.23).

### Сведения об авторах

**ФИО** Зубова О.В.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный 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** Петрова 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** 0404spetr@gmail.com

**ФИО** Швыдкая А.Д.  
**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** saharocheksasha@mail.ru

### **Аннотация**

В статье рассмотрена возможность внедрения инновационных технологий в сферу строительства и реконструкции лесовозных дорог и важность их применения. Рассмотрены такие нововведения как замена железобетонных труб на композитные, а также метод холодной регенерации (холодный ресайклинг), выделены преимущества их использования.

**Ключевые слова:** Лесовозная дорога, строительство, реконструкция, холодный ресайклинг, композитные трубы, стеклопластиковые водопропускные трубы.

**УДК** 630.383

**Раздел рубрикатора ГРНТИ:** 66.17.15

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ГРУНТАХ**

**Зубова О.В., Хохлов Г.И.**

*Введение.*

Строительство лесной дороги – это создание комплекса инженерных сооружений с заданными потребительскими свойствами при минимальных затратах финансовых, материальных, трудовых ресурсов и при минимальных сроках строительства. Быстрое и качественное строительство лесных дорог это основной фактор для быстрого завершения работ на лесных участках. На данный момент ведущие лесопромышленные компании при организации строительных работ выделяют комплекс работ и мероприятий, разрабатываемых и осуществляемых для повышения эффективности строительства. При этом нужно учитывать, что существенная часть территории нашей страны находится в неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях. Болота покрывают около 1 млн км<sup>2</sup> территории России (6%), около половины земель лесного фонда находится в зоне переменного переувлажнения. Техника для строительства лесных дорог на болотах и переувлажненных участках должна быть с определёнными техническими (повышенными по сравнению с обычным дорожно-строительной техникой) характеристиками.

*Цель работы.*

Целью работы является выяснение особенностей техники строительства лесных дорог на переувлажненных грунтах и болотах.

*Результаты исследования.*

В 90-х годах прошлого века объемы и темпы строительства лесовозных дорог заметно сократились в результате резкого прекращения финансирования лесопромышленных предприятий, лишения закрепленных за ними лесосырьевых баз, а также перевода на аренду или продаж с аукционов лесного фонда. Следствием этого стало отсутствие заинтересованности в

строительстве новых лесовозных дорог круглогодичного действия. Однако стоит отметить, что за два последних десятилетия произошло оживление лесопромышленных предприятий, которое дало возможность возродить активное строительство дорог для вывозки леса.

Для этих целей предприятию необходимо располагать парком машин, которые были бы достаточно разнообразны по назначению и техническим характеристикам.

Выполнение дорожно-строительных работ невозможно без применения механизации. Высшей ее ступенью является комплексная механизация, то есть когда все основные и вспомогательные технологические операции выполняют машины, объединенные в специализированные системы с учетом их производительности и заданного темпа строительства.

Основной задачей по организации строительства дороги является снижение стоимости работ за счет оптимизации структуры и количества специализированных машин в системе, применения передовых технологий и рациональных схем выполнения технологических операций.

Для выполнения этих работ формируются специализированные системы машин (ССМ), отличающиеся как типами машин, так и производительностью. Система машин, включающая в себя все ССМ, образует парк машин.

Для строительства дороги следует использовать экскаватор массой как минимум 20 тонн. Такой экскаватор оптимально подходит с точки зрения режима и назначения работ. Экскаватор должен быть оснащен ковшом с гидравлическим механизмом поворота, усиленной гусеничной защитой, т.е. адаптирован для работы в лесу. Для строительства лесной дороги подходят бульдозеры массой от 15 до 25 тонн, оснащенные поворотным отвалом. В комплект необходимого оборудования также входят универсальный и планировочный ковш. Кроме этого могут потребоваться соответствующие приспособления для подъемных работ (ленты или цепи для подъема и перемещения труб), а также базовый комплект безопасности: лопата, огнетушитель, аптечка и препарат для очистки почвы от моторного масла. Для работы в темное время суток машина должна быть оснащена достаточно эффективным освещением.

Чтобы понять особенности применения дорожно-строительной техники на слабых грунтах и болотах, рассмотрим основные технологические операции данного строительства [1]:

- Строительство искусственных укреплений во время рубки.
- Строительство водоотводных канав.
- Снятие грунта с поверхности, занимаемой боковыми канавами.
- Разработка грунтов боковых канав.
- Укладка водопропускных труб.
- Разработка или перемещение грунтов при возведении земляного полотна.
- Планировка поверхности проезжей части.
- Искусственные укрепления.

Возведение земляного полотна в условиях переувлажненной и

заболоченной местности является наиболее трудоемким этапом строительства лесной дороги [2]. Частая смена естественных грунтов может происходить и на небольшом отрезке строящегося сооружения. Строительство укреплений оправдано, если эта мера не противоречит проекту, функциональным и хозяйственным характеристикам объекта. Поверхностный слой на торфяных почвах не снимают. Укрепления сооружают непосредственно на поверхности торфяной залежи во время расчистки полосы отвода. Наиболее распространенным и надежным методом является сооружение сланей из очищенных стволов и порубочных остатков. На участках особой сложности применяют методы, требующие больших затрат: укрепление обочин, строительство глубоких осушительных канав, замена грунта и применение деревянных свай.

Для деревянных укреплений следует использовать только свежеспиленную древесину. Для предотвращения гниения готовую слань плотно покрывают дерном или тяжелым суглинком, устраняя таким образом доступ кислорода.

Метод укладки хворостяной выстилки обычно используется при строительстве дорог, способных выдержать движение тяжелой техники только в зимний период. Для легковых автомобилей эти дороги доступны в течение всего года. Укрепления строят из тонкомерных стволов, хвороста, веток и вершин деревьев, которые укладывают крест-накрест и внахлест, толщина конструкции должна быть не менее 0,5 м.

Укрепление основания с помощью целых деревьев подходит для небольших переувлажненных участков, вблизи которых обеспечен доступ, как к древесине, так и к минеральным грунтам. Этот метод можно использовать также с целью увеличения высоты насыпи земляного полотна. Укрепление основания с помощью целых деревьев подходит для небольших переувлажненных участков, вблизи которых обеспечен доступ, как к древесине, так и к минеральным грунтам.

Настил из продольно-поперечных лаг используется для повышения несущей способности грунтов на самых сложных участках дороги. Данная конструкция выдерживает движение тяжелой техники в течение всего года. Для продольных и поперечных лаг выбирают прочные хлысты диаметром более 10 см. Хлысты разделяют на бревна длиной около 4,5 м. С целью предотвращения гниения древесины конструкцию герметично укрывают слоем торфа.

При строительстве дорог на болотах экскаватор может дооснащаться гусеницами с расширенной площадью опоры и ковшем с бревнозахватывающим механизмом. Широкие гусеницы на экскаваторе предназначены для увеличения площади опоры, что минимизирует шанс полного разрушения верхнего слоя болота, опрокидывание машины на грунте с высоким уровнем влажности. Ковш с бревнозахватом используется для выстилания лежнёвки и перемещения бревен в процессе строительства лесовозной дороги на болоте. Бревнозахват помогает удерживать и

перемещать бревна, которые могут использоваться в качестве опорных элементов для дороги. Также ковш с бревнозахватом может использоваться для загрузки и разгрузки материалов и оборудования, что ускоряет процесс работы и снижает риски для рабочих.

В рамках исследования был проведен анализ технологий строительства лесных дорог на болоте. При этом было определено, что метод применения хворостяной выстилки по сравнению с остальными методами строительства дорог отличается увеличенной себестоимостью строительства. Доставка порубочных остатков на место строительства является более энергоемкой, чем доставка сортиментов.

Метод строительства лесных дорог на болоте в виде настила из целых деревьев или из сортиментов является самым популярным среди лесозаготовителей, но и он имеет свои особенности, такие как трудоемкость и ресурсоемкость строительства.

Также трудоемким является метод укладки в земляное полотно настила из продольно-поперечных лаг.

#### *Заключение.*

В процессе исследования были описаны технические решения, обеспечивающие высокую проходимость и надежность строительства на участках с сложной гидрологией. Ни один из применяемых и популярных у лесозаготовителей способов не является удовлетворительным. Все они отличаются повышенной трудо- и ресурсоемкостью. В связи с этим представляется необходимым направить дальнейшие исследования на внедрение инновационных технологий дорожного строительства на решение существующей проблемы.

#### **Библиографический список**

1. Пааво Киискинен, Харри Савонен и Тимо Томпери. Строительство лесной дороги. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://souzlesprom.ru/media/userfiles/dorogi\\_sec.pdf](http://souzlesprom.ru/media/userfiles/dorogi_sec.pdf) (Дата обращения: 12.04.2023).
2. Левушкин Д.М. Выбор оптимальных компоновок систем машин для строительства лесовозных дорог // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2005. – №2. – С. 120-123.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Зубова О.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	6997-4065
<b>e-mail</b>	ok_z19@mail.ru
<b>ФИО</b>	Хохлов Г.И.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,  
Россия  
**SPIN-код** Отсутствует  
**e-mail** khokhlov.georgiy@yandex.ru

### **Аннотация**

В статье рассматриваются особенности строительства лесных дорог на слабых и переувлажненных грунтах, требуемые характеристики дорожно-строительной техники. Также приведены наиболее применяемые варианты технологии устройства земляного полотна в сложных гидрологических условиях.

**Ключевые слова:** дорожно-строительные машины, переувлажненные грунты, лесные дороги на болотах.

**УДК** 630.383

**Раздел рубрикатора ГРНТИ:** 66.17.15

## **МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ФОТОМЕТРИИ ДОРОГИ**

**Коваленко Т.В., Эйвазов А.Ф., Беспалов Р.С. Диваков Д.О.**

### *Введение.*

В современном мире беспилотные летательные аппараты (БПЛА) все больше используются в различных сферах деятельности, включая строительство автодорог. БПЛА способны проводить быстрые и точные аэрофотосъемки, что делает их незаменимыми инструментами для планирования и мониторинга строительства дорог. Более того, квадрокоптеры могут использоваться для обнаружения и анализа недостатков, которые могут возникнуть в ходе строительства дорог, что позволяет своевременно принимать меры по их устранению. В данной статье мы рассмотрим применение БПЛА при строительстве дорог и описываем, как их использование может улучшить эффективность и точность работ, снизить затраты и повысить безопасность на объекте.

### *Материалы и методы исследований.*

Для проведения эксперимента был выбран дрон DJI mini 1 (рис. 1), как один из наиболее распространенных любительских БПЛА.



Рис. 1. DJI Mini 1

Перед проведением полевых испытаний важно следовать правилам:

- 1) Проверить все комплектующие (заряженный аккумулятор, свободная карта памяти).
- 2) Исследовать зону полета (проверить наличие видимости, отсутствие запретов на полеты).
- 3) Подготовить контрольные точки для последующей расстановки.
- 4) Выбор программы для последующей оцифровки.

*Результаты исследования.*

После подготовительного этапа необходимо запустить дрон и провести операцию, которая сводится к тому что мы пролетаем над объектом и с заданным интервалом проводим фотосъемку для составления фотометрии.

После проведения съемки получают сырые материалы, представленные на рис. 2.



Рис. 2. Фотографии для оцифровки

Полученный материал необходимо обработать в выбранной программе. Для эксперимента была выбрана программа AgisoftMetashape. После загрузки файлов программа сама расставляет камеры (место съемки каждой фотографии) в соответствии с маршрутом, основываясь на записи координат рис. 3).

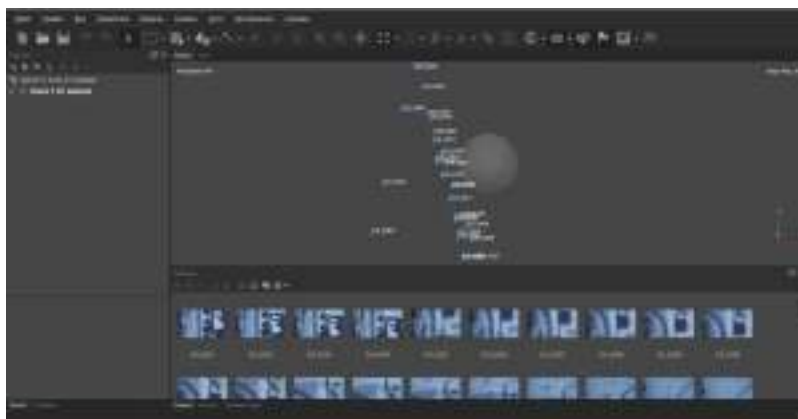


Рис. 3. Обработка материала

Следующим этапом следует считать выравнивание снимков. Программа находит общие точки (кол-во точек сообщается в опциях) на снимках и совмещает их. После чего мы получаем сырое облако точек (рис. 4).

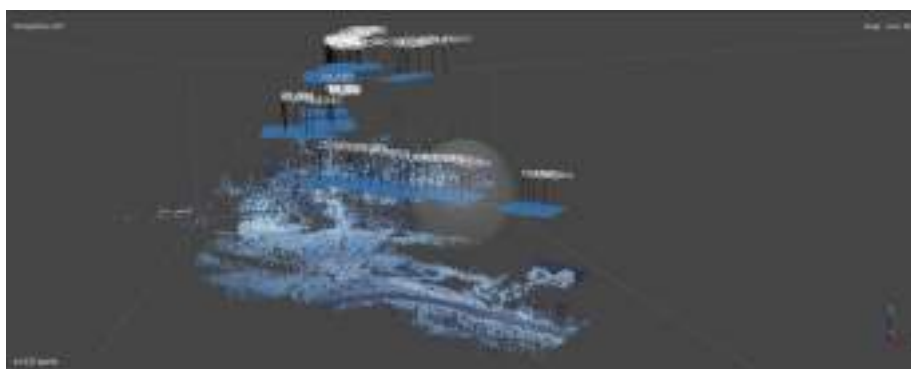


Рис. 4. Выравнивание снимков

После необходимо очистить артефакты (точки, принадлежащие территории не входящей в заданный объект) и построить плотное облако точек. Теперь можно построить 3D модель местности (рис. 5).



Рис. 5. 3D модель

Теперь стало возможно отличать объекты на местности, и даже видеть неровности дороги. На данном этапе обработка заканчивается и можно



осуществить снятие высотных отметок, составление ортофотоплана и других операций (рис. 6).



Рис. 6. Высотные отметки

Использование беспилотных летательных аппаратов для съемки дороги и создания ортофотоплана (рис. 7) – это эффективный способ получения точной информации о местности и поверхности дороги. В результате проведенного исследования было установлено, что использование дронов позволяет получать данные с высокой точностью, а также значительно сокращает время, затрачиваемое на обработку и анализ полученных данных.



Рис. 7. Ортофотоплан

Эксперимент, проведенный с использованием беспилотных летательных аппаратов для съемки дороги, показал, что такой подход может стать основой для создания более точных и надежных карт и планов местности. Более того, использование дронов может значительно ускорить процесс сбора данных и снизить затраты на проведение исследований.

#### *Заключение.*

В ходе проведенного эксперимента, не трудно сделать вывод о том, что применение БПЛА, набирает все больший интерес в сфере дорожного строительства. Данную технологию можно успешно внедрить и в лесном секторе, благодаря чему можно будет проводить более детальное и

качественное планирование лесных автодорог, а так же существенно снизить расходы для проведения плановых работ, а так же ускорить проведение основных работ при проектировании.

#### Список литературы

1. Кудравец Д.А., Ткачева О.А. Применение малой авиации в землеустройстве и мониторинге земель // Международный студенческий электронный научный вестник, 2016. – Вып. 4. – Ч.4. – С. 532-534.
2. Отчет РwС о коммерческом применении беспилотных летательных аппаратов в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pws.kz> (Дата обращения 08.02.2023).
3. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=681> (Дата обращения 08.02.2023).
4. Бабаев С.Н. Технология мониторинга открытых горных работ с применением беспилотного летательного аппарата // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2013. – № 10. – С. 16-20.

#### Информация об авторах

<b>ФИО</b>	Коваленко Т.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	2565-3233
<b>e-mail</b>	kovalenko.stl@spbftu.ru
<b>ФИО</b>	Эйвазов А.Ф.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	thefezerstyle@gmail.com
<b>ФИО</b>	Беспалов Р.С.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	lesnik787@inbox.ru
<b>ФИО</b>	Диваков Д.О.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,

SPIN-код  
e-mail

Россия  
Отсутствует  
danil.divakov359@mail.ru

### Аннотация

В статье рассмотрены инновационные возможности в сфере лесного строительства лесовозных дорог с применением квадрокоптеров. Проведен тестовый эксперимент в условиях приближенных к лесной местности. Рассмотрен способ обработки данных программой отечественной разработки.

**Ключевые слова:** БПЛА, точка съемки, артефакты, 3D-модель, фотосъемка.

УДК 630\*3

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

## ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОЙ МОДЕЛИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Ларин С.М., Громская Л.Я., Тюрин Н.А.

### *Введение.*

Переход к интенсивной модели лесопользования закреплен в основах государственной политики Российской Федерации. Модель основана на систематическом уходе за растущим лесом, что позволяет поддерживать древостой на максимуме прироста и кардинально улучшать качество и товарную структуру лесов. Главный природоохранный эффект от реализации такой системы лесопользования состоит в том, что вместо существующей экстенсивной модели пионерного освоения массивов девственных, диких лесов будет проводиться интенсификация лесопользования в уже освоенных лесах.

Известно, что для обеспечения любых лесохозяйственных мероприятий нужна соответствующая транспортная инфраструктура. В то же время традиционные методики проектирования транспортных сетей ориентированы на проектировании лесных дорог экстенсивной модели лесопользования, не уделяя должного внимания транспортному обеспечению задач интенсивной модели.

### *Цель работы.*

Целью работы является сравнительный анализ транспортного освоения лесных участков при экстенсивной и интенсивной модели лесопользования.

### *Методика исследования.*

Для обеспечения принципа неистощительности лесопользования площадь лесосырьевой базы лесозаготовительного предприятия  $S_s$  будет определяться требуемой расчетной лесосекой  $Q_{рас}$  и величиной ежегодного прироста древесины  $p_{год}$  по формуле:

$$S_3 = Q_{рас} / p_{год} \quad (1)$$

Величина среднего годового прироста на гектаре будет зависеть прежде всего от лесохозяйственных мероприятий, проведение которых возможно лишь при создании соответствующей транспортной сети. Каждая лесная дорога обладает некоторой зоной (лесной территорией), которую она обслуживает для заготовки древесины и проведения лесохозяйственных работ по последующему лесовосстановлению, охране и защите леса. Ширина зон лесопользования лесных дорог определяется для каждой категории дорог отдельно и является предметом оптимизации разработанной авторами математической модели [1]. Можно выделить следующие показатели ширины зон лесопользования лесных дорог: ширину зоны дороги общего пользования ( $d_{доп}$ ), ширину зоны лесной магистрали ( $d_m$ ), ширину зоны ветки ( $d_b$ ), ширину зоны уса ( $d_{ус}$ ), ширину зоны магистрального волока ( $d_{м.в}$ ) и пасечного волока ( $d_{п.в}$ ).

Выполненные авторами исследования структуры лесных дорог [2] подтверждают особенность лесной транспортной сети для ведения интенсивного лесного хозяйства от модели экстенсивного лесопользования. Для ведения интенсивного лесного хозяйства необходимо не только двойная густота лесных дорог по сравнению с экстенсивной моделью, но и переход на лесные дороги только постоянного действия, с отказом от использования зимников лесных магистралей, веток и усов.

Потребность дорог по категориям для полного транспортного освоения всей лесосырьевой базы при известной ее эксплуатационной площади  $S_3$ , определим по формуле:

$$L_j = 0.01 \frac{S_3}{d_j} k_j, \quad j=1 \dots 6, \quad (2)$$

где  $S_3$  – эксплуатационная площадь, га;  $d_j$  – ширина зоны лесопользования лесных дорог по категориям, км;  $j=1$  – дорога общего пользования;  $j=2$  – лесная магистраль;  $j=3$  – ветка;  $j=4$  – ус;  $j=5$  – магистральный волок;  $j=6$  – пасечный волок  $k_j$  – коэффициент удлинения дороги  $j$ -ой категории.

#### *Результаты исследований.*

На основании приведенной выше методики для одинаковой расчетной лесосеки равной 100 тыс. м<sup>3</sup>/год осуществлен расчет полного транспортного освоения лесных участков экстенсивной и интенсивной модели ведения лесного хозяйства для условий Ленинградской области, представленный в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов оптимальной транспортной сети при экстенсивной и интенсивной модели лесопользования для условий Ленинградской области

Ежегодный прирост древесины, м <sup>3</sup> /га	Требуемая площадь аренды, га	Требуется автодорог для полного транспортного освоения арендных лесов при расчетной лесосеки 100 тыс. м <sup>3</sup> /год				
		дороги общего пользования, км	лесные магистрали, км	ветки, км	усы, км	всего автодорог, км
Экстенсивная модель лесопользования						
1,5	66667	10,76	1524	2147	7919	11972
Интенсивная модель лесопользования						
3	33333	36,67	95	134	500	753
4	25000	27,50	162	228	844	1274
5	20000	22,00	365	514	1902	2872
6	16667	18,33	316	446	1653	2494

Результаты расчетов показывают значительное снижение площади аренды при переходе от экстенсивной модели на интенсивную модель см.таблицу 1. Так, при продуктивности лесонасаждений от 1,5 м<sup>3</sup>/га в год при экстенсивной модели до 3...6 м<sup>3</sup>/га в год при интенсивной модели арендуемая площадь сокращается в 2...4 раза. Снижение площади аренды позволит решить экологическую проблему отказа от дальнейшего использования первичных диких лесов, приблизить источники древесины к существующим центрам переработки, значительно уменьшить транспортные расходы.

Транспортная сеть, предназначенная для обеспечения интенсивной модели лесопользования, должна преимущественно состоять из лесных автомобильных дорог постоянного действия, к которым относятся лесные магистрали, ветки и усы постоянного действия. Отсутствие в регионе дорог общего пользования должно быть компенсировано дополнительным строительством лесных магистралей. Уменьшение площади аренды при переходе на интенсивную модель безусловно значительно снижает и потребность в протяженности лесных дорог для полного транспортного освоения даже при условии увеличенной их густоты по сравнению с экстенсивной моделью рис.1. Так при переходе на интенсивную модель и продуктивности прироста древесины 3 м<sup>3</sup>/га в год для полного транспортного освоения лесного участка требуется меньшая протяженность автодорог на 7 %, при продуктивности 4 м<sup>3</sup>/га – на 30%, при 5 м<sup>3</sup>/га – 44%, при 6 м<sup>3</sup>/га – 54%.

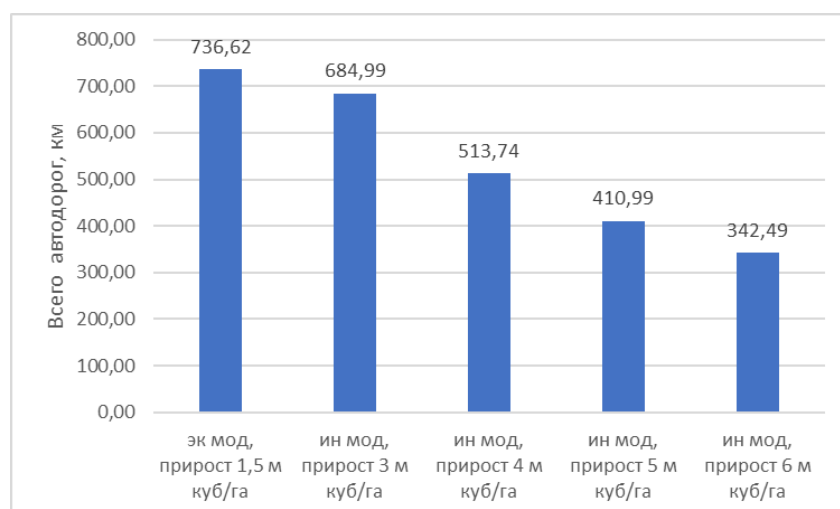


Рис. 1. Потребность в автодорогах для полного транспортного освоения арендных лесов при расчетной лесосеки 100 тыс. м<sup>3</sup>/год в зависимости от модели лесопользования и прироста древесины

Следует отметить, что общая требуемая протяженность автомобильных дорог общего пользования, лесных магистралей, веток и усов на единицу площади при интенсивной модели (20,5 км/1000 га) почти в два раза выше, чем при экстенсивной модели, равной 11,8 км/1000 га. Связано это с тем, что интенсивная модель лесопользования требует столь высокую густоту транспортной сети, которая обеспечивала бы постоянный доступ лесосечных и лесохозяйственных машин, доставку сил и средств ведения интенсивного лесного хозяйства практически к каждому дереву.

Основное отличие заключается в том, что при экстенсивной модели ремонтируют и содержат лишь те дороги, по которым обеспечивается вывозка древесины (примерно треть всей протяженности дорог в лесном массиве), но постоянно строятся новые. Интенсивная модель требует содержания и ремонта всей протяженности дорог для транспортного обеспечения лесохозяйственных мероприятий лесовоспроизводства и лесопользования, но при полном транспортном освоении не требует строительства новых лесных дорог. В итоге площадь разрушительного для лесных экосистем коммерческого лесопользования может сократиться в России в отдаленной перспективе с нынешних 100...130 млн га не менее чем в 3...4 раза, сохранятся многие леса высокой природоохранной значимости, значительно уменьшится число конфликтов с местным населением.

#### *Выводы.*

Переход на интенсивную модель за счет повышения продуктивности прироста древесины позволят уменьшить арендуемую площадь и соответствующие ей расходы на создание всей транспортной сети, а по достижении полного транспортного освоения и необходимости в новом дорожном строительстве.

### Библиографический список

1. Громская Л.Я., Тюрин НА. Автомобильные дороги лесозаготовительных предприятия // Структура и методика размещения. – Saarbmcken. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2012. – 175 с.
2. Ларин С.М., Громская Л.Я., Тюрин Н.А. Особенности структуры лесных дорог при экстенсивной и интенсивной модели лесопользования // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XX Международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГУ. 2022. – С. 297-300.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Ларин С. М.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	5165-2610
<b>e-mail</b>	serega.larin.1999@mail.ru
<b>ФИО</b>	Громская Л. Я.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	9636-3982
<b>e-mail</b>	gromskaya.stl@gmail.com
<b>ФИО</b>	Тюрин Н. А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8998-5234
<b>e-mail</b>	tnalif@mail.ru

### Аннотация

Выполнен анализ транспортной сети лесных дорог при интенсивной и экстенсивной модели лесопользования для условий Ленинградской области. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации транспортной сети лесных дорог и повышения эффективности лесопользования в регионе.

**Ключевые слова:** экстенсивная модель лесопользования, интенсивная модель лесопользования, продуктивность прироста древесины, площадь аренды, протяженность дорог.

УДК 630\*3

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

# ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ЛЕСНОЙ ДОРОГЕ: СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И РЕКОМЕНДАЦИИ

Силецкий В.В., Ляфишева М.Р.

*Введение.*

Дороги являются важной инфраструктурой для транспорта и экономики страны. Лесные дороги, как и любые другие дороги, должны быть спроектированы и построены с учетом требований к качеству и безопасности, а также для обеспечения устойчивости и долговечности конструкций. Одной из ключевых составляющих лесных дорог является их жесткая дорожная одежда, которая должна обеспечивать необходимую прочность и устойчивость конструкции.

*Цель работы.*

Изучение и сравнение различных методов расчета жесткой дорожной одежды на лесной дороге.

*Анализ существующих методов.*

Жесткая дорожная одежда на лесной дороге должна обеспечивать необходимую прочность и устойчивость конструкции при различных нагрузках, включая транспортные средства, которые будут использоваться на дороге. Расчет жесткой дорожной одежды включает определение необходимой толщины и прочности слоя, который будет размещен непосредственно на поверхности дороги.

Перед началом расчета жесткой дорожной одежды необходимо определить проектные параметры дороги, включая максимальную нагрузку, количество транспорта, который будет использоваться на дороге, климатические условия и другие факторы. Эти параметры помогают определить необходимую толщину слоя жесткой дорожной одежды и ее прочность.

Определение толщины слоя жесткой дорожной одежды может быть выполнено с использованием различных методов. Один из таких методов - это метод рационального проектирования, который основан на определении толщины слоя в зависимости от ожидаемых нагрузок на дорогу. В этом методе учитываются факторы, такие как прочность грунта, состав дорожной одежды, толщина грунта под дорожной одеждой и т.д.

Другим методом, который может использоваться для определения толщины слоя жесткой дорожной одежды, является метод механистического проектирования. Этот метод основан на математических моделях, которые позволяют определить распределение напряжений в слое дорожной одежды и определить ее прочность.

Важным аспектом расчета жесткой дорожной одежды является учет климатических условий. Климатические факторы могут существенно влиять на свойства материалов, используемых в конструкции дороги, а также на поведение самой конструкции. Например, высокие температуры могут



привести к деформации материалов, а заморозки могут вызвать трещины в конструкции. Поэтому при расчете жесткой дорожной одежды необходимо учитывать климатические условия в регионе, где будет расположена дорога.

Кроме толщины слоя и учета климатических условий, при расчете жесткой дорожной одежды также учитываются свойства материалов, используемых в конструкции дороги. Для жесткой дорожной одежды обычно используются материалы, такие как бетон и асфальтобетон. Эти материалы имеют различные свойства, такие как прочность и устойчивость к деформации, которые должны быть учтены при расчете жесткой дорожной одежды.

Важным аспектом расчета жесткой дорожной одежды является также выбор метода укладки материала на поверхности дороги. Например, для бетонной дорожной одежды можно использовать методы укладки в виде плит или в виде монолитного покрытия. Каждый метод имеет свои особенности и требует соответствующих технологий укладки, которые также должны быть учтены при расчете жесткой дорожной одежды.

#### *Результаты исследования.*

В ходе исследования были изучены различные методы расчета, включая метод конечных элементов [1], эмпирические формулы [3] и метод смешанного расчета [5]. При этом, для анализа литературы были использованы источники [2, 4]. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнения методов расчета жесткой дорожной одежды

Метод расчета	Преимущества	Недостатки
Метод конечных элементов	Высокая точность расчетов	Требуется большое количество вычислительных ресурсов и специальных программных средств
Метод эмпирических формул	Быстрый и простой в использовании	Имеет ограниченную точность
Метод смешанного расчета	Комбинирует преимущества двух предыдущих методов	Требуется некоторая дополнительная работа для интеграции различных методов

Рекомендации по выбору метода зависят от конкретных условий и требований проекта. Если требуется высокая точность расчетов, и располагается достаточное количество вычислительных ресурсов и специальных программных средств, то метод конечных элементов будет оптимальным выбором.

Если же требуется быстрый и простой расчет с ограниченной точностью, то можно использовать метод эмпирических формул. Также, в случае, если требуется более экономичное использование вычислительных ресурсов, но с достаточно высокой точностью, метод смешанного расчета может оказаться оптимальным выбором.

Рекомендуется всегда учитывать особенности конкретной дороги, нагрузки, свойства материала и другие факторы, чтобы выбранный метод расчета был максимально точным и адаптированным к конкретным условиям.

Дальнейшие исследования по данной теме включают следующие направления:

- Исследование влияния различных факторов на жесткость дорожных одежд на лесных дорогах, таких как тип грунта, наличие или отсутствие асфальтового покрытия, сезонные изменения влажности грунта и т.д.
- Сравнительный анализ различных методов расчета жесткости дорожных одежд на лесных дорогах, включая экспериментальные и численные методы.
- Разработка новых методов и приборов для более точного и быстрого измерения жесткости дорожных одежд на лесных дорогах.
- Определение оптимальных параметров дорожных одежд на лесных дорогах, учитывающих особенности грунтов и условия эксплуатации.
- Разработка методов оценки долговечности дорожных одежд на лесных дорогах и предложение способов их совершенствования.
- Исследование возможности использования новых материалов для улучшения жесткости дорожных одежд на лесных дорогах, таких как геосинтетики и специальные полимеры.
- Разработка моделей для прогнозирования поведения дорожных одежд на лесных дорогах при различных условиях эксплуатации и сезонных изменениях.
- Определение влияния транспортных нагрузок на жесткость дорожных одежд на лесных дорогах и разработка методов для снижения негативного воздействия транспорта на дорожное покрытие.

#### *Заключение.*

Расчет жесткой дорожной одежды на лесной дороге является сложным процессом, который требует учета множества факторов, таких как проектные параметры дороги, климатические условия, свойства материалов и методы укладки материала на поверхности дороги. Несмотря на сложности, правильный расчет жесткой дорожной одежды на лесной дороге может существенно улучшить качество и безопасность дороги, а также обеспечить ее устойчивость и долговечность.

#### **Библиографический список**

1. Булычев, Д.Ю. Определение жесткости дорожных одежд по методу конечных элементов // Транспорт и дорожное строительство, 2012. – №2. – С. 34-39.
2. Свод правил СП-318.1325800.2017. Дороги лесные. Правила эксплуатации. – Утв. Приказом Минстроя России от 25 декабря 2017 г. № 867/пр. – Москва: Минстрой России, 2018. – 50 с.
3. Кучеренко, И.В., Руденко, А.Н. Экспериментальное исследование жесткости дорожных одежд на лесных дорогах // Сибирский лесной журнал, 2015. – №3. – С. 67-72.
4. ГОСТ 25100-2011. Перечень типовых технологических процессов строительства лесных дорог и требования к их выполнению. – Введ. 01.07.2012. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 44 с.

5. Хабибуллин, Р.С., Абдуллин, Р.Ш. Методы определения параметров жесткости дорожных одежд // Вестник дорожной науки, 2016. – №2. – С. 97-101.

#### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Силецкий В.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	4495-0838
<b>e-mail</b>	lol.spairo@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Ляфишева М.Р.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	m.lyafisheva@mail.ru

#### Аннотация

Рассмотрены три основных метода расчета жесткой дорожной одежды: метод конечных элементов, метод эмпирических формул и метод смешанного расчета. Для каждого метода приведены его преимущества и недостатки, а также описаны особенности его применения в контексте расчета жесткой дорожной одежды на лесной дороге.

**Ключевые слова:** дорожные одежды, лесные дороги, методика расчета, метод конечных элементов, смешанный расчет.

УДК 630\*381.2

Раздел рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Силецкий В.В., Рыбакова Е.В.

*Введение.*

Обеспыливание лесных дорог является важной задачей, которая способствует улучшению экологических условий в лесных массивах и повышению безопасности на дорогах. Одним из наиболее эффективных методов обеспыливания является использование реагентов [1].

Реагенты, используемые для обеспыливания, могут быть представлены в виде жидкостей, порошков или гранул. Их основной целью является связывание пыли и создание на поверхности дороги защитной пленки, которая не дает пыли распространяться. Реагенты также могут иметь дополнительные свойства, такие как снижение вязкости почвы, увлажнение и укрепление грунта.

Применение реагентов имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами обеспыливания. Во-первых, это более эффективный способ, который позволяет снизить количество пыли на дороге до 95% [2]. Во-вторых, это более экономически выгодный метод, поскольку реагенты могут быть использованы в течение длительного периода времени и не требуют постоянной подачи новых средств. В-третьих, реагенты при правильном применении являются экологически безопасными и не оказывают значительного негативного влияния на окружающую среду.

Однако, несмотря на множество преимуществ использования реагентов при обеспыливании лесных дорог, существуют и некоторые недостатки. Во-первых, реагенты могут повредить автомобильное оборудование, если они наносятся на него в больших количествах [3]. Во-вторых, некоторые реагенты могут вызывать коррозию металлических поверхностей и повреждения бетонных конструкций. В-третьих, реагенты могут быть опасными для здоровья [4], если они попадают в контакт с кожей или вдыхаются в легкие.

Для минимизации рисков необходимо правильно выбирать реагенты и применять их согласно рекомендациям производителей. Также следует соблюдать правила безопасности при работе с реагентами, использовать средства индивидуальной защиты и обеспечивать правильную утилизацию отходов.

#### *Цель работы.*

Рассмотреть применение реагентов для обеспыливания лесных дорог, проанализировать основные механизмы действия реагентов и провести сравнение различных реагентов с учетом их физико-химических свойств и эффективности, а также определить наиболее эффективный реагент для обеспыливания лесных дорог.

#### *Теоретические предпосылки.*

При обеспыливании дорог используются реагенты, которые могут оказывать различное воздействие на частицы пыли и препятствовать их вылету в атмосферу [5, 6]. Одним из основных механизмов действия реагентов является их способность удерживать влагу и образовывать пленки на поверхности частиц пыли.

Кроме того, реагенты могут оказывать химическое воздействие на частицы пыли, в результате чего они перестают быть летучими и не могут вылететь в атмосферу. Например, реагенты на основе кальция могут реагировать с частицами пыли и образовывать нерастворимые соединения, которые остаются на поверхности дороги и не могут вылететь в атмосферу [7].

Другим механизмом действия реагентов является их способность снижать статическое электричество на поверхности дороги, которое может приводить к электростатическому заряду частиц пыли и их легкому вылету в атмосферу. Реагенты на основе аммиака могут эффективно снижать статическое электричество и предотвращать вылет пыли.

Таким образом, применение реагентов при обеспыливании дорог основывается на различных физических и химических принципах, которые позволяют предотвратить вылет частиц пыли в атмосферу. При выборе реагентов необходимо учитывать их способность к образованию пленок на поверхности частиц пыли, химическое воздействие на пыль, а также способность снижать статическое электричество на поверхности дороги.

*Результаты исследования.*

Существует несколько реагентов, которые могут использоваться для обеспыливания дорог, включая аммиак, магниевый хлорид, кальций хлорид и натриевый хлорид. Рассмотрим их характеристики и эффективность в борьбе с пылью на лесных дорогах.

В табл. 1 представлено сравнение характеристик реагентов, используемых для обеспыливания лесных дорог.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики реагентов

Реагент	Стоимость	Эффективность	Воздействие на окружающую среду	Токсичность
Аммиак	Низкая	Средняя	Высокое	Высокая
Магниевый-хлорид	Средняя	Высокая	Высокое	Средняя
Кальций хлорид	Высокая	Очень высокая	Низкое	Низкая
Натриевый хлорид	Низкая	Средняя	Низкое	Низкая

Как видно из табл. 1, кальций хлорид обладает наиболее высокой эффективностью в борьбе с пылью на лесных дорогах, а также имеет наименьшее воздействие на окружающую среду и низкую токсичность. Однако, его стоимость выше, чем у других реагентов. Магниевый хлорид также имеет высокую эффективность в борьбе с пылью, но может иметь негативное воздействие на окружающую среду. Аммиак имеет низкую стоимость, но высокую токсичность и может негативно влиять на окружающую среду. Натриевый хлорид имеет низкую стоимость, но может быть менее эффективным в борьбе с пылью на лесных дорогах. Таким образом, для обеспыливания лесных дорог, лучшим выбором может быть кальций хлорид. Однако, при выборе реагента необходимо учитывать не

только его эффективность, но и климатические условия и особенности местности.

В ходе исследования, также было проведено химическое сравнение характеристик реагентов для обеспыливания лесных дорог. Результаты сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Химическое сравнение реагентов

Реагент	Химическая формула	pH-раствора	Температура замерзания	Гигроскопичность
Аммиак	NH <sub>3</sub>	Щелочной	-77,7°С	Высокая
Магний-хлорид	MgCl <sub>2</sub>	Кислый	-15°С	Высокая
Кальций хлорид	CaCl <sub>2</sub>	Кислый	-52°С	Высокая
Натриевый хлорид	NaCl	Нейтральный	-21,1°С	Низкая

Как видно из табл. 2, аммиак является основным реагентом с высокой гигроскопичностью и низкой температурой замерзания. Магний хлорид и кальций хлорид оба являются кислыми реагентами с высокой гигроскопичностью и низкой температурой замерзания. Натриевый хлорид является нейтральным реагентом с низкой гигроскопичностью и сравнительно низкой температурой замерзания.

Таким образом, выбор наиболее эффективного реагента для обеспыливания лесных дорог зависит от ряда факторов, включая климатические условия, тип дороги, географическое расположение и наличие животных и растительности в районе. В большинстве случаев, для обеспыливания лесных дорог используются смеси различных реагентов, что позволяет достичь оптимальных результатов. Смесь аммиака и магниевого хлорида может оказывать сильное воздействие на обеспыливание дорог в условиях сухого и жаркого климата, а смесь кальция и натрия может использоваться для обеспыливания дорог в условиях сильных морозов.

Выбор наиболее эффективного реагента для обеспыливания лесных дорог зависит от многих факторов. При выборе реагентов необходимо учитывать их химические свойства, воздействие на окружающую среду и здоровье человека, а также стоимость и доступность на рынке. Важно использовать оптимальную смесь реагентов, которая позволит достичь максимальной эффективности при обеспыливании лесных дорог.

#### *Заключение.*

Использование реагентов при обеспыливании лесных дорог является эффективным и экологически безопасным методом. Он позволяет улучшить экологические условия в лесных массивах и повысить безопасность на

дорогах, а также сократить затраты на уборку пыли. Однако, для достижения наилучших результатов, необходимо правильно выбирать реагенты и применять их согласно рекомендациям производителей и правилам безопасности.

Важно учитывать особенности климатических условий и местности, где проводится обработка лесных дорог. Например, при высокой влажности реагенты могут быстро вымываться дождем, что снижает их эффективность. В таких условиях может потребоваться более частое нанесение реагентов для поддержания желаемого эффекта.

Выбор реагентов зависит от типа дороги, ее конструкции и материала покрытия. Для грунтовых дорог могут использоваться реагенты на основе кальция, магния или аммония, которые помогают связать пыль и предотвратить ее поднятие. Для асфальтовых дорог могут применяться реагенты на основе магния, кальция или хлорида натрия, которые также помогают связывать пыль и предотвращать ее подъем.

Важно также учитывать экологические последствия использования реагентов и их воздействие на окружающую среду. Некоторые реагенты могут иметь негативное воздействие на грунты и растительность, а также на водные ресурсы. Поэтому при выборе реагентов следует учитывать их экологическую безопасность и выбирать те, которые не оказывают вредного воздействия на окружающую среду.

Использование реагентов при обеспыливании лесных дорог является эффективным методом, который позволяет улучшить экологические условия в лесных массивах, повысить безопасность на дорогах и сократить затраты на уборку пыли.

#### **Библиографический список**

1. Бакин И.В. Лесные дороги. Эксплуатация и ремонт / И.В. Бакин, А.С. Башилов, А.В. Мухин и др. – Москва: ГУП РФ «Леспромхоз», 2004. – 368 с.
2. Кравченко В.П. Обеспыливание дорог в лесном хозяйстве / В.П. Кравченко, В.М. Голубев // Лесное хозяйство, 2009. – № 4. – С. 62-65.
3. Булатов А.Ф. Обеспыливание лесных дорог при помощи реагентов / А.Ф. Булатов, С.В. Жерновой // Лесное хозяйство, 2012. – № 3. – С. 45-49.
4. Яценко И.В. Основы химии реагентов для обеспыливания дорог / И.В. Яценко, А.Н. Шишкин // Химическая промышленность, 2016. – № 8. – С. 22-27.
5. Суворова Л.Н. Использование реагентов на основе аммония для обеспыливания дорог / Л.Н. Суворова, А.А. Шестакова // Экологический вестник России, 2018. – Т. 23. – № 1. – С. 12-15.
6. Петров В.С. Эффективность применения различных реагентов для обеспыливания дорог / В.С. Петров, А.М. Королев, В.А. Степанов // Лесозаготовительное производство, 2019. – № 2. – С. 21-24.
7. Палагнюк М.И. Оценка экологических рисков при применении реагентов для обеспыливания лесных дорог / М.И. Палагнюк, В.А. Волков // Экология и промышленность России, 2020. – Т. 24. – № 9. – С. 16-19.

### Сведения об авторах

**ФИО** Силецкий В.В.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия  
**SPIN-код** 4495-0838  
**e-mail** lol.spairo@yandex.ru

**ФИО** Рыбакова Е.В.  
**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** katya-ryba@mail.ru

### Аннотация

Данная статья посвящена применению реагентов для обеспыливания лесных дорог. В статье рассмотрены основные механизмы действия реагентов и их применение для обеспыливания дорог. Также проведено сравнение различных реагентов, используемых для обеспыливания, с учетом их физико-химических свойств и эффективности. На основании сравнения был определен наиболее эффективный реагент для обеспыливания лесных дорог.

**Ключевые слова:** реагенты, обеспыливание, аммоний, хлорид кальция, лесные дороги, дорожные покрытия.

**УДК** 630\*383.4

**Раздел рубрикатора ГРНТИ** 66.17.15

## ПРИМЕНЕНИЕ ЩЕЛОЧЕЙ В ЛЕСНОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Силецкий В.В., Смирнова В.Н.

*Введение.*

Лесное дорожное строительство – это важный этап лесохозяйственного процесса, который позволяет организовать доступ к лесным массивам, провести лесозаготовительные работы, а также улучшить экологические условия лесного комплекса. Одним из методов улучшения качества лесных дорог является использование щелочей.

Щелочи – это химические соединения, которые обладают щелочной реакцией и могут использоваться для обработки различных поверхностей. В



лесном дорожном строительстве щелочи применяют для укрепления грунта, уменьшения пыли на дороге [1].

Для укрепления грунта используют растворы щелочей, которые наносят на поверхность дороги. При этом происходит химическая реакция, которая приводит к увеличению прочности грунта [2]. Щелочи также улучшают дренажные свойства грунта и способствуют более быстрому высыханию дорожного покрытия после дождя.

Для борьбы с глиной используют щелочные растворы, которые изменяют химический состав глины, делая ее менее липкой и более прочной. Также щелочи могут использоваться для уменьшения пыли на дороге. Для этого на поверхность дороги наносят раствор щелочей, который связывает пыль и предотвращает ее образование.

#### *Цель работы.*

Исследование применения щелочных материалов в лесном дорожном строительстве, а также оценка их эффективности и экономической целесообразности по сравнению с традиционными методами укрепления и уложения дорожных покрытий.

#### *Предпосылки и недостатки применения щелочей.*

Использование щелочей в лесном дорожном строительстве имеет ряд преимуществ. Во-первых, это экономически выгодно. Стоимость щелочных растворов гораздо ниже, чем цена традиционных материалов для укрепления дорожного покрытия. Во-вторых, использование щелочей позволяет сократить время строительства, так как процесс укрепления грунта и борьбы с глиной происходит значительно быстрее. Кроме того, использование щелочей экологически безопасно, так как эти соединения являются небольшими и не оказывают негативного воздействия на окружающую среду. Однако использование щелочей также имеет некоторые недостатки. Во-первых, щелочные растворы могут негативно влиять на растительный покров, так как изменяют химический состав грунтов. Во-вторых, использование щелочей требует соблюдения определенных мер безопасности, так как неправильное применение может привести к ожогам кожи и слизистых оболочек.

#### *Анализ исследований.*

В ходе работы был проведен анализ исследований в области применения щелочей при укреплении грунтов. Одно из исследований, связанных с применением щелочей в лесном дорожном строительстве, было проведено на территории Китая. В исследовании [3-5] было изучено влияние применения щелочей на свойства грунтов, используемых для строительства лесных дорог. Исследование показало, что применение щелочей может улучшить плотность и прочность грунтов, что в свою очередь может улучшить качество дорожного покрытия и снизить его износостойкость.

Другое исследование было проведено в Индии. В исследовании [6-8] было изучено влияние применения щелочей на качество дорожного покрытия и на окружающую среду. Исследование показало, что применение щелочей

может улучшить прочность и износостойкость дорожного покрытия, а также снизить его воздействие на окружающую среду.

Также были проведены исследования, связанные с оптимизацией условий применения щелочей в лесном дорожном строительстве. В одном из таких исследований [9-11], были определены оптимальные условия применения щелочей для улучшения качества дорожного покрытия и снижения его негативного воздействия на окружающую среду. Исследование показало, что оптимальная дозировка щелочей составляет от 3 до 5% от массы грунта, а оптимальная концентрация щелочей в воде - от 1 до 2%.

Таким образом, исследования, связанные с применением щелочей в лесном дорожном строительстве, позволяют оптимизировать условия применения щелочей и снизить их негативное воздействие на окружающую среду. Результаты исследований могут быть использованы при разработке рекомендаций и стандартов для применения щелочей в лесном дорожном строительстве, а также могут быть использованы при проектировании и строительстве лесных дорог.

*Результаты исследования.*

Данные исследования по сравнению и выбору оптимального щелочного реагента приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики щелочных материалов

Щелочной материал	Прочность	Влаго-стойкость	Морозо-стойкость	Экологические показатели	Стоимость
Гидроксид кальция	Высокая	Высокая	Высокая	Улучшаются при превращении в карбонат кальция	Низкая
Гидроксид натрия	Средняя	Средняя	Низкая	Оставляет вредные остатки в грунтах	Средняя
Гидроксид калия	Высокая	Низкая	Средняя	Улучшаются при превращении в карбонат калия	Высокая

Из табл. 1 видно, что гидроксид кальция обладает высокой прочностью, устойчивостью к влаге и морозам, а также способностью к превращению в карбонат кальция, что улучшает экологические показатели. Однако, использование гидроксида кальция требует дополнительных мер по обеспечению безопасности, так как он является едким веществом.

Гидроксид натрия обладает средней прочностью и устойчивостью к влаге, но низкой устойчивостью к морозам. Кроме того, использование гидроксида натрия может оставлять вредные остатки в грунтах, что снижает его экологические показатели.

Гидроксид калия обладает высокой прочностью и устойчивостью к морозам, но низкой устойчивостью к влаге. Однако, при превращении в карбонат калия улучшаются экологические показатели. Кроме того, гидроксид калия является дорогостоящим материалом, что увеличивает его стоимость.

Таким образом, выбор щелочного материала для дорожного строительства должен осуществляться с учетом конкретных условий и требований, которые предъявляются к объекту.

На основе полученных данных были запланированы исследования, связанные с применением щелочей в лесном дорожном строительстве, направленные на изучение следующих аспектов:

- Влияние различных видов щелочей на качество дорожного покрытия. Исследования могут охватывать изучение влияния дозировки и концентрации щелочей на свойства дорожного покрытия, такие как прочность, износостойкость и адгезия.
- Влияние применения щелочей на растительный покров и грунты. Исследования могут проводиться с целью оценки влияния щелочей на химический состав грунтов и на различные виды растительности. Это позволит определить возможные негативные последствия применения щелочей на окружающую среду и разработать меры для минимизации этих воздействий.
- Оптимизация условий применения щелочей. Исследования могут быть направлены на определение оптимальных условий применения щелочей, таких как дозировка, концентрация, температура, время высыхания и т.д. Это поможет улучшить эффективность применения щелочей и снизить возможные негативные последствия.

Все эти исследования могут помочь оптимизировать применение щелочей в лесном дорожном строительстве, улучшить качество дорожного покрытия и снизить возможные негативные последствия на окружающую среду. Результаты исследований могут быть использованы при разработке рекомендаций и стандартов для применения щелочей в лесном дорожном строительстве.

#### *Заключение.*

Использование щелочей для улучшения качества дорожного покрытия в лесном дорожном строительстве имеет свои преимущества и недостатки. С одной стороны, это метод, который может значительно улучшить качество дорог в лесном районе, снизить расходы на их содержание и обеспечить устойчивое развитие. С другой стороны, он требует определенных затрат на приобретение и применение щелочных реагентов, а также может вызвать некоторые экологические риски и ограничения. Поэтому, прежде чем принимать решение об использовании щелочей в лесном дорожном строительстве, необходимо проводить дополнительные исследования и анализировать конкретные условия на месте. Кроме того, важно учитывать экономические аспекты и аспекты устойчивого развития при применении щелочей. В целом, использование щелочей в лесном дорожном строительстве может быть эффективным методом для улучшения качества дорожного покрытия в лесном районе, но требует сбалансированного подхода, учета специфических условий и проведения дополнительных исследований.

### Библиографический список

1. Никоноров С.М., Кожевников С.В., Романовский Н.А. Исследование свойств луговых почв и разработка технологии их щелочной стабилизации // Экология и промышленность России, 2019. – № 10. – С. 18-22.
2. Васильев В.Г., Васильева О.В. Технология щелочной стабилизации дорожных покрытий на основе минеральных связующих материалов // Транспорт России, 2015. – № 1. – С. 78-81.
3. Ng C.K., Klass C.M., Reddy K.R.. Stabilization of forest road subgrade soils with fly ash and cement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2003. – 15(3). – PP. 235-243.
4. Yang S.S., Oh J.H., Kim S.H.. Alkaline activation of granulated blast furnace slag for geotechnical applications. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2014. – №32(6). – PP. 1597-1604.
5. Zhang H., Liu X., Wu J.. Investigation of Alkali-Activated Fly Ash for Soil Stabilization in Forest Road Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2016. – №28(1). – PP. 04015106.
6. Rahman A.R.A., Rahman A.T.A., Jaafar M.S.. Stabilization of tropical peat soil with cement, fly ash and rice husk ash. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 2014. – №8(4). – PP. 342-350.
7. Konkol P., Szymanowski K., Fedorowicz K. The effect of lime and cement on the properties of reclaimed forest soils used in the construction of forest roads. *Ecological Engineering*, 2016. – №91. – PP. 159-166.
8. Zhang H., Lu G., Han J.. Study on the Alkaline Modification of Forest Roadbed Materials. *Advanced Materials Research*, 2014. – №853. – PP. 103-106.
9. K. Vanhatalo, T. Ranta, and H. Hakala. Alkaline stabilization of forest roads: long-term field test. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2013. – №139(6). – PP. 963-971.
10. Guo J., He B., Yu L. Application of the alkali activated slag in forest road engineering. *Procedia Engineering*, 2017. – №174. – PP. 572-578.
11. Ganesan S., Sridharan A., Barai S.V. Lime stabilization of forest soil for road construction. *Journal of Transportation Engineering*, 2005. – №131(10). – PP. 769-773.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Силецкий В.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	4495-0838
<b>e-mail</b>	lol.spairo@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Смирнова В.Н.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	smvasilisa@gmail.com

### **Аннотация**

Рассмотрены перспективы использования щелочей для улучшения качества дорожного покрытия в лесном дорожном строительстве. В статье описываются основные преимущества и недостатки применения щелочей, а также рассматриваются специфические условия лесного дорожного строительства, которые необходимо учитывать при выборе щелочных реагентов. Также рассматриваются экономические аспекты и аспекты устойчивого развития, которые следует учитывать при применении щелочей.

**Ключевые слова:** щелочи, лесное дорожное покрытие, гидроксид калия, гидроксид кальция, гидроксид натрия.

**УДК** 630\*381.2

**Раздел рубрикатора ГРНТИ** 66.17.15

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ «ИНДУСТРИИ 4.0» В ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

**Трофимов А.В., Зверев И.А., Мурашкин А.А.**

### *Введение.*

Развитие машиностроения, как любой отрасли материального производства, реализуется поэтапно и связано с революционными преобразованиями в науке и технике [1]. Одним из этапов является четвертая промышленная революция, характеризующаяся повсеместным внедрением киберфизических цифровых систем в различных отраслях промышленности (ассоциируется с программой «Индустрия 4.0») [2]. Изменения, без сомнения, коснутся и лесозаготовительной отрасли. Анализ возможностей применения базовых технологий «Индустрии 4.0» в отраслевом машиностроении, является актуальной задачей.

### *Цель работы.*

Рассмотреть возможности применения технологий четвертой промышленной революции в лесозаготовительной отрасли.

### *Методы исследования.*

Сравнительный анализ.

### *Результаты исследования.*

Базовые технологии программы, представленные на рис. 1, применяются в лесной отрасли России в разной степени. Основная часть находится в зачаточном состоянии и адаптируется для практического использования в реальных производственных условиях.



Рис. 1. Базовые технологии «Индустрии 4.0»

Интернет вещей (IoT) – сеть объектов (устройств и т.д.), оснащенная датчиками, программным обеспечением, сетевым оборудованием и способная собирать и обмениваться данными через Интернет [3].

Примером использования интернета вещей в лесозаготовительной отрасли является телематическая система JD Forest Sight компании John Deere. Система ведет наблюдение за наработкой двигателя, данными о расходе топлива, местонахождением (геолокацией), отслеживает интервалы технического обслуживания и др. Элементы схемы и связи системы представлены на рис. 2.

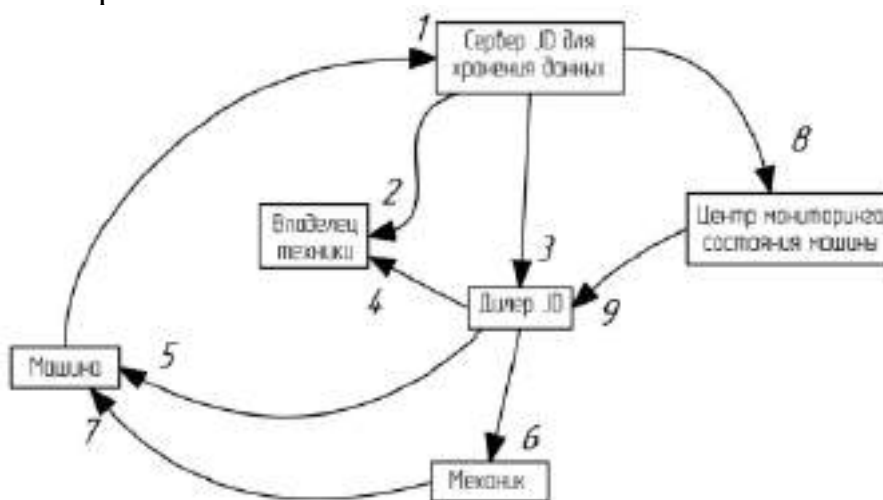


Рис. 2. Схема работы системы JDLink

Система работает следующим образом.

Вся информация с датчиков отправляется на сервер (стрелка 1). Владелец техники может просмотреть ее при помощи приложения JDLink (стрелка 2), которое устанавливается на операционные системы Apple IOS и Android. Если от бортового компьютера машины поступает предупреждение, то оно пересылается и владельцу, и дилеру (стрелка 3). Дилер связывается с

хозяином техники и предлагает варианты решения проблемы (стрелка 4). При необходимости, дилер проводит дистанционную диагностику (стрелка 5).

При возможности провести ремонт на месте эксплуатации техники и согласовании времени (которое будет удобно владельцу), дилер сообщает механику (стрелка 6), какие детали потребуются для ремонта и координаты техники. Механик приезжает на место и проводит все требуемые операции (стрелка 7).

Для предотвращения «внезапных» поломок, центр мониторинга все время анализирует информацию с датчиков (стрелка 8). Когда специалист центра замечает по получаемым количественным показателям, что в скором времени произойдет отказ какого-либо узла машины – сразу связывается с дилерским центром, к которому приписана машина (стрелка 9). После получения информации дилер связывается с владельцем техники. Далее сценарий повторяет рассмотренную схему.

Технология Bid Data – комплекс способов работы с большими объемами информации для формирования результатов, исследуемых компьютером или работником. Технология позволяет собрать данные из цифровых или материальных источников как внутри компании, так и вне ее производственных процессов.

Примером использования технологии являются машиностроительные предприятия, занимающиеся серийным выпуском лесозаготовительной техники (John Deere, Tigercat, Komatsu Forest, Ponsse и др.). Компании подключают свое оборудование для контроля всего производственного процесса к единому распределительному центру завода. На все станки устанавливаются датчики, использующиеся для сбора данных о состоянии машин и времени их работы.

Данные обрабатываются в режиме реального времени, а сотрудники получают уведомления о будущей поломке или сбое в работе при выполнении производственных операций. Система позволяет не только прогнозировать проблемы в функционировании оборудования, но и планировать работы по техническому обслуживанию задолго до возникновения сбоев.

Сбор и анализ данных в реальном времени с выделением «полезной» (для решения стоящей задачи) информации позволяет увеличить объемы производства более чем на 10 %, улучшить систему доставки и повысить удовлетворенность клиентов.

Виртуальная реальность (VR) – технология, позволяющая пользователю погрузиться в искусственный мир и непосредственно действовать в нем с помощью специальных сенсорных устройств, которые связывают его действия с аудиовизуальными эффектами. Зрительные, слуховые, осязательные и моторные ощущения пользователя заменяются их имитацией, генерируемой компьютером.

Дополненная реальность (AR) – наложение дополнительной графической информации на транслируемое изображение окружающей

обстановки. AR воспроизводит 3D-объекты на фоне реально визуализируемой действительности.

Примерами использования технологий виртуальной и дополненной реальности являются тренажеры, имитирующие работу на лесозаготовительной технике и моделирующие для пользователя условия, максимально приближенные к реальным (рис. 3) [4].



а)



б)

Рис. 3. Симуляторы имитирующие работу на лесозаготовительной технике:  
а – общий вид тренажера «PONSSE FULL SIMULATOR»; б – общий вид тренажера «TimberMatic» компании John Deere.

Симуляторы, как системы виртуальной реальности, позволяют смоделировать рабочую зону оператора лесозаготовительной техники. Трансляция виртуальной зоны может осуществляться как на экран симулятора, так и на сетчатку глаз пользователя с помощью очков виртуальной реальности. Помимо рабочей зоны, программа симуляции визуализирует и все действия, выполняемые оператором машины (движение машины, раскряжевка деревьев, перемещение манипулятора и т. д.), а также погодные условия и время суток [5].

Погружение в виртуальную реальность достигается не только за счет воздействия на органы зрения, но также и на слуховой аппарат человека. Эффект достигается за счет присутствия звукового сопровождения при работе на симуляторах, например, шум двигателя машины, пилы харвестерной головки, звуки при протягивании дерева и т. д.

Технология дополненной реальности при работе на тренажерах используется совместно с технологией виртуальной реальности. Она представлена в виде различных маркеров-подсказок, например, разгрузочные зоны, траектории движения машины, мишени и т. д.

#### *Заключение.*

Развитие технологий «Индустрии 4.0», как с точки зрения возможностей, так и с позиции экономически эффективной интеграции, происходит быстрыми темпами. В лесозаготовительной отрасли применение



всего спектра новых технологий пока не наступило, однако некоторые из них нашли свою область использования.

Технология интернета вещей применяется для отслеживания технического состояния реальных машин, с целью своевременного проведения технического обслуживания и текущего ремонта, а также оперативного устранения эксплуатационных отказов. Технология Big Data позволяет отраслевым машиностроительным предприятиям осуществлять контроль за производственным процессом. Технологии виртуальной и дополненной реальности помогают эффективно проводить обучение будущих операторов лесозаготовительной техники.

Применение всего спектра технологий вопрос ближайшего будущего отрасли.

#### **Библиографический список**

1. Трофимов А.В., Зверев И.А. Компьютерные технологии в машиностроении. Индустрия 4.0: учебное пособие для студентов направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование». – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – 68 с.
2. Рябов А.Н. Консолидация научного знания в технологии машиностроения инструментами четвертой промышленной революции // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2019. – № 2(49). – С. 61-65.
3. Тедтова И.Э., Хачатурова Э.Э. Четвертая промышленная революция или технологии, которые изменят мир // Вестник Керченского государственного морского технологического университета, 2018. – № 2. – С. 95-100.
4. Зверев И.А. Тарадин Г.С., Тюрина М.С. Применение и роль тренажера «Ponsse Full Simulator» в сфере подготовки специалистов лесопромышленного комплекса // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2021. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – С. 33-38.
5. Зверев И. А., Андронов А.В., Дурманов М.Я., Загородний Д.В., Лаурила Я.Т., Мартынов Б.Г., Михайлов О.А., Пушков Ю.Л., Спиридонов С. В., Тарадин Г.С., Тюрина М.С. Перспективное оборудование для подготовки специалистов лесопромышленного комплекса. Основы обучения работе на симуляторе фирмы PONSSE: учебное пособие для студентов лесотехнических вузов. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – 80 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Трофимов А.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8933-0230
<b>e-mail</b>	agregat9@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Зверев И.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,  
Россия  
**SPIN-код** 1126-2121  
**e-mail** igorzv1997@gmail.com

**ФИО** Мурашкин А.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** kepel123321@gmail.com

### **Аннотация**

В статье рассмотрены вопросы применения базовых технологий четвертой промышленной революции в лесозаготовительной отрасли. Приведены примеры использования технологий «Индустрии 4.0» и их возможности в области сервисного обслуживания лесных машин, а также при подготовке операторов лесозаготовительной техники.

**Ключевые слова:** Индустрия 4.0, интернет вещей, виртуальная и дополненная реальность, лесозаготовительная отрасль.

**УДК** 630.3

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 50.01.85

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАННОГО ВЫБОРА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Угрюмов С.С., Угрюмов С.А.**

### *Введение.*

Лесозаготовительное производство характеризуется разнообразием применяемых технологий и оборудования, которые зависят от характеристики древостоя, природных факторов, объемов заготовки и переработки лесопроductии, уровня организации и технической оснащенности производства [1]. В последние годы в практику работы лесозаготовительных предприятий широко внедряются и эффективно используются высокопроизводительные многооперационные машины, при этом применение бензиномоторных пил остается весьма значимым. Основным инструментом малых предприятий на валке леса по-прежнему является бензиномоторная пила [2].

При заготовке древесины бензиномоторные пилы могут применяться в различных системах машин (в сочетании с процессором, форвардером, трелевочным трактором), при этом в процессе организации лесозаготовок важно подобрать оптимальный комплекс лесозаготовительной техники, как наиболее эффективный в конкретных условиях [3]. На рынке бензиномоторных пил предлагается большая номенклатура инструмента, что позволяет лесозаготовителям выбирать технику различных фирм для реализации разнообразных технологий производства.

Выбор марки бензиномоторной пилы производят по мощности двигателя, при этом оптимальная мощность бензиномоторных пил определяется лесотаксационными показателями древостоев и условиями лесозаготовки [4]. Расчет мощности бензиномоторной пилы требует временных затрат, кроме этого он бывает затруднен поиском необходимых для расчета параметров в технической и справочной литературе. Поэтому на этапе выбора оптимальной марки пилы целесообразно максимально автоматизировать расчеты, что приведет к сокращению затрат времени и удешевлению комплекса трудоемких предпроектных работ, а также повысит точность расчета.

*Цель работы.*

Применение информационных технологий для автоматизации расчетов мощности пил и обоснованного выбора марки пилы на основе ее расчетной мощности.

*Методы исследований.*

В рамках данной работы для автоматизации расчетов была использована программа Visual Studio 2019, которая позволяет создать приложение для Windows и оптимизировать процесс подбора технологического оборудования.

*Результаты работы.*

При создании программного кода были заведены формулы расчета оптимальной мощности пилы, используемой только на валке древесины; на валке древесины и обрезке сучьев; на валке древесины, обрезке сучьев и раскряжевке.

В качестве примера в данной работе приведены результаты оценки оптимальной мощности двигателя бензиномоторной пилы, используемой на валке древесины, обрезке сучьев и раскряжевке, которую рассчитывали по формуле [5]:

$$N = \sqrt{\frac{1050 (K_0 K_n b d_k^2 (1 + \frac{h}{l_c}) + 0,5 F)}{60 d \sqrt{\frac{h}{\lambda} + h}}}, \quad (1)$$

где  $K_0$  – удельная работа при поперечном пилении древесины цепным пилами, кДж/м<sup>2</sup>;  $K_n$  – коэффициент учитывающий наличие преобладающей породы;  $b$  – ширина реза пильной цепи, м;  $d_k$  – диаметр дерева в месте спиливания, м;  $h$  – высота древостоя, м;  $\lambda$  – запас древесины на 1 га, м<sup>3</sup>/га;  $l_c$  –

длина выпиливаемых сортиментов, м;  $F$  – суммарная площадь обрезаемых сучьев,  $m^2$ .

В код программы были заведены необходимые для расчета эмпирические данные для пиления основных пород древесины, расчетные формулы по определению диаметра дерева в месте спиливания и суммарной площади обрезаемых сучьев, а также заведена база данных по паспортной мощности основных марок бензиномоторных пил отечественного и импортного производства.

В качестве примера на рисунке 1 приведен фрагмент листинга разработанного приложения.

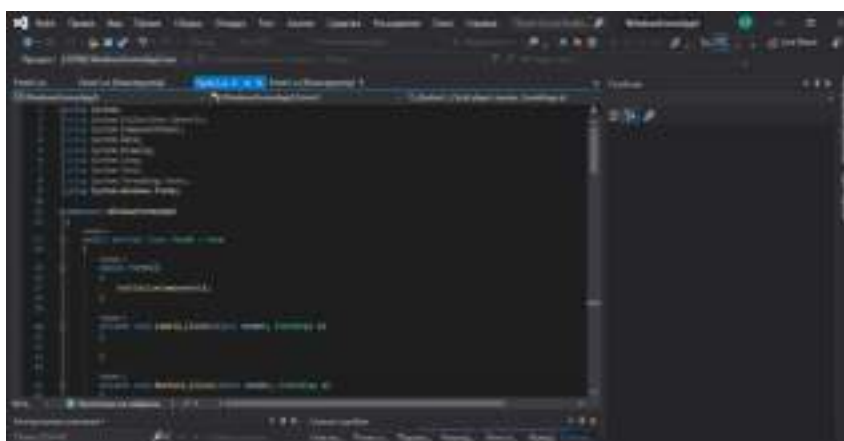


Рис.1. Фрагмент листинга программы

Результаты расчета выдаются в виде окна, в котором указаны основные исходные данные процесса лесозаготовки и обработки лесоматериалов, расчетная мощность пилы для рассматриваемого процесса и рекомендуемые марки пил (одна или несколько). Пример итогового расчета представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Фрагмент программы расчета мощности бензиномоторной пилы

### *Заключение.*

Использование разработанного приложения для расчета мощности бензиномоторных пил позволяет автоматизировать процесс расчета и подбора марки пилы по мощности двигателя с упрощением процедуры расчета и

повышением точности, а также экономией времени. Данное приложение расширено путем введения дополнительного кода расчета производительности подобранной марки пилы при выполнении различного комплекса лесозаготовительных операций и обработки лесоматериалов.

По данному принципу создан код программы расчета и оптимизации подбора многооперационных машин – харвестеров и форвардеров, что позволяет оптимизировать расчет и выбор комплекса машин для выполнения лесозаготовок в зависимости от характеристик древостоя и технологических особенностей производства.

#### **Библиографический список**

1. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Технология и машины лесосечных работ / под ред. В.И. Пятякина. – СПб: СПбГЛТУ. 2010. 330 с.
2. Заикин А.Н. К вопросу о надежности работы бензиномоторной пилы / А.Н. Заикин, Г.Н. Кривченкова // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. № 24. С. 18-20.
3. Волдаев М.Н. Проектирование лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств лесного комплекса / М.Н. Волдаев. – Йошкар-Ола: ПГТУ. 2017. 92 с.
4. Тарадин Г.С. Уточненный расчет производительности бензиномоторной пилы на валке / Г.С. Тарадин, А.В. Андронов, Е.Г. Хитров, А.В. Чураков // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы III международной научно-технической конференции. – СПб.: СПбГЛТУ. 2018. С. 234-237.
5. Бирман А.Р. Расчет параметров лесобрабатывающего оборудования / А.Р. Бирман, С.А. Угрюмов – СПб.: СПбГЛТУ, 2021. – 64 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Угрюмов С.С.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	ugriumoff.s@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Угрюмов С.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	6246-6269
<b>e-mail</b>	ugr-s@yandex.ru

#### **Аннотация**

В рамках данной работы для автоматизации подбора бензиномоторной пилы по мощности двигателя была использована программа Visual Studio 2019. При создании программного кода были заведены формулы расчета

оптимальной мощности пилы, используемой на различных этапах лесозаготовки, заведены необходимые эмпирические данные для пиления основных пород древесины, расчетные формулы по определению диаметра дерева в месте спиливания и суммарной площади обрезаемых сучьев, а также база данных по паспортной мощности основных марок бензиномоторных пил отечественного и импортного производства. Использование разработанного приложения позволяет автоматизировать процесс расчета и подбора марки пилы по мощности двигателя с упрощением процедуры расчета и повышением точности, а также экономией времени.

**Ключевые слова:** лесозаготовка, бензиномоторная пила, автоматизация расчета, производительность, мощность.

УДК 625.8:630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.17.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРЕЛЕВКИ ФОРВАРДЕРОМ

Хитров Е.Г., Беспалов Р.С., Диваков Д.О., Эйвазов А.Ф. Козловская К.А.

### *Введение.*

Для рациональной организации и планирования технологического процесса заготовки древесины необходимы сведения о производительности форвардера с учетом природно-производственных условий [1,2]. Оценить производительность можно несколькими способами. Во-первых, можно ориентироваться на практический опыт и экспериментальные данные, полученные для каких-либо конкретных условий [1,2]. Известны работы [1,2], в которых приведены результаты экспериментальных исследований по изучению производительности отдельных машин; однако систематизированное научное описание производительности техники не завершено. Кроме того, можно ориентироваться на справочные данные – нормы выработки. Нормы выработки приводятся по отдельным операциям заготовки древесины [3]. Но область их применения ограничена небольшим числом факторов, которые они учитывают (например, средний объем хлыста и тип машины). Третий возможный способ состоит в получении теоретических оценок с последующей верификацией [1,2]. Для реализации такого способа целесообразно провести вычисления при варьировании факторов, относящихся к технике и природно-производственным условиям. На сегодняшний день вычисления эффективно реализуются с использованием математических программ.

### *Цель работы.*

Целью работы является изучение и сравнение теоретической оценки производительности форвардера в зависимости от изменяемых характеристик.

### Методика исследований.

Исследование базируется на теоретических положениях, введенных отечественными учеными в области лесозаготовительного производства. Основу математической модели составляет методика расчета производительности [3], дополненная экспериментальными данными [4]. Реализация математической модели выполнена для условий Северо-Запада РФ. Данные о природно-производственных условиях получены из [1,2]. Изучена производительность модели машины: форвардер Амкодор-2641. Расчеты и обработка полученных числовых данных выполнены в системе компьютерной математики MathCAD Prime 3.1 и табличном процессоре MS Excel 2013.

Изложим методику расчета производительности, использованную при проведении нашего исследования. Часовая производительность трелевки определяется по формуле:

$$P_{ч} = \frac{3600V_n\varphi_2}{T_{ц}}, \quad (1)$$

где  $V_n$  – объем пачки лесоматериалов;  $\varphi_2$  – коэффициент использования объема пачки,  $T_{ц}$  – время цикла трелевки.

С учетом оценки часовой производительности находится сменная производительность:

$$P_{см} = P_{ч}t\varphi_1, \quad (2)$$

где  $t$  – продолжительность смены;  $\varphi_1$  – коэффициент использования рабочего времени.

Время цикла трелевки определяется с учетом отдельных составляющих затрат времени. Для форвардера:

$$T_{ц} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4. \quad (3)$$

где  $t_1 + t_3$  – сумма времени грузового и холостого хода трактора;  $t_4$  – время отцепки пачки;  $t_2$  – время чокеровки (время набора пачки)

Сумму времени грузового и холостого хода найдем по формуле:

$$t_1 + t_3 = \frac{2l_{ср}}{v_{ср}}, \quad (4)$$

где  $l_{ср}$  – среднее расстояние трелевки;  $v_{ср}$  – средняя скорость грузового и холостого хода, которую оценим так:

$$v_{ср} = \frac{v_{II} + v_{III}}{2}, \quad (5)$$

где  $v_{II}$ ,  $v_{III}$  – скорость трактора на соответственно второй и третьей передаче.

Для форвардера  $t_2$  находится соответственно по формулам:

$$t_2 = 60 \cdot \left( 0,25167 \frac{V_n}{V_{сорт}} + 14,98q_{га}^{-0,35} \right), \quad (6)$$

где  $q_{га}$  – запас древесины на 1 га;  $V_{сорт}$  – объем сортимента.

Время отцепки пачки для форвардера:

$$t_d = 60 \cdot \left( 13,05 - 26,62 \sqrt{\frac{V_{\text{сорт}}}{V_n}} + 1,33 \right), \quad (7)$$

Помимо времени цикла трелевки, важнейшей величиной, влияющей на производительность, является объем пачки лесоматериалов. Объем пачки определим с учетом нескольких ограничений на ее вес. Для определения допустимого веса пачки вначале определяют вес, ограниченный касательной силой тяги:

$$Q_k = \frac{F_k - P(\varphi_T \cos \alpha + \sin \alpha)}{k(\varphi_T \cos \alpha + \sin \alpha) + (1 - k)(\varphi_n \cos \alpha + \sin \alpha)}, \quad (8)$$

где  $F_k$  – касательная сила тяги;  $P$  – вес машины;  $\varphi_m$  – коэффициент сопротивления движению трактора;  $\varphi_n$  – коэффициент сопротивления волочению пачки,  $k$  – доля веса пачки, приходящаяся на трактор.

Касательная сила тяги:

$$F_k = \frac{N\eta}{v_{II}}, \quad (9)$$

где  $N$  – мощность двигателя трактора;  $\eta$  – КПД трансмиссии.

Затем рассчитывается сила тяги по сцеплению:

$$F_{\text{сц}} = (P + kQ_k)\mu_{\text{сц}}, \quad (10)$$

где  $\mu_{\text{сц}}$  – коэффициент сцепления.

В случае, если выполняется условие:

$$F_{\text{сц}} \geq F_k, \quad (11)$$

то в качестве допустимого веса пачки  $Q$  принимается  $Q_k$ , в противном случае повторяют расчет по формуле (14) при  $F_k = F_{\text{сц}}$ .

Далее находим объем пачки по условию:

$$V_n = \min(V_{\text{расч}}, V_{\text{пасп}}), \quad (12)$$

где  $V_{\text{пасп}}$  – допустимый объем пачки, ограниченный паспортными характеристиками;  $V_{\text{расч}}$  – объем пачки, ограниченный сцеплением и касательной силой тяги:

$$V_{\text{расч}} = \frac{Q(1 - \beta_{\text{кр}} - \beta_{\text{к}})}{\gamma}, \quad (13)$$

где  $\beta_{\text{кр}}$  – доля веса пачки, приходящаяся на крону,  $\beta_{\text{к}}$  – доля веса пачки, приходящаяся на кору;  $\gamma$  – средневзвешенный объемный вес древесины:

$$\gamma = \frac{g}{10} \sum_{i=1}^m p_i \rho_i, \quad (14)$$

$g$  – ускорение свободного падения;  $m$  – число пород древесины;  $\rho_i$  – плотность  $i$ -ой породы древесины;  $p_i$  – доля  $i$ -ой породы древесины в пачке (в долях от 10).



### Результаты исследования.

Для проведения расчетов, данное исследование рассматривает изменения различных показателей, влияющих на производительность. Так были рассмотрены: расстояние трелевки (100 и 700 м.), объем хлыста (0,1 и 0,5 м<sup>3</sup>), мощность двигателя (75 и 150 кВт), паспортная грузоподъемность (5 и 15 т). Данные результатов расчетов приведены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты расчета

L, м	V <sub>х</sub> , м <sup>3</sup>	N, кВт	V <sub>пасп</sub> , т	Производительность, м <sup>3</sup> /ч
100	0,1	75	5	7,5
			15	10,13
		150	5	7,52
			15	10,86
	0,5	75	5	11,73
			15	17,94
		150	5	11,73
			15	20,12
700	0,1	75	5	4,65
			15	7,43
		150	5	4,65
			15	8,37
	0,5	75	5	5,98
			15	10,92
		150	5	5,98
			15	12,98

В результате аппроксимации расчетных данных получены следующие линейные функции, связывающие производительность рассмотренных моделей тракторов со средним объемом хлыста и расстоянием трелевки:

$$P_{\text{ч}} = 6,6 - 0,003l + 0,002V_{\text{пасп}} * N + 8,7V_{\text{х}} - 0,0099N - 0,015V_{\text{х}}l + 0,88V, \quad (15)$$

где l – расстояние трелевки, м; V – объем хлыста, м<sup>3</sup>.

### Заключение.

В результате проведенных расчетов производительность форвардера, зависящих от: расстояния трелевки, объема хлыста, мощности и паспортной грузоподъемности, установлена линейная зависимость. Благодаря формуле (15) было установлено, что при снижении расстояния трелевки – производительность увеличивается.

### Библиографический список

1. Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. – Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2006. – 236 с.
2. Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях северо-Западного региона Российской Федерации. – Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2008. –176 с.
3. Кочегаров В. Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н. Технология и машины лесосечных работ. – Москва: Лесная промышленность, 1990. – 392 с

4. Stankić I., Poršinsky T., Tomašić Ž., Tonković I., Frntić M. Productivity Models for Operational Planning of Timber Forwarding in Croatia. Croatian Journal of Forest Engineering, 2012. –Vol. 33. – № 1. –PP. 61–78.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Хитров Е.Г.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	yegorkhitrov@gmail.com
<b>ФИО</b>	Беспалов Р.С.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	lesnik787@inbox.ru
<b>ФИО</b>	Диваков Д.О.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	danil.divakov359@mail.ru
<b>ФИО</b>	Эйвазов А.Ф.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	thefezerstyle@gmail.com
<b>ФИО</b>	Козловская К.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	karina.kozlovskaja@bk.ru

### **Аннотация**

Исследование направлено на изучение и сравнение теоретической оценки производительности форвардера в природно-производственных условиях, характерных для Северо-Запада РФ в зависимости от изменяющихся характеристик. Исследование базируется на теоретических положениях, введенных отечественными учеными в области лесозаготовительного производства. Расчеты и обработка полученных числовых данных выполнены в системе компьютерной математики MathCAD Prime 3.1 и табличном процессоре MS Excel 2013.

**Ключевые слова:** средний объем хлыста, расстояние трелевки, часовая производительность.

**УДК 625.8:630**

**Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.17.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ СОРТИМЕНТНЫХ ПЛОТОВ**

**Эполетов Д.В.**

### *Введение.*

Сортиментные плоты используются для перевозки лесоматериалов по водным путям. При движении по реке или озеру, плоты сталкиваются с различными факторами, которые могут оказывать сопротивление и замедлять их движение. Изучение сопротивления движению сортиментных плотов является актуальной задачей, которая позволяет оптимизировать транспортировку леса и уменьшить затраты на ее проведение.

### *Цель работы.*

В работе рассмотрены факторы, влияющие на плот во время его движение по водной поверхности, проведен анализ имеющихся исследований сопротивления движению сортиментных плотов и полученных зависимостей коэффициентов сопротивления.

### *Определение общего сопротивления сортиментных плотов.*

Общее сопротивление плота может быть разделено на несколько компонентов:

- сопротивление воды, которое вызвано силами, которые нужны для перемещения воды вокруг плота во время его движения;
- сопротивление волнению, которое вызывается созданием волн на поверхности воды вокруг плота в результате движения;
- сопротивление воздуха, которое зависит от скорости движения плота и формы плота;
- сопротивление трения, которое зависит от размера и формы плота, а также от вязкости воды.

Чтобы определить общее сопротивление движению плота, необходимо учитывать все эти компоненты и проводить соответствующие расчеты, учитывая различные параметры плота и условия движения.

Определение общего сопротивления сортиментных плотов является базовым этапом исследования их движения. Для расчета общего сопротивления используется формула [1]:

$$R = R_{\text{и}} + \Delta R_h + \Delta R_B, \quad (1)$$

где  $R_{\text{и}}$  – сопротивление движению плота на воде, включая сопротивление трения;  $\Delta R_h$  – дополнительное сопротивление движению плота от волнения;  $\Delta R_B$  – дополнительное сопротивление движению плота от ветра.

Для определения каждого из компонентов общего сопротивления могут использоваться различные методы, включая испытания в гидролаборатории, численное моделирование и натурные исследования на реальных водных объектах. Результаты этих исследований могут быть использованы для обоснования параметров сортиментных плотов и повышения их эффективности при транспортировке различных грузов.

*Исследования сопротивления движению плотов.*

Существует множество исследований, посвященных сопротивлению движению плотов на воде. Некоторые из них фокусируются на конкретных типах плотов.

Исследования проводятся в различных условиях и учитывают влияние различных факторов. Некоторые исследования используют вычислительные модели для прогнозирования сопротивления движению плотов, а другие – экспериментальные методы, такие как испытания на озерах, реках и в лабораториях.

Согласно проведенным исследованиям, сопротивление движению плота на воде зависит от нескольких факторов, включая форму плота, его размеры, скорость движения.

Преобразованная формула сопротивления движению плота имеет следующий вид:

$$R_{\text{и}} = C_R \frac{\rho V^2}{2} BT, \quad (2)$$

где  $C_R$  – коэффициент, зависящий от формы и габаритов плота  $C_R = f(L/T, B/T)$ ;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – скорость движения плота относительно воды, м/с;  $B$  – ширина плота, м;  $T$  – осадка плота, м;  $L$  – длина плота, м.

По результатам комплексного анализа проведенных исследований [2, 3, 4, 5] приведены зависимости по рис. 1, 2.

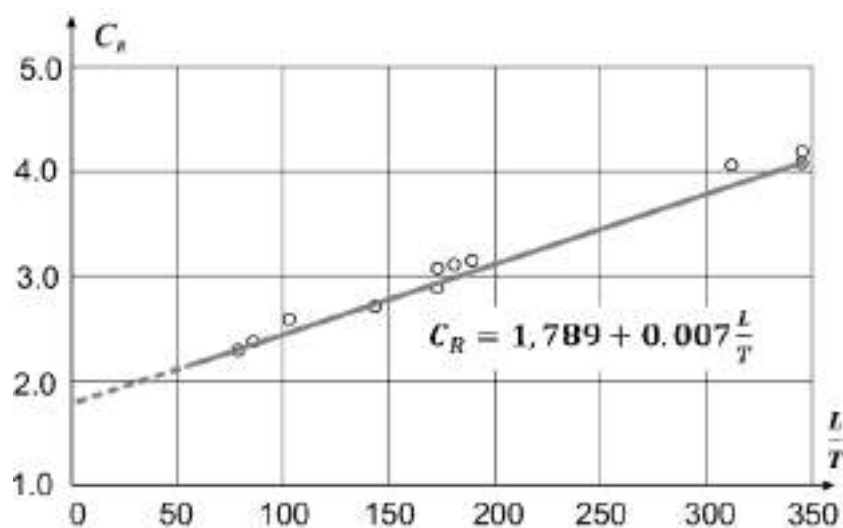


Рис. 1. График зависимости  $C_R=f(L/T)$

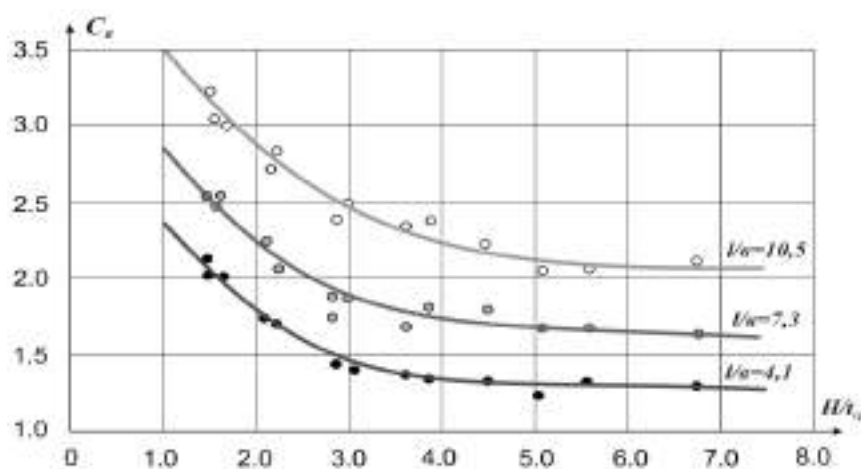


Рис. 2. График зависимости  $C_R=f(H/t_{cp})$

### Заключение.

Изучение сопротивления движению сортиментных плотов имеет важное значение для обоснования параметров транспортировки леса по водным путям. Анализ факторов, влияющих на сопротивление, и получение зависимостей коэффициентов сопротивления позволяет комплексно подойти к обоснованию параметров сортиментного плота в целях уменьшения сопротивления и достижения максимальной скорости при минимальных затратах.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что на сопротивление движению сортиментных плотов влияют различные факторы, такие как размеры и форма плота, скорость движения и т. д. Кроме того, полученные зависимости коэффициентов сопротивления позволяют определить оптимальные параметры плота и выбрать наиболее эффективный способ транспортировки леса по воде.

### Библиографический список

1. Щербаков В.А., Борисовец Ю.П., Александров В.Д. [и др.]. Справочник по водному транспорту леса: справочник. – Москва: Лесная промышленность, 1986 г. – 383 с.

2. Борисов И.Г. Отчёт по НИР Горьковского институт водного транспорта. – Горький: ГИВТ, 1948. – 105 с.
3. Житин Н.П. Совершенствование и внедрение речных, озерных и морских плотов из сортиментов. – Ленинград: ЛТА, 1956.– 225 с.
4. Худоногов В.Н. Исследование взаимодействия плотов и внешней среды с внедрением некоторых предложений в лесосплавное производство Ангаро-Енисейского бассейна: дисс...д-ра техн. наук. –Ленинград: ЛТА, 1967. – 443 с.
5. Овчинников М.М. Исследование сопротивления буксируемых плотов из хлыстовых пучков при равномерном и неравномерном движении. – Ленинград: ЛТА, 1978. – 139 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Эполетов Д.В.	
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский	государственный
	лесотехнический университет имени С. М. Кирова	
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия	
<b>SPIN-код</b>	6491-3492	
<b>e-mail</b>	d.epoletov@yandex.com	

#### **Аннотация**

В данной статье рассмотрены факторы, влияющие на плот во время его движение по водной поверхности, проанализированы имеющиеся исследования сопротивления движению сортиментных плотов и полученные зависимости коэффициентов сопротивления.

**Ключевые слова:** сортиментные плоты, лесоматериалы, перевозка, водные пути, сопротивление, движение, факторы, транспортировка, исследования, коэффициенты.

**УДК** 630\*378.33

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 73.34.61

## К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Иванов М.М., Костюшина К.И.

### *Введение.*

История развития общества неразрывно связана с разработкой и совершенствованием технологий, требующих все больших затрат топливно-энергетических и сырьевых ресурсов. Так сложилось, что для осуществления всех основных технологических процессов используются все большее количество энергоресурсов из источников, накопленных планетой за длительный период ее существования (нефть, газ, уголь, ядерное топливо). Расходование этой энергии стало фактором, влияющим на экологию Земли. Только в XX веке человечество израсходовало больше ресурсов, чем за весь предыдущий период своего существования. Ввиду ограниченности запасов ископаемых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) следует ожидать их истощения в обозримом будущем. При этом в атмосфере и биосфере Земли стали заметны экологические изменения, которые могут существенно ухудшить условия существования флоры и фауны планеты, а также условия жизни для людей [1].

### *Цель работы.*

Целью работы является анализ возможности перехода от высокоэнергозатратных технологий с использованием ископаемых видов топлива к эффективным малоэнергозатратным при местном их использовании.

### *Методы исследования.*

Использован метод теоретического анализа возможности использования автономных источников электрической и тепловой энергии при производстве работ в местах удаленных от централизованных систем энергоснабжения, в населенных пунктах, для электрификации и теплофикации, для отопления и горячего водоснабжения индивидуальных и общественных зданий, промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

### *Результаты исследования.*

Интенсивное развитие автономные системы энергообеспечения получили благодаря целому ряду преимуществ перед централизованными системами и, конечно, благодаря острой необходимости обеспечить электрической и тепловой энергией выше перечисленных потребителей [1]:  
- при установке автономных систем нет необходимости в проведении серьезных, дорогостоящих земляных работ при подведении распределительных сетей к потребителю;

- отсутствуют серьезные затраты на их обслуживание и ремонт в аварийных ситуациях;
- автономные системы характеризуются гибкостью и возможностью быстрого монтажа и запуска;
- стоимость работ не зависит от погоды, времени года – работы ведутся, как правило, внутри здания, что значительно сокращает сроки строительства;
- в несколько раз снижается материалоемкость системы и, как следствие, себестоимость производимой энергии;
- при организации автономного энергоснабжения заказчик практически избегает бюрократических вопросов, связанных с разрешением, организацией подключения к централизованным энергосистемам;
- работа автономных систем не зависит от режима работы городских сетей – потребитель сам решает, когда включить, когда выключить ту или иную систему.

В последнее время, как автономные источники тепловой энергии, получают широкое распространение модульные котельные установки контейнерного типа. Оборудование модульной котельной размещается в помещении (контейнере) представляющее собой сварной каркас из металлических труб, обшитый «сэндвич-панелями» толщиной до 150 мм, рис. 1.

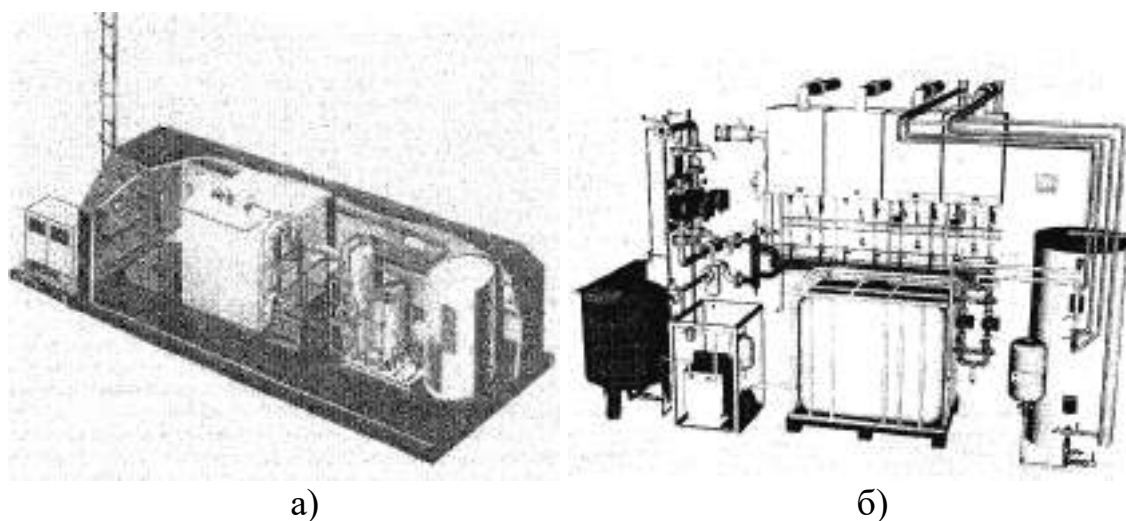


Рис. 1. Блочно-модульная котельная: а) общий вид; б) оборудование модульной котельной

Крыша изготавливается из таких же панелей, но большей толщины – 200 мм. Сэндвич-панели (наружный слой – оцинкованная листовая сталь, внутренний слой – листовая нержавеющая сталь, между ними наполнитель из негорючей минеральной ваты) крепятся с каркасом при помощи самонарезных болтов, для пола используются горизонтально уложенные и покрытые стальными листами швеллеры. Пол также утепляется и окрашивается специальной огнеупорной краской [2, 3]. В контейнере модуля размещают оборудование необходимое для работы котельной установки. В состав оборудования входят: котел с топочным устройством, системы



топливоподачи, воздухоподачи, золоудаления, насосные и вентиляционные системы, КИП и автоматику и электрооборудование. Монтаж оборудования в пределах модуля производится в заводских условиях, что гарантирует качество и надежность работы котельного оборудования. Доставка модульной котельной заказчику осуществляется на автомобильном прицепе. Модульная котельная установка комплектуется тем же набором теплового оборудования, что и стационарная котельная. Ее преимущество состоит в том, что она в любой момент времени может быть перевезена по желанию владельца [3].

Модульная котельная может работать на любом виде топлива (каменный уголь, дрова, древесные отходы, отходы сельскохозяйственного производства), жидком топливе (мазуте, дизельном топливе, соляровом масле), но в большинстве регионов пользуются спросом модульные котельные на каменном угле. Доступность этого топлива, его относительная дешевизна особенно в угледобывающих и прилегающих к ним регионах, позволяют угольным котельным работать с высокой степенью эффективности.

Модульные котельные предназначены для отопления и горячего водоснабжения промышленных и бытовых помещений, жилых зданий и даже целых поселков, а также для обеспечения паром промышленных объектов [2]. Котельные изготавливаются на тепловую мощность от 0,4 до 20 МВт, температура теплоносителя – 70...90 °С, рабочее давление – от 3 до 6 МПа. Коэффициент полезного действия котельной установки не менее 84%, поэтому эксплуатация угольных модульных котельных является экономически выгодной. Необходимая тепловая мощность набирается количеством модулей. В блок-модуль может устанавливаться тепловое оборудование любых производителей (как отечественных, так и зарубежных) по желанию заказчика.

В комплект поставки также входит все необходимое для организации топливного процесса на угле – системы подготовки и подачи топлива, конвейеры золошлакоудаления и системы транспортировки продуктов горения за пределы котельной, золоуловители. Угольные модульные котельные могут быть выполнены как по двухконтурной схеме, (с установкой теплообменников), так и по одноконтурной. Для хранения топлива организуется угольный склад вне помещения котельной. Уголь в контейнер модуля, оборудованного котлом с ручной загрузкой топлива, может доставляться как с помощью тележки, так и транспортером, возможна установка угольных бункеров с наружной загрузкой. Для золошлакоудаления, чаще всего, применяется скребковый транспортер, с помощью которого шлак перемещается в отвалы или в золобункеры, откуда далее вывозится автотранспортом [3].

Перспективным является вариант автономного теплоснабжения – крышные котельные установки. Крышные котельные располагаются на кровле отапливаемого здания и могут поставляться в контейнерах полной заводской готовности или монтироваться на металлической раме с последующим размещением ее на конструкциях здания [1]. Крышные

котельные (рис. 2) работают только на газообразном топливе, полностью автоматизированы, что делает их привлекательными с точки зрения эксплуатации и соблюдения режимов отпуска теплоты.

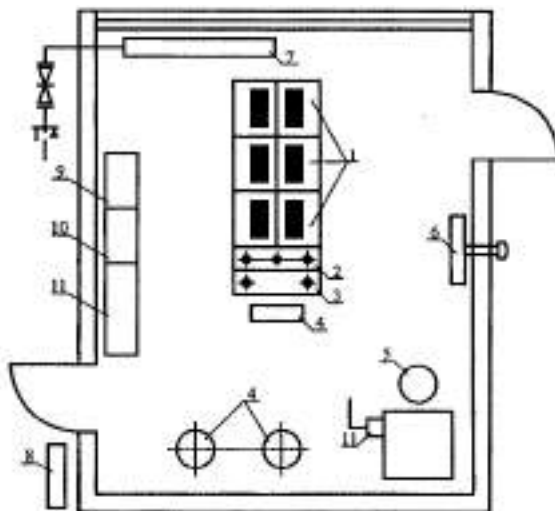


Рис. 2. Крышная котельная на природном газе:

1 – теплогенератор; 2 – блок горячего водоснабжения; 3 – блок регулирования системы отопления; 4 – компенсатор объема; 5 – водоумягчительная установка; 6 – бак запаса умягченной воды; 7 – узел расхода газа; 8 – электроцит; 9 – сборно-распределительная гребенка отопления; 10 – щит автоматики отопления; 11 – щиты управления насосами отопления и ГВС

Крышные котельные целесообразно применять:

- при дефиците мощности на централизованном источнике теплоты;
- при перегруженности существующих тепловых сетей и невозможности их реконструкции;
- при отсутствии свободных территорий для размещения централизованного источника теплоты;
- для отдельно-стоящих зданий при отсутствии тепловых сетей.

При реконструкции зданий выше сказанное приобретает еще большую значимость, потому что при снижении доли бюджетного финансирования строительства, что случается достаточно часто, и возрастании доли частного капитала, весьма затруднительно вести строительство крупных котельных и протяженных теплотрасс в расчете на перспективу. Наконец, они могут применяться как пиковые котельные для отдельных домов в сочетании с централизованным теплоснабжением и для снятия нагрузок горячего водоснабжения с централизованного источника.

Крышные котельные для производственных и жилых зданий рекомендуется проектировать с применением котлов с давлением пара до 0,07 МПа (0,7 кг/см<sup>2</sup>) и температурой воды до 115 °С. При этом тепловая мощность такой котельной не должна превышать потребности в теплоте здания, для теплоснабжения которого она предназначена [3].

Для расчета и выбора оборудования крышной котельной рассчитывается тепловая нагрузка для трех режимов:

- 1) максимального – при температуре наружного воздуха в наиболее холодную пятидневку;
- 2) среднего – при средней температуре наружного воздуха в наиболее холодный месяц;
- 3) летнего – при температуре 15 °С.

Расчетная производительность котельной  $Q_{расч}$  определяется суммой расходов тепла на отопление  $Q_{от}^{max}$ , вентиляцию  $Q_{вент}^{max}$  и средние тепловые нагрузки на горячее водоснабжение (ГВС)  $Q_{ГВС}$  жилых, общественных и производственных зданий:

$$Q_{расч} = Q_{от}^{max} + Q_{вент}^{max} + Q_{ГВС} . \quad (1)$$

Перечисленные расчетные тепловые нагрузки крышных котельных определяют по известным формулам [1].

#### *Заключение.*

В Российской Федерации системы централизованного энергоснабжения обеспечивают тепловой и электрической энергией потребителей только на части территории страны, которая составляет не более 30%. Как правило, это крупные населенные пункты, промышленные центры и примыкающие к ним районы. По данным Министерства энергетики РФ на территории, составляющей свыше 60% территории страны, на которой проживает до 10% населения, какое-либо централизованное снабжение электрической и тепловой энергией отсутствует. Отдельные варианты систем автономного энергообеспечения существовали и ранее, но наиболее интенсивно они разрабатываются в настоящее время. Этому способствует не только ряд экономически выгодных преимуществ автономных систем, но и непрерывный рост цен на энергоносители, электрическую и тепловую энергию.

#### **Библиографический список**

1. Богданович П.Ф. Основы энергосбережения: учеб. пособие / П.Ф. Богданович, Д.А. Григорьев, В.К. Пестис. – Гродно: ГГАУ, 2007. – 174 с.
2. Феткуллов, М.Р. Водоподготовка и водно-химический режим автономных котельных / Теплоэнергетика и теплоснабжение: Сборник научных трудов научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки». Вып. 7. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – С. 113 – 117.
3. Свод правил по проектированию и строительству СП 41-104-2000. «Проектирование автономных источников теплоснабжения» (одобрен и рекомендован к применению постановлением Госстроя РФ от 16 августа 2000 г. № 79).

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Иванов М.М.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,

	Россия
<b>SPIN-код</b>	3904-1560
<b>e-mail</b>	ltuttsu@mail.ru
<b>ФИО</b>	Костюшина К.И.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	kostushina021@yandex.ru

### **Аннотация**

В ходе работы были рассмотрены вопросы энергообеспечения в виде тепловой и электрической энергии удаленных территорий в Российской Федерации с целью организации на местах автономного теплоснабжения.

**Ключевые слова:** теплоснабжение; энергосбережение; тепловая энергия; автономные источник энергии; модульные котельные; крышные котельные.

**УДК:** 620.92

**Раздел рубрикатора ГРНТИ:** 44.31.35

## **ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ОПЫТНОЙ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

**Иванов Н.М., Спиридонов С.В.**

### *Введение.*

Газогенераторы представляют собой сложные аппараты, которые могут быть подразделены на группы по большому количеству признаков технологического и конструктивного порядка. Очень важна правильная увязка технологических и конструктивных признаков. Ограничение одним признаком технологического или конструктивного порядка не дает достаточного разграничения типов генераторов ввиду того, что одна и та же конструкция пригодна в ряде случаев для ведения различных процессов, и наоборот, одинаковый процесс можно вести для различного типа газогенераторах [1]. Газификация позволяет существенно увеличить КПД тепломеханического оборудования, повысить его надежность и экономичность, свести к минимуму процент вредных выбросов в атмосферу. Основным преимуществом газогенераторных установок является их универсальность. Они могут работать практически с любым видом твердого топлива и органических отходов, вне зависимости от их химического состава,

наличия примесей серы, размера фракции, влажности и прочих свойств. К тому же газогенераторные установки могут применяться как в работе крупных химических комбинатов и городских ТЭЦ, так и для бытовых нужд лесозаготовительных или деревоперерабатывающих предприятий, имеющих достаточные отходы по древесной биомассе, небольших поселков, деревень или частных хозяйств [2]. Также газогенераторные установки, возможно, применять в двигателях внутреннего сгорания на автотранспортных средствах, к примеру, для работы грузовиков, тракторов, сельскохозяйственных и лесозаготовительных машин [3].

*Цель работы.*

Составить тепловой баланс для газогенератора с единичной мощностью по газу 1 МВт и определить технические характеристики опытного образца газогенератора

*Методы исследования.*

Использован метод математического анализа составляющих теплового баланса установки и химического анализа процессов, происходящих в газогенераторе.

*Результаты исследования.*

Стремление использовать высоковлажные древесные отходы без их предварительного механического и термического обезвоживания, а также стремление получить генераторный газ, не содержащий паров кислот и смол, конденсирующихся при газопередаче, приводит к выводу о целесообразности использования газогенераторной установки, работающей по обратному процессу и использование биомассы для получения воздушного генераторного газа [4]. Расчет теплового баланса приведен для газогенератора с единичной мощностью по газу 1 МВт.

Средняя теплоемкость генераторного газа, представляющего собой смесь компонентов генераторного газа, находится по формуле [5]:

$$c_p^{\Gamma} = c_p^{\Gamma} \cdot r^{\Gamma} + c_p^{\text{CO}_2} \cdot r^{\text{CO}_2} + c_p^{\text{CH}_4} \cdot r^{\text{CH}_4} + c_p^{\text{H}_2\text{O}} \cdot r^{\text{H}_2\text{O}}, \quad (1)$$

где  $r^i$  – объемные доли газов, которые по результатам расчета составляют:  $r^{\Gamma} = 0,762$ ;  $r^{\text{CO}_2} = 0,1075$ ;  $r^{\text{CH}_4} = 0,027$ ;  $r^{\text{H}_2\text{O}} = 0,116$ .

Теплоемкости компонентов генераторного газа определяются по формулам [5]:

- для двухатомных газов  $c_p^{\Gamma} = 6,83 + 0,0006 t$ , ккал/(кг · К);

- для углекислого газа  $c_p^{\text{CO}_2} = 8,7 + 0,026 t$ , ккал/(кг · К);

- для метана  $c_p^{\text{CH}_4} = 9,78 + 0,006 t$ , ккал/(кг · К);

- для паров воды  $c_p^{\text{H}_2\text{O}} = 8,24 + 0,000832 t$ , ккал/(кг · К),

где  $t$  – температура, °С.

Тепловой баланс газогенератора составляется для газогенераторной установки, работающей в стационарном (установившемся) режиме. Приход тепла:

1. Тепловой эффект реакции образования углекислоты

$$W_{CO_2} = 409469 \text{ CO}_2 = 49136,3 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль});$$

2. Тепловой эффект сгорания углерода с образованием окиси углерода и по реакции разложения водяного пара

$$W_{CO} = 124348 (\text{CO} - 0,5 \text{ H}_{2O}) = 124348 \cdot (0,195 - 0,5 \cdot 0,377) = 808,3 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль});$$

3. Тепловой эффект реакции образования метана

$$W_{CH_4} = 77874 \cdot \text{CH}_4 = 77874 \cdot 0,03 = 2336,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль}).$$

В расчетах принято, что внешний подогрев воздуха, вводимого в газогенератор, отсутствует, и пар дополнительно не вводится, тогда расход тепла:

1. Эндотермическая реакция водяного пара

$$W_{CO+H_2} = 28150 \cdot 4,187 \cdot \frac{H_{H_2O}}{2} = 28150 \cdot 4,187 \cdot \frac{0,504}{2} = 29701,7 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль}).$$

2. Теплота испарения воды

$$W_{H_2O} = \left( G_{H_2O} + \frac{18}{32} 2O_T \right) \cdot r_{\text{пар}} = 586 \cdot \left( 1,377 + \frac{18}{32} \cdot 2 \cdot 3,639 \right) = 4555,3 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot \text{моль}) = 13423,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль}).$$

При этом,  $r_{\text{пар}} = 586 \text{ ккал}/\text{кг}$  – удельная теплота парообразования воды при  $t = 20^\circ\text{C}$ .

3. Физическая теплота газа.

Парогазовая смесь на выходе из газогенератора уносит некоторое количество теплоты, которое определялось по формуле

$$W_{\Gamma} = c_p^{\Gamma} \left( 1 + \frac{g}{18} \right) t_{\Gamma B}, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль}). \quad (2)$$

4. Тепловые потери в окружающую среду принимаются 1,5% от низшей теплоты сгорания топлива:  $W_{\text{пот}} = 0,015 \cdot Q_H^P \cdot G_{\text{ТО}}$ . Низшая теплота сгорания топлива с учетом формулы Д. И. Менделеева [5] составляет  $Q_H^P = 12372,9 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль})$ . Тогда  $W_{\text{пот}} = 0,015 \cdot 12372,2 \cdot 13,774 = 2556,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль})$ .

Начальным разогревом топлива (до температуры окружающей среды), а также теплом, выносимым золой, пренебрегалось, поскольку теплоемкости топлива и золы невелики, к тому же количество золы при использовании древесного топлива мало.

Таким образом, тепловой баланс газогенератора будет иметь вид:

$$W_{\text{CO}_2} + W_{\text{CO}} + W_{\text{CH}_4} = W_{\text{CO}+\text{H}_2} + W_{\text{H}_2\text{O}} + W_{\text{пот}} + W_{\text{газ}}, \quad (3)$$

$$49136,3 + 808,3 + 2336,2 = 29701,7 + 13423,2 + 2556,2 + c_p^{\text{гр}} \left(1 + \frac{g}{18}\right) t_{\text{г}};$$

$$\text{при } c_p^{\text{гр}} \left(1 + \frac{g}{18}\right) t_{\text{г}} = 6599,7.$$

Температура генераторного газа на выходе из зоны восстановления  $t_{\text{г}}$  определялась из балансового уравнения. Для дальнейших расчетов задавались: величиной напряженности горения в плоскости фурм:  $G_{\text{тр}} = 4000$  кг/(м<sup>2</sup> · час) и площадь зеркала горения в плоскости основных фурм  $F = 1$  м<sup>2</sup>.

Производительность по газу при нормальных условиях:

$$G_{\text{го}} = G_{\text{тр}} \cdot F \cdot E_{\text{гс}} = 400 \cdot 1 \cdot 1,626 = 650,4 \text{ нм}^2/\text{час}.$$

$$\text{Время газификации 1 моля газа: } Z_2 = \frac{22,4}{G_{\text{го}}} \cdot 3600 = \frac{22,4}{650,4} \cdot 3600 = 123,99 \text{ с}.$$

Расход воздуха при нормальных условиях:

$$G_{\text{во}} = G_{\text{тр}} \cdot F \cdot L_{\text{в}} = 400 \cdot 1 \cdot 1,005 = 402,1 \text{ нм}^3/\text{час}.$$

В расчетах принимались: температура дутья  $t_{\text{гоз}} = 450$  °С; избыточное давление  $\Delta p_{\text{воз}} = 70$  мм вод.ст., тогда давление за нагнетателем:  $p_{\text{в}} = 1,08 \cdot 10^5$  Па; давление в фурменном поясе  $p_{\text{ср}} = 1,065 \cdot 10^5$  Па; на выходе из зоны восстановления  $p_{\text{вых}} = 1,035 \cdot 10^5$  Па.

Приняв насыпной вес топлива  $\gamma = 368$  кг/м<sup>3</sup>, определялся объем бункера исходя из запаса топлива для непрерывной работы в течение 4 часов:

$$V_{\text{б}} = \frac{4G_{\text{тр}} \cdot F}{\gamma} = \frac{4 \cdot 400 \cdot 1}{368} = 4,348 \text{ м}^3.$$

Если принять диаметр бункера равным  $d_{\text{с}} = 1,5$  м, то высота бункера будет равна:  $H_{\text{б}} = \frac{V_{\text{б}}}{\frac{\pi d_{\text{с}}^2}{4}} = \frac{4,348 \cdot 4}{3,14 \cdot (1,5)^2} = 2,46$  м.

Площадь боковой поверхности бункера:

$$F_{\text{б}} = \pi d_{\text{с}} H_{\text{б}} = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 2,46 = 11,59 \text{ м}^2.$$

Считалось, что стенки бункера металлические, толщиной  $\delta = 5 \dots 8$  мм и, как следствие пренебрегали их термическим сопротивлением. Следовательно, коэффициент теплопередачи будет равен [5]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от газа к стенке бункера;  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от парогазовой среды к стенке бункера,  $\alpha_2 = 46,5$  Вт/(м<sup>2</sup> · К).

Для определения  $\alpha_1$  задавались средней температурой газа в кольцевом канале  $t_{\text{г ср}} = 500$  °С, тогда скорость генераторного газа в кольцевом канале по расчету составила  $V_{\text{г}} = 1,23$  м/с. При турбулентном движении газов в каналах

кольцевого сечения из критерия Нуссельта (Nu) имели:  $\alpha_1 = 4,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , и, следовательно, по формуле (4)  $k = 4,31 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Подставляя,  $c_p^{\text{гр}} \left(1 + \frac{g}{18}\right)$  в уравнение теплового баланса (3), определялась температура генераторного газа на выходе из восстановительной зоны  $t_{\text{Г}}$  и на выходе из установки  $t_{\text{ГВ}}$ :  $(9,12 + 0,0012 t_{\text{ГВ}}) t_{\text{ГВ}} = 6599,7$ .

$$\text{Откуда, } t_{\text{ГВ}} = \frac{-9,12 \pm \sqrt{9,12^2 + 6999,7 \cdot 4 \cdot 0,012}}{2 \cdot 0,0012} = 665,3 \text{ } ^\circ\text{С}.$$

Температура  $t_{\text{Г}}$  определялась из приведенного выше балансового уравнения (3) (температуру парогазовой смеси в бункере принималась  $300 \text{ } ^\circ\text{С}$ ), тогда по результатам расчетов имеем  $t_{\text{Г}} = 903,3 \text{ } ^\circ\text{С}$ .

Для определения коэффициент полезного действия газогенератора определялась низшая теплота сгорания газа (принятого состава) на 1 кмоль при нормальных условиях:

$$Q_{\text{Н}}^{\text{P}} = 2580 \text{ Н}_2 + 30,45 \text{ СО} + 85,17 \text{ СН}_4 = 5282,7 \text{ кДж/кмоль}.$$

Низшая теплота сгорания топлива:

$$Q_{\text{НГ}}^{\text{P}} = 9250 \text{ С}^{\text{P}} + 27700 \text{ Н}^{\text{P}} - 34600 \text{ О}^{\text{P}} - 600 (9\text{Н}^{\text{P}} - \text{W}^{\text{P}}) = \\ = 3717 \cdot 4,187 = 15563,1 \text{ кДж/кмоль}.$$

$$\text{Тогда, } \eta_{\text{гр}} = \frac{5282,7 \cdot 22,4 + 6599,7}{13,771 + 15563,1} = 0,583.$$

С учетом выше произведенных расчетов сформулированы рекомендации по конструктивному расчету. Площадь поперечного сечения газогенератора в плоскости фурм принимается  $F = 1 \text{ м}^2$ , следовательно, диаметр:

$$D = \frac{2}{\sqrt{\pi}} = 1,128 \text{ м, тогда } D_2 = 1,3 D_1 = 1,466 \text{ м; } D_3 = 0,62 D_1 = 0,7 \text{ м;}$$

$$V = \frac{D_1}{15} = 0,075 \text{ м; } a = 0,55 D = 0,62 \text{ м; } h_1 = \frac{D_4 - D_3}{2} = \frac{1,5 - 0,7}{2} = 0,4 \text{ м}.$$

Принят:  $D_4 = 1,5 \text{ м}$ .

Расход воздуха при  $t_{\text{в}} = 450 \text{ } ^\circ\text{С}$  и  $p_{\text{в}} = 1,065 \cdot 10^5 \text{ Па}$  равен:

$$G_{\text{в}} = G_{\text{во}} \frac{p_{\text{о}}}{p_{\text{в}}} \cdot \frac{450 + 273}{273} = 1009,66 \text{ нм}^3/\text{час}.$$

Выход влажного газа при  $t_{\text{Г}} = 900 \text{ } ^\circ\text{С}$  и давлении  $p_{\text{вых}} = 1,035 \cdot 10^5 \text{ Па}$  равен  $G_{\text{Г}} = 3052,45 \text{ нм}^3/\text{час}$ .

$$\text{Тогда } h_{\text{Г}} = \frac{24WG_{\text{Г}} - \pi(D_4^3 - D_3^3)}{6\pi D_4^2} = \frac{24 \cdot 0,0004 \cdot 3052,45 - 3,14 \cdot (1,5^3 - 0,8^3)}{6 \cdot 3,14 \cdot 1,4^2} = 0,549 \text{ м}.$$

Принят  $h_{\text{Г}} = 0,55 \text{ м}$

$$\text{Диаметр фурмы: } d_{\text{ф}} = 0,114 \sqrt{\frac{G_{\text{в}} \cdot 273}{h \cdot V_{\text{ф}}}} = 0,114 \sqrt{\frac{1009 \cdot 273}{28 \cdot 40}} = 1,79 \text{ см},$$



где  $V_{\phi}$  – скорость воздуха в фурмах принимаем равной 40 м/с;  $n$  – количество фурм, принимаем равным 28.

Принят  $d_{\phi} = 18$  мм.

Удельный вес очаговых остатков по расчету  $\gamma_{оч} = 0,352 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>.

$$\text{Объем зольника: } V_3 = \frac{A \cdot G_{\text{п}} \cdot F \cdot t \cdot 1,3}{\gamma_{оч}} = \frac{0,01 \cdot 4000 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}}{0,352 \cdot 10^{-3}} = 0,148 \text{ м}^3.$$

$$\text{Высота зольника: } h_3 = \frac{V_3 \cdot H}{\pi D_4^3} = \frac{4 \cdot 0,148}{3,14 \cdot 1,5^3} = 0,055 \text{ м}.$$

*Заключение.*

На основании расчетов можно сформулировать технические характеристики опытного образца установки газогенератора, работающего по обратной схеме подачи воздуха для газификации древесных отходов с тепловой мощностью установки – 1 МВт.

Для генераторного газа, состав которого определен в объемных долях ( $\text{CO}_2$  – 0,120;  $\text{CO}$  – 0,195;  $\text{H}_2$  – 0,160;  $\text{CH}_4$  – 0,030;  $\text{O}_2$  – 0,005;  $\text{N}_2$  – 0,490), при низшей теплоте сгорания генераторного газа – 5282,7 кДж/нм<sup>3</sup>; относительной влажности топлива – 30% и зольности топлива – 10% имеем: удельный расход топлива на 1 м<sup>2</sup> площади в плоскости фурм составит 400 кг/м<sup>2</sup> · час; массовый расход топлива – 394 кг/час; производительность установки по газу – 814 нм<sup>3</sup>/час. Расчетные температуры: воздуха на выходе из фурм – 450 °С; парогаса в кольцевом канале – 500 °С; газа на выходе из зоны восстановления – 903 °С; газа на выходе из газогенератора – 665 °С; газа в зоне горения – 1150 °С.

Эффективный КПД установки – 0,58; объем топливного бункера – 2,46 м; диаметр топливного бункера – 1,5 м; диаметр фурмы – 18 мм; количество фурм – 28; объем зольника – 0,15 м<sup>3</sup>; высота зольника – 0,055 м. Полученные данные могут служить исходными данными для проектирования опытного газогенератора.

#### **Библиографический список**

1. Алешина А.С., Сергеев В.В. Газификация твердого топлива. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 202 с.
2. Иванова И.В., Ходорыч Н.Д. Теплоэнергетические установки для сжигания биомассы // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. СПб: СПбГЛТУ, 2019. – 410 с. – С. 364-372.
3. Иванова И.В., Спиридонов С.В., Иванова И.В. К вопросу об использовании газогенератора для промышленного производства тепловой энергии // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2021. СПб: СПбГЛТУ, 2022. – 528 с. – С. 216-221.
4. Иванова И.В., Иванов М.М. Выбор и расчет системы, обеспечивающей получение тепловой энергии при использовании биомассы // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса

по итогам научно-исследовательских работ 2020. СПб: СПбГЛТУ, 2021.– 612 с. – С. 179-184.

5. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Наука, 1976. – 512 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Иванов Н.М.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
<b>Адрес организации</b>	190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8865-8699
<b>e-mail</b>	iv-nikola@mail.ru
<b>ФИО</b>	Спиридонов С.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	9649-6007
<b>e-mail</b>	svslta@yandex.ru

#### **Аннотация**

Перспективным и экономичным методом энергетической утилизации древесных отходов является их превращение в газообразное топливо с последующим сжиганием в энергетических, технологических и бытовых установках. Результаты теплового баланса газогенераторной установки могут служить исходными данными для проектирования опытного газогенератора.

**Ключевые слова:** газификация; генераторный газ; газогенераторная установка; тепловой баланс.

УДК 620.91

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИГНИНА И ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ**

**Иванова И.В., Иванов Н.М.**

### *Введение.*

Все причины, по которым развитые страны активно работают в области использования биоэнергетики, распространяются и на Россию. Однако существует специфика, вызванная существующим состоянием экономики и

общества. Главная особенность состоит в том, что работы по биоэнергетике в России могут быть направлены на решение социальных проблем и развитие бизнеса. И наряду с этим, важное значение имеет снижение экологической напряженности, существующей в ряде городов за счет снижения вредных выбросов от энергетических установок.

Решение проблемы состоит в использовании биомассы для производства доступного топлива и энергии: электрической и тепловой. Централизованные системы энергоснабжения охватывают лишь 1/3 территории страны. Поэтому проблемой является обеспечение энергоснабжения удаленных районов, не подключенных к сетям энергосистем. В районы Крайнего Севера, Дальнего Востока и Сибири ежегодно завозится 6...8 млн. т. жидкого топлива (дизельное топливо, мазут) и 20...25 млн. т. твердого (уголь). В связи с увеличением транспортных расходов стоимость топлива удваивается. Надежное энергообеспечение отдаленных районов сложная и дорогая для государства задача [1].

#### *Цель работы.*

Провести исследование выделения летучих при термическом разложении лигнина и других растительных материалов с целью определения термокинетических характеристики этого процесса. Объектом исследования является гидролизный лигнин, а также опилки ели и кора березы.

#### *Методы исследования.*

В работе использован метод Райха-Фуосса, выполнено математическое описание кинетики термического разложения влажного гидролизного лигнина.

#### *Результаты исследования.*

Экспериментально исследовались термокинетические параметры процесса термического разложения гидролизного лигнина, а также еловых опилок и коры березы. Использовался широко распространенный динамический метод анализа с применением дериватографа. Серия опытов проводилась с использованием конусных платиновых тиглей объёмом 0,5 см<sup>3</sup> и 1,5 см<sup>3</sup>. Масса вещества в тиглях во всех случаях была постоянной и составляла 100 мг. При этом в случае использования тиглей объёмом 1,5 см<sup>3</sup> навеска исследуемого вещества засыпалась сверху инертным веществом – оксидом алюминия до полного заполнения тигля. В опытах использовались образцы с начальной относительной влажностью 0% (абсолютно сухой материал) и образцы материалов с влажностью 66%. Опыты проводились в среде воздуха и слабом токе инертного газа (азота) с различными темпами линейного нагрева: 5, 10, и 20 град/мин. Исследуемый материал перед опытами разных серий просеивался через специальные сита с размером ячейки соответственно равными 0,25; 0,5 и 1,0 мм с целью выяснения возможного влияния размера частиц на термокинетические параметры разложения.

Обработка результатов опытов проводилась с использованием метода Райха-Фуосса [2] с применением численного дифференцирования кривой

термогравиметрии (ТГ) по методике, предложенной в работе [3]. Как известно, метод Рейха-Фуосса основан на использовании точки перегиба кривой ТГ для определения термокинетических параметров термического разложения (скорости разложения, потери массы и уровня температуры), соответствующих максимальной скорости термического разложения, а также интегральных кинетических параметров процесса ( $E, k_0$ ) [2].

Следуя работе [3], при обработке результатов опытов в качестве кинетического уравнения принималось упрощенное уравнение одностадийной химической реакции (ОХР):

$$M_T = \frac{dm}{dt} = \left( \frac{k_0}{b} \right) \exp\left( -\frac{E}{R_0 T} \right) m^n, \quad (1)$$

где  $M_T$  – скорость термодеструкции;  $m$  – масса вещества, расходуемая в реакции разложения;  $T$  – температура;  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель;  $b$  – скорость (постоянная) нагрева;  $E$  – энергия активации;  $R_0$  – универсальная газовая постоянная;  $n$  – порядок реакции.

Уравнение (1) используется во многих работах для описания неизотермической кинетики термического разложения конденсированных веществ при постоянной скорости нагрева, и является упрощенным вариантом более общего уравнения, полученного Колмогоровым, Ерофеевым, Казеевым, Мампелем в термическом анализе гетерогенных процессов [3].

Проведенный в работе [2] анализ показал, что модифицированная в этой работе методика Райха-Фуосса определения термокинетических констант с использованием численного дифференцирования кривой ТГ обладает более высокой точностью по сравнению с традиционным способом графического определения тех же величин.

Значения энергии активации, полученные для исследуемого вещества методами изотермической и динамической ТГ по этой методике, совпадают в пределах доверительного интервала. На этой основе автором работы [2] сделан вывод, что не существует принципиальных ограничений использования метода динамической ТГ для определения достоверных значений энергии активации. Наблюдаемые в некоторых работах значительные расхождения величин  $E$ , получаемых методами динамической и изотермической ТГ, объясняется использованием различных (по составу) образцов исследуемого материала и пригодностью не всех, а только некоторых методов математической обработки кривых динамической ТГ для расчета энергии активации в пределах требуемой точности, а также низкой точностью графического способа определения термокинетических величин на крутых участках кривой динамической ТГ.

С целью исключения определяющего влияния теплодиффузионных процессов на параметры термического разложения исходного материала, а также определения границ применимости использованного формального кинетического уравнения (1), для математического описания кинетики термического разложения исходной биомассы в опытах варьировались: темп

линейного нагрева навески топлива (5, 10 и 20 град/мин); максимальный размер частиц (0,25; 0,5 и 1,0 мм); объем держателя (тигля) (0,5 и 1,5 см); среда испытаний (воздух и инертный газ азот); относительная влажность исходного материала (0 и 66 %).

Типичные дериватографические кривые, полученные в опытах, приведены на рис. 1.

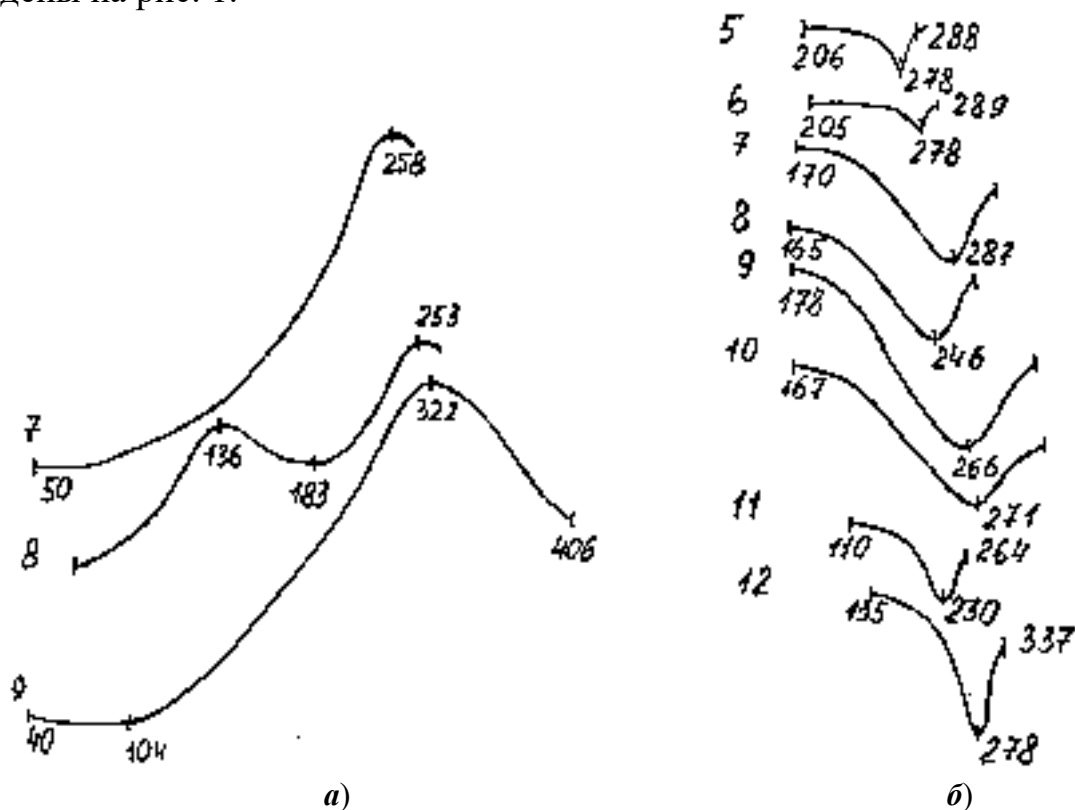


Рис. 1. Типичные дериватографические кривые:

а) ДТА – кривые дифференциально-термического анализа лигнина с размером частиц 0,5 мм при различном темпе нагрева в среде воздуха (№7 – 10 град/мин; №8 – 10 град/мин; №9 – 20 град/мин); б) ТГП – термогравиметрическая производная, кривые гидролизного лигнина с размером частиц 0,5 мм при различном темпе нагрева в среде воздуха (№5 – 10 град/мин; №6 – 10 град/мин; №7 – 10 град/мин; №8 – 10 град/мин; №9 – 20 град/мин; №10 – 20 град/мин; №11 – 5 град/мин; №12 – 10 град/мин)

При анализе данных можно отметить, что одним из определяющих факторов кинетики термического разложения гидролизного лигнина является темп нагрева навески исследуемого материала. В случае сравнительно низкого темпа нагрева (5 град/мин) полученные расчетные значения кажущегося порядка реакции ( $3,4 \leq n \leq 10,8$ ) не отвечают реальным физически объяснимым значениям этой величины. Можно полагать в связи с этим, что использованное при математической обработке опытов уравнение ОХР при низком темпе нагрева (5 град/мин) описывает лишь формально (количественно) кинетику термического разложения гидролизного лигнина.

Темп нагрева равный 10 град/мин позволил получить качественно физически реальное значение порядка реакции (от 1 до 2). При таком темпе

нагрева термическое разложение сухого лигнина протекает, вероятно, в области близкой к кинетической. Используемое кинетическое уравнение позволили получить при этом темпе нагрева (10 град/мин) физически объяснимые значения интегральных характеристик термического разложения ( $n$ ,  $E$ ,  $k_0$ ), что может указывать не только на формальное, но и на фактическое соответствие использованного кинетического уравнения реально протекающему процессу термического разложения сухого лигнина при этих условиях.

Результаты обработки опытов для влажного лигнина (66% относительной влажности) при темпах нагрева 5 и 10 град/мин указывают, возможно, на более сложный (не аддитивный) процесс термического разложения лигнина, когда либо механизм ОХР является слишком грубым приближением, либо термическое разложение влажного лигнина протекает в тепло-диффузионной (не кинетической) области.

При увеличении темпа нагрева влажного гидролизного лигнина до 20 град/мин полученные расчетные значения кажущегося порядка реакции (в основном, от нуля до единицы) имеют физически объяснимые значения. В связи с этим можно полагать, что при темпах нагрева более 20 град/мин уравнение ОХР может быть формально (и фактически) использовано для математического описания кинетики термического разложения влажного гидролизного лигнина. Что касается влияния других исследованных факторов, то здесь можно отметить следующее. При всех темпах нагрева прослеживается тенденция к уменьшению значений температуры начала разложения ( $T_{н,р}$ ) и энергии активации с увеличением размера частиц лигнина. Возможно, это связано с преимущественным влиянием размеров частиц на порозность исследуемой навески материала и здесь следует ожидать наличия определенного оптимума по размерам частиц материала, подвергаемого термическому разложению. Явного влияния объема держателя (тигля) на термокинетические параметры термического разложения в опытах не обнаружено.

Сравнение результатов опытов, полученных на основных рабочих темпах нагрева (10...20 град/мин) при термическом разложении гидролизного лигнина в среде воздуха и слабом токе инертного газа (азота) указывает на наличие влияния среды испытаний на кинетику термического разложения лигнина. Это влияние, в частности, проявляется в появлении нескольких пиков (до трех) на дериватографических кривых, полученных в токе азота. Интегрально влияние среды испытаний проявляется в тенденции к одновременному уменьшению значений температуры начала разложения, снижению энергии активации и в уменьшении кажущегося порядка реакции для опытов в токе азота. Причем такая тенденция характерна и для термического разложения влажного материала при темпах нагрева 20 град/мин и 10 град/мин. В последующем потребуется более подробное изучение влияния среды испытаний на кинетику термического разложения биомассы.

### *Заключение.*

Результаты обработки опытов, проведенных на влажном гидролизном лигнине, показывают, что термическое разложение влажного материала имеет ряд особенностей в сравнении с данными для абсолютно сухого лигнина. Так, например, значения  $T_{н.р}$  и  $T_{max}$  всех исследованных темпах нагрева оказываются выше соответствующих значений для сухого материала. Значения интегральных термокинетических характеристик ( $n$ ,  $E$ ,  $k_0$ ), полученные для влажного гидролизного лигнина с использованием кинетического уравнения ОХР, имеют не только формальный, но и реальный физико-химический смысл лишь в случае достаточно высокого темпа нагрева исследуемого материала (20 град/мин).

### **Библиографический список**

1. Иванова И.В., Андрюхин М.В. Современное состояние биоэнергетики в Российской Федерации // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. СПб: СПбГЛТУ, 2019. – 410 с. – С. 345 – 356.
2. Дьяченко А.Н., Шагалов В.В. Химическая кинетика гетерогенных процессов. Томск: ТПУ, 2014. – 102 с.
3. Нагорная С.А. Исследование кинетики взаимодействия углерода с водяным паром. Автореф. дисс....канд. техн. наук. М: [б.и.] 1981. – 25 с.

### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Иванова И.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	9424-7866
<b>e-mail</b>	irenalta@mail.ru
<b>ФИО</b>	Иванов Н.М.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8865-8699
<b>e-mail</b>	iv-nikola@mail.ru

### **Аннотация**

В ходе работы были сделаны предпосылки к определению методики определения термохимических характеристик гидролизного лигнина и отходов растительной биомассы. Результаты обработки опытов, проведенных на влажном гидролизном лигнине, показывают, что термическое разложение

влажного материала имеет ряд особенностей в сравнении с данными для абсолютно сухого лигнина.

**Ключевые слова:** гидролизный лигнин; отходы растительной биомассы; термохимические характеристики; дериватограф.

**УДК 620.91**

**Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА ПРИ НОВОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМЕ**

**Иванова И.В., Иванов Н.М., Аверина Н.М.**

### *Введение.*

Центробежные насосы, применяющиеся в промышленности, в частности в теплоэнергетике, в настоящее время не претерпели принципиальных изменений своей гидродинамической схемы за весь длительный период своего развития. Между тем, именно существенные недостатки гидродинамической схемы налагают серьезные ограничения на дальнейшее развитие центробежных питательных насосов, на улучшение их КПД и повышение напора, на снижение габаритов и веса.

### *Цель работы.*

Произвести теоретическое исследование недостатков гидродинамической схемы центробежных насосов и сформулировать предпосылки к разработке нового рабочего колеса.

### *Методы исследования.*

Использован метод теоретического анализа при рассмотрении гидродинамической схемы.

### *Результаты исследования.*

Обращаясь к основным недостаткам рабочих колес нормальной гидродинамической схемы, необходимо, прежде всего, отметить неблагоприятное влияние осевого вихря на гидродинамику потока в колесе и диффузоре. Большая неравномерность поля скоростей в круговой плоскости, вызванная воздействием на поток осевого вихря, приводит к большим потерям в насосе. Улучшение экономических показателей насосов следует добиваться именно на пути совершенствования рабочего колеса. Ввиду глубокой гидродинамической связи между колесом и диффузором, неравномерность потока, созданная в колесе, сохраняется и в диффузоре, что приводит к увеличению потерь энергии и в диффузоре. Таким образом, неблагоприятные воздействия сказываются на КПД насоса в целом [1].

Осевого вихрь приводит также к «скосу» потока на выходе из колеса в сторону, обратную направлению вращения, что уменьшает количество



энергии, передаваемой воде. Хотя «скос» потока не связан непосредственно с увеличением потерь в колесе, однако уменьшение напора насоса, вызываемое этим явлением, увеличивает относительное влияние потерь в насосе, так как они относятся к меньшему количеству энергии, переданному воде, чем при отсутствии «скоса» потока. Неравномерность поля скоростей в рабочем колесе нормальной гидродинамической схемы велика не только в круговой плоскости, но также и в меридиональной. Вызывается она поворотом потока в меридиональной плоскости на угол  $90^\circ$ . Боковые стенки межлопаточных каналов очерчены по поверхностям вращения и, таким образом, меридиональная составляющая относительной скорости потока в колесе изменяется в соответствии с формой канала в этой плоскости. Этот поворот потока на  $90^\circ$  неблагоприятен как ввиду большой величины этого угла, так и вследствие большой величины отношения ширины канала в этой плоскости к среднему радиусу его закругления. Неравномерность потока в меридиональной плоскости приводит к отрыву пограничного слоя. Это явление обнаруживается весьма явным образом на режимах, близких к помпажу, когда вследствие появления вихревых зон в рабочем колесе у передней стенки корпуса появляется даже обратное течение из диффузора вовнутрь рабочего колеса.

Одним из недостатков нормальной гидродинамической схемы является также большая гидродинамическая нагрузка на переднюю кромку лопатки, а именно, разница давлений по ту и другую сторону лопатки у передней кромки достигает максимума. Между тем известно, что отрыв пограничного слоя, начинающийся у задней кромки лопатки, своим первоисточником имеет увеличение нагрузки на переднюю кромку [2].

К недостатку рабочих колес следует отнести также и то, что на режимах частичных нагрузок удар приходится в «рабочую» поверхность лопатки, у «нерабочей» же поверхности давление падает, что способствует отрыву пограничного слоя у этой стенки канала, причем образующаяся вихревая зона является разомкнутой, создающей значительно большее сопротивление потоку, чем замкнутая, которая может образоваться у «рабочей» поверхности, на этот раз в условиях отрицательных углов атаки.

И, наконец, существенным недостатком, причем не только центробежных колес, но и колес всех лопаточных машин, является жесткая связь, конструктивная, а тем самым и гидродинамическая, между входным и выходным углом лопатки. Иными словами, при фиксированном угле  $\beta_1$ , всякое изменение угла  $\beta_2$  изменяет гидродинамику потока в колесе, что приводит к необходимости иметь для насосов малый угол  $\beta_2$  не только по соображениям получения стабильной характеристики, но также из-за нежелательности увеличивать диффузорность межлопаточного канала в круговой плоскости при его увеличении.

В предлагаемой гидродинамической схеме для рабочего колеса все эти недостатки значительно менее выражены или устранены. Основным преимуществом нового рабочего колеса является участие в передаче энергии

рабочему телу всех четырех стенок канала на большей части его длины. Достигается это тем, что боковые стенки канала на входе переходят в этой конструкции в боковые, а не промежуточные стенки на выходе, между тем как стенки канала, являющиеся цилиндрическими на входе, переходят в промежуточные, а не боковые стенки на выходе. При таком конструктивном исполнении межлопаточных каналов их боковые стенки проектируются на меридиональную плоскость уже не линиями, а площадями, и на них действует кориолисова сила. В результате увеличивается общая площадь стенок канала, участвующих в работе, улучшается равномерность распределения давлений, а тем самым и скоростей, уменьшаются потери в насосе в целом. Устранится в рабочем колесе и потеря, связанная с поворотом потока в меридиональной плоскости на  $90^\circ$ . В конструкции боковые стенки каналов проходят по поверхностям вращения и поэтому обтекание таких поверхностей с поворотом на  $90^\circ$  со скоростью являющейся меридиональной составляющей скорости потока в канале, отсутствует, отсутствуют и соответствующие потоки.

Существенной особенностью предлагаемой гидродинамической схемы является слабая нагрузка передающих энергию поверхностей канала при входе потока в колесо [1]. Это обеспечивается плоской формой лопаток на входе. В результате лопатка включается в работу лишь постепенно, по мере увеличения расстояния канала от оси вращения. При этом одна из боковых стенок включается в работу сразу же, но со слабой нагрузкой, а другая лишь после обтекания ее потоком на протяжении участка, соответствующего одному шагу. Не менее существенно и то, что две другие стенки канала, очерченные на входе по цилиндрической поверхности, включаются в работу лишь в том месте, где концентрические цилиндрические поверхности переходят в поверхности с увеличивающимся расстоянием от оси вращения, то есть и эти стенки при входе нагружены слабо. Эти поверхности имеет еще одну особенность, совершенно необычную для других конструкций лопаточных машин, а именно, они обтекаются на всех режимах работы при нулевом угле атаки. Это создает важную предпосылку для улучшения работы насоса на промежуточных режимах.

Анализируя все вышеизложенное можно отметить, что переход к гидродинамической схеме, обеспечивающей участие всех четырех стенок канала в передаче энергии рабочему телу, равносильно приближению конструкции к «идеальной» конструкции рабочего колеса с бесконечно большим числом лопаток, без увеличения, однако поверхности трения. Помимо увеличения КПД насоса рассматриваемая гидродинамическая схема создает условия для повышения напора вследствие уменьшения «скоса» потока на выходе из колеса как результат ослабления воздействия осевого вихря на поток.

Для оценки перспектив промышленного применения питательного насоса данной гидродинамической схемы, необходимо остановиться еще на одной важной особенности новой конструкции колеса, Эта особенность заключается в том, что выходной угол лопатки  $\beta_2$  в этой конструкции может

изменяться независимо от угла  $\beta_1$ , то есть при фиксированном входном угле угол  $\beta_2$  возможно увеличивать без ущерба для гидродинамики потока в колесе. Это связано с тем, что в отличие от нормальных конструкций колес, для которых углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – это углы установки одной и той же лопатки, в данной конструкции угол  $\beta_1$  относится к лопаткам, образующим боковые стенки канала на входе, а угол  $\beta_2$  к лопаткам, образующим промежуточные стенки канала на выходе, то есть они относятся к двум разным стенкам канала. Как было отмечено выше, увеличение угла  $\beta_2$  в нормальной конструкции рабочего колеса связано с увеличением диффузорности канала в круговой плоскости с увеличением потерь. Вместе с тем, увеличение угла  $\beta_2$  ухудшает напорную характеристику питательного насоса, которая и без того неблагоприятная даже при малых углах  $\beta_2$ .

Рассматривая возможность увеличения угла  $\beta_2$  необходимо обратиться к вопросу исправления напорной характеристики насоса малой быстроходности. Анализ работ в этой области [2, 3] показывает, что характеристика насоса может быть исправлена, если лопатка на входе будет выведена в кольцевое пространство входа в колесо. Таким образом, это подтверждает возможность получения устойчивой напорной характеристики при удлинении лопатки в сторону кольцевого пространства входа, причем это удлинение осуществляется просто, так как форма лопатки на входе в новой конструкции плоская. При этом диффузорность канала после входа в колесо обеспечивается не за счет изгиба профиля лопатки, а сама собой за счет увеличения угла между стенкой плоской лопатки и круговой плоскостью по мере удаления от входной кромки. Следует отметить, что вывод лопатки в кольцевое пространство входа в опытах приводит к улучшению и КПД.

Увеличение угла  $\beta_2$  в нормальной конструкции колеса можно было бы достичь при умеренной диффузорности канала и при соответствующем увеличении угла  $\beta_1$ . Для центробежных компрессоров, например, угол  $\beta_2 = 45^\circ$  является обычным, но входной угол  $\beta_1$  составляет при этом  $30^\circ$ . Для насоса увеличить угол  $\beta_1$  не всегда возможно. Увеличение угла  $\beta_1$  для насоса малой быстроходности потребует увеличения абсолютной скорости входа в колесо, что сузит канал в меридиальной плоскости и потребует более сильного замедления относительной скорости в канале, что неблагоприятно для гидродинамики потока в колесе. Имеются рекомендации вообще фиксировать значение угла  $\beta_1$ . Пфлейдер К. исследовал влияние входного угла потока на навигационный коэффициент быстроходности [3]. Он установил, что если считать условия, связанные с увеличением скорости потока после входа в колесо, с затратой напора на создание абсолютной скорости входа и с трением неизменными, возможно построить зависимость кавитационного коэффициента быстроходности от угла входа потока. При этом он установил, что в среднем, как для центробежных, так и для осевых колес оптимальное значение угла входа потока, соответствующее максимуму кавитационного коэффициента быстроходности, составляет  $17^\circ 32'$ . Фактический угол входа лопатки рекомендуется выполнять несколько большим. Однако в то же время

существуют рекомендации выбирать угол лопатки в широких пределах от 15 до 30° [3].

Можно отметить, что и для компрессоров может быть получено оптимальное значение входного угла потока. Пфлейдер К. [3] исследовал зависимость коэффициента, который он назвал звуковым коэффициентом быстроходности от входного угла. Он установил, что для того, чтобы избежать появления звуковых скоростей угол входа потока должен составлять 32°20', то есть для компрессоров оптимальный угол входа потока практически вдвое больше, чем для насосов. Таким образом, для рабочих колес нормальной гидродинамической схемы увеличение угла  $\beta_2$  при фиксированном значении входного угла  $\beta_1$  связано с увеличением степени раскрытия канала в круговой плоскости, что не может не отражаться неблагоприятно на гидродинамике потока внутри рабочего колеса.

Выше было отмечено, что для рабочего колеса новой гидродинамической схемы не существует конструктивной связи между передней и задней кромками, так как они относятся к разным лопаткам. При этом с увеличением угла  $\beta_2$ , степень раскрытия канала в его проекции на круговую плоскость можно контролировать за счет уменьшения угла  $\beta_1$ , и соответствующего увеличения высоты канала в его проекции на круговую плоскость при входе в колесо. Это создает предпосылки для увеличения напора насоса при одновременном обеспечении стабильности напорной характеристики за счет вывода лопатки в кольцевое пространство входа в колесо.

#### *Заключение.*

Особенности предлагаемого рабочего колеса, благоприятно воздействующие на источники потерь, характерные для рабочих колес нормальной конструкции, создают уверенную перспективу улучшения технико-экономических показателей центробежных насосов малой быстроходности типа питательных.

Увеличение выходного угла лопатки в новой конструкции с сопутствующим выводом передней кромки лопатки в кольцевое пространство входа в колесо позволит увеличить напор насоса без ущерба для стабильности его напорной характеристики и экономичности.

#### **Библиографический список**

1. Куликов А.А., Иванова И.В., Дюкова И.Н. Анализ технических решений по технологическим процессам термохимической переработке биомассы // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2017. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2018. – 312 с. – С. 232 – 241.
2. Бартош, П. Р. Расчет лопастных машин и гидродинамических передач: учебно-методическое пособие / П. Р. Бартош, П. Н. Кишкевич. – Минск: БНТУ, 2019. – 47 с.
3. Пфлейдерер, Карл. Лопаточные машины для жидкостей и газов: Водяные насосы, вентиляторы, турбовоздуходувки, турбокомпрессоры / Пер. [с нем.] инж. А.М. Ладогина; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.И. Поликовского. – Москва: Машгиз, 1960. – 683 с.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Иванова И.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	9424-7866
<b>e-mail</b>	irenalta@mail.ru
<b>ФИО</b>	Иванов Н.М.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8865-8699
<b>e-mail</b>	iv-nikola@mail.ru
<b>ФИО</b>	Аверина Н.М.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	natawerina@yandex.ru

### Аннотация

В ходе работы были исследованы недостатки гидродинамической схемы центробежного питательного насоса и предложены пути увеличения напора насоса без ущерба для стабильности его напорной характеристики и экономичности.

**Ключевые слова:** центробежный питательный насос; гидродинамическая схема; рабочее колесо.

**УДК:** 621.671

**Раздел рубрикатора ГРНТИ:** 44.31.35

# АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

**Костюшина К.И., Иванова И.В.**

## *Введение.*

Истощение ископаемых природных ресурсов и поиск альтернативных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – актуальная проблема последних десятилетий. Альтернативный источник энергии может заменить традиционные источники энергии (нефть, природный газ и уголь), которые при сгорании выделяют в атмосферу углекислый газ, способствующий росту парникового эффекта и глобальному потеплению. Причина поиска альтернативных источников энергии – потребность получать ее из возобновляемых или практически неисчерпаемых природных ресурсов, нанося при этом минимальный вред экологии и окружающей среде [1].

## *Цель работы.*

Дать оценку использования альтернативных источников в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

## *Методы исследования.*

Метод исследования основан на сравнительном анализе различных возобновляемых источников энергии.

## *Результаты исследования.*

Нетрадиционная энергетика занимается поиском источников энергии. Ее основная цель – со временем обеспечить населению Земли ресурсы, использование которых позволит не думать об истощении природных запасов и не наносить вреда окружающей среде. Подсчитано, что к 2050 году мировая добыча природных ископаемых ресурсов значительно сократится в связи с их истощением. Поэтому в настоящее время изыскиваются новые возможности выработки энергии, чтобы через пару десятилетий населению не оказаться в состоянии глобального энергетического кризиса [2].

На сегодняшний день широкое распространение получили следующие возобновляемые источники энергии:

1. Альтернативная гидроэнергетика – это использование для выработки электроэнергии гидроэлектростанций (ГЭС) трех типов: малые; волновые; приливные.

Принцип действия всех типов ГЭС идентичен – энергия движущейся воды заставляет вращаться лопасти генератора, который отвечает за выработку электричества. Малые ГЭС возводят на малых реках, волновые и приливные возводят на берегах морей и океанов с высокими приливными колебаниями уровня моря. Основной недостаток альтернативной гидроэнергетики – малая мощность ГЭС, зависимость их мощности от множества природных факторов и вред, наносимый экологии, а также морской флоре и фауне.

2. Ветровая энергетика – это отрасль энергетики,

специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую форму энергии, удобную для использования в народном хозяйстве. Ветряная электростанция состоит из ветродвигателя, генератора электрического тока, автоматического устройства управления работой ветродвигателя и генератора и сооружений для их установки и обслуживания [3].

3. Гелиоэнергетика – это преобразование солнечной энергии в электроэнергию фотоэлектрическим и термодинамическим методами. Фотоэлектрические модули на крыше или на открытых территориях преобразуют солнечный свет в электрическую энергию с помощью полупроводников – в основном, кремния. Солнечные коллекторы вырабатывают тепло для отопления и производства горячей воды, а также для кондиционирования воздуха.

4. Биоэнергетика – это использование для выработки электроэнергии различных видов биотоплив: твердых, жидких и газообразных.

Твердые топлива – это дрова, топливные гранулы и брикеты, сухой навоз, древесная щепа и пр. При сжигании твердых топлив в топках тепловых электростанций вырабатывается недорогое электричество. Жидкое биотопливо – биоэтанол, биометанол, биодизель – получают при брожении биомассы из сахарного тростника, кукурузы, быстрорастущих водорослей. Жидкое биотопливо находит в основном применение в двигателях внутреннего сгорания автомобилей. Газообразное биотопливо представляет собой биогаз с высоким содержанием метана, выделяемого при гниении биомассы органического характера. Источниками топлива из биомассы являются деревья и травянистые растения, водные и морские растения, отходы сельскохозяйственного и лесозаготовительного производства, навоз и сточные воды, свалки. Существуют предприятия (свинарники, коровники и др.), которые сами обеспечивают себя электроэнергией и теплом за счет того, что имеют емкости, куда сбрасывают большие массы навоза от животных. В этих герметичных баках навоз гниет, а выделившийся газ идет на нужды фермы [4].

5. Геотермальная энергетика – это способ получения электроэнергии путем преобразования внутреннего тепла Земли (энергии горячих пароводяных источников) в электрическую энергию. Природный пар высокой температуры из глубины 2 – 3 км от поверхности Земли направляется по трубопроводу в турбины, соединенные с электрогенераторами. Из плюсов использования данного ВИЭ выделяют низкую себестоимость затрат на бурение скважин и прокладку системы сбора пара. Основным недостатком геотермальных установок и причина их редкого применения – вероятность локального оседания грунтов, пробуждение сейсмической активности и необходимость наличия определенных геологических условий [5].

Рассмотрим возможность применения всех ВИЭ в г. Санкт-Петербурге:

1. Альтернативная гидроэнергетика. За последние десятилетия малая гидроэнергетика заняла устойчивое положение в электроэнергетике многих

стран мира. Малые ГЭС (МГЭС) используются как местные экологически безопасные источники энергии, их работа приводит к экономии традиционного топлива, уменьшая эмиссию вредных газов. При сравнительно низкой стоимости 1 кВт установленной мощности и умеренном инвестиционном цикле МГЭС позволяют как обеспечить электроэнергией удаленных от сетей потребителей, так и снизить затраты на электроэнергию потребителям, подсоединенным к сетям, за счет собственных источников генерации. Существует множество исследований и проектов по устройству на реках г. Санкт-Петербурга малых бесплотинных ГЭС для обеспечения электроэнергией определенных объектов (подсветка фасадов зданий, набережных, пристаней малого судоходства и проч.). Цель таких проектов – рационализация потребления электроэнергии и разгрузка основных генерирующих мощностей, а также создание рынка электроэнергии для потребителей малого и среднего звена экономики. К сожалению, основной преградой развития малой гидроэнергетики является отсутствие стратегии развития отрасли, административно-хозяйственные проблемы на федеральном и региональном уровнях, отсутствие нормативной базы для проектирования и создания оборудования. При этом в настоящее время пристальное внимание обращено на применение МГЭС для обеспечения электричеством отдаленных и труднодоступных регионов нашей страны с децентрализованным энергоснабжением для сокращения потребления органического топлива и снижения вредных выбросов.

Для устройства приливных и волновых ГЭС плотинного типа необходимо наличие узкого морского залива, часть которого, где наблюдается самый высокий прилив, отсекается плотиной. Эта часть называется бассейном, накапливает воду при приливе, а затем отдает ее при отливе. При таком движении воды ее напор создает течение, достаточное для вращения находящегося в плотине генератора, а энергия воды превращается в электрическую. Очевидно, что для возведения такого типа ГЭС, помимо наличия определенных природных факторов, необходимы большие финансовые вложения и тщательный анализ возможного вреда, наносимого морской флоре и фауне. На сегодняшний день в России действует только одна приливная ГЭС плотинного типа.

2. Ветровая энергетика. Ветер – это перемещение воздуха из области высокого давления в область низкого и его появление связано с неодинаковым прогреванием земной поверхности. Чем больше разница в атмосферном давлении, тем сильнее ветер. Санкт-Петербург, как и Ленинградская область, отличается сильными ветрами со средней скоростью ветра от 4 м/с, что полностью удовлетворяет условиям установки ветряных электростанций (ВЭС).

В настоящее время в городе и в области установлены небольшие частные ВЭС. Они преимущественно удовлетворяют потребности отдельных домашних хозяйств и ферм – нагрев воды, обогрев помещений и другие коммунальные нужды. Крупные проекты в регионе в данный момент



отсутствуют. За последние несколько лет был анонсирован ряд проектов по созданию ветровых электростанций вокруг Санкт-Петербурга, например, строительство ветропарка на 50 МВт в районе поселения Большая Ижора; ВЭС «Свирица» на 100 МВт; ветропарк мощностью 125 МВт и ВЭС «Дамба» на месте защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений. Также город располагает большим открытым пространством в сторону Финского залива. Ученые считают этот район очень удачным местом для установки ветрогенераторов. К сожалению, на сегодняшний день строительство выше перечисленных ВЭС временно приостановлено в силу экономической ситуации [3].

3. Гелиоэнергетика. В регионе насчитывается восемь солнечных электростанций (СЭС) на маяках и около 20 СЭС в частных домах. В силу географического положения и климатических особенностей инсоляция (количество солнечного света на единицу территории) в Санкт-Петербурге и Ленинградской области слабая – в городе насчитывается в среднем около 30 солнечных дней за год. Перспективным представляется использование солнечных батарей при благоустройстве: можно подогревать сиденья скамеек, обогревать дорожки, обеспечивать основное или художественное освещение территории и фасадов. Получение электричества из энергии солнца в промышленных масштабах ограничено следующими факторами:

- нестабильность и непостоянство – в пасмурную погоду и при выпадении осадков солнечные батареи работают крайне нестабильно;
- высокая стоимость – стоимость вырабатываемой энергии окупит стоимость затрат на приобретение и установку батарей в течение очень длительного периода. К тому же СЭС, помимо солнечных батарей, требует установки большого количества дополнительного дорогостоящего оборудования;
- большая территория, необходимая для установки солнечных батарей.

4. Биоэнергетика. Несмотря на объявленную повсеместно сторонниками использования биомассы безвредность и высокую перспективу выработки биотоплива в промышленных масштабах, существует множество исследований, опровергающих эту теорию [2]. Критики развития биотопливной индустрии заявляют, что растущий спрос на биотопливо вынуждает сельхозпроизводителей сокращать посевные площади под продовольственными культурами и перераспределять их в пользу топливных. В условиях роста численности населения Земли сокращение производства зерновых культур, а также животноводства и других сфер сельского хозяйства пагубно скажется на снабжении населения продуктами питания. Также увеличение площадей под топливные культуры приводит к бесконтрольной вырубке нетронутых лесов, потере биоразнообразия, истощению почв и другим экологическим проблемам.

К бесконтрольной и повсеместной вырубке лесов может привести также и возрастающий спрос на твердые биотоплива – дрова и пеллеты. При кажущейся безвредности, сжигание твердого биотоплива сопровождается выбросами различных загрязняющих атмосферу веществ – окислов азота,

окислов углерода и пыли (дисперсных частиц). Очевидно, что использование биотоплива как источника энергии рационально только в малых хозяйствах, где процесс его производства и использования имеет замкнутый цикл [4].

5. Геотермальная энергетика. Геотермальная энергетика – это не столько промышленные масштабы, сколько геотермальное отопление частного сектора. В настоящее время в Ленинградской области большую популярность для обогрева частных домов набирает установка систем геотермального отопления. Чтобы запустить геотермальное отопление дома, нужно организовать систему, которая будет собирать тепло из почвы (или воды) и передавать его в контур отопления дома. Интересно, что схема функционирует таким образом, что летом она работает как кондиционер, а зимой – как источник отопления. Принцип использования системы геотермального отопления состоит в следующем. На глубине 6 метров под землей начинается зона, где температура остается стабильной круглый год. Она сохраняется на уровне средней годовой температуры атмосферы в данной местности. Для сбора подземной тепловой энергии применяется контур (теплообменник) – трубопровод, который монтируют под землей или под водой. Для организации отопления из земли используют следующие методы:

- вертикальную скважину (применяют для небольших участков). Рядом с домом пробивают две геотермальные скважины по 80...90 м, в каждую помещают геотермальный зонд. Тепловой насос поднимает нагретую воду, она проходит через теплообменник и отдает тепло во внутренний контур дома. Вертикальный контур отличается наибольшей энергетической эффективностью и сроком эксплуатации;

- устройством горизонтального коллектора (применяют для участков большой площади). Чтобы получить исправно работающий коллектор, с помощью экскаватора подготавливают траншеи глубиной 2...2,5 м, куда укладывают полиэтиленовые трубы. Площадь участка, с которого будет собираться тепло, соизмерима с площадью жилья;

- на дне водоема, для чего горизонтальный коллектор (зонды горизонтального типа) устанавливают на дне, если водоем обладает достаточными габаритами (площадью и глубиной), и находится недалеко от дома. Способ также демонстрирует энергоэффективность при использовании [5].

Геотермальное отопление дома, принцип работы которого не включает сжигание топлива, идеально с точки зрения современных представлений об экологической безопасности. Геотермальная отопительная система предоставляет своим владельцам следующие преимущества:

1. безопасность во всех сферах: отсутствие вредных выбросов, что важно для здоровья хозяев, их домашних животных, для окружающей среды, а также пожаробезопасность;

2. с отсутствием топлива пропадает необходимость в его закупке (заготовке), доставке и хранении;

3. экономическая выгода – силы природы работают бесплатно и потратиться придется только на приобретение и монтаж системы, а во время

эксплуатации – на электроэнергию для теплового насоса.

4. компактные размеры, доступность и долгий срок эксплуатации.

Из минусов геотермальной системы отопления выделяют дороговизну системы и ее установки, и, в связи с этим, более длительный, чем у других систем отопления, срок окупаемости [5].

*Заключение.*

Анализируя вышеизложенные факты, можно сделать вывод о постепенной замене в будущем традиционных источников энергии на возобновляемые нетрадиционные. Однако проведенный анализ работ [1, 2] по изучению ВИЭ и их применению в нашей стране и конкретно в Санкт-Петербурге и Ленинградской области показывает, насколько медленными темпами проходит этот процесс и сколько трудностей еще предстоит преодолеть. Это и несовершенство законодательства в сфере альтернативной энергетики, и отсутствие государственного финансирования для проведения исследований на предмет поиска конкретного ВИЭ для конкретного региона.

Пока вопросы перехода на чистую энергию решаются на уровне государства и регионов, многие частные потребители делают выбор в пользу альтернативных источников энергии, например, для питания и обогрева частных домов. Речь идет о накопителях электричества (взамен дизельных генераторов), солнечных батареях и геотермальных насосах, которые постепенно набирают популярность. В частных хозяйствах и на фермах активно внедряется выработка и применение биотоплива. Ветряные электростанции также вызывают заинтересованность у частных подсобных хозяйств.

К сожалению, доля применения альтернативных источников энергии частными потребителями слишком мала и не в состоянии в ближайшем будущем снизить величину потребления традиционных источников энергии. Реальность такова, что к 2050 году в стране неминуем энергетический кризис в связи со снижением добычи полезных ископаемых и истощением недр. Необходимо в кратчайшие сроки разрабатывать и внедрять использование новых, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

#### **Библиографический список**

1. Баланчевадзе В. И., Барановский А. И. и др. Энергетика сегодня и завтра. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 344 с.
2. Шейдлин А. Е. Новая энергетика. – Москва: Наука, 1997. – 463 с.
3. Проекты по ветроэнергетике в Ленинградской области – URL: <https://rg.ru/2021/06/17/reg-szfo/lenoblast-anonsirovala-razvitie-v-regione-alternativnoj-energetiki.html> – [дата обращения 12.12.2022]
4. Зеленые тренды в Петербурге и Ленобласти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.dp.ru/a/2020/12/21/Dorogaja\\_alternativa](https://www.dp.ru/a/2020/12/21/Dorogaja_alternativa) (Дата обращения 07.12.2022).
5. Геотермальное отопление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://m-strana.ru/articles/geotermalnoe-otoplenie/?utm\\_source=copy&utm\\_medium=direct&utm\\_campaign=copy\\_from\\_site/](https://m-strana.ru/articles/geotermalnoe-otoplenie/?utm_source=copy&utm_medium=direct&utm_campaign=copy_from_site/) (Дата обращения 05.12.2022).

### Сведения об авторах

**ФИО** Костюшина К.И.  
**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** kostushina021@yandex.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

### Аннотация

В статье рассматриваются виды альтернативных источников энергии. Показаны примеры использования возобновляемых источников энергии в г. Санкт-Петербурге. Обосновывается необходимость скорейшего перехода на применение возобновляемых источников энергии и повсеместного использования их в промышленности и в быту.

**Ключевые слова:** альтернативные возобновляемые источники энергии, альтернативная гидроэнергетика, геотермальная энергетика, биоэнергетика, гелиоэнергетика, ветровая энергетика.

УДК 620.92

Разделы рубрикатора ГРНТИ 44.31.01

## АНАЛИЗ ПУТЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕПЛИЦЫ

Сотина И.А., Марков В.А.

### *Введение.*

Современная теплица как объект управления температурным режимом характеризуется крайне неудовлетворительной динамикой и нестационарностью параметров, вытекающими из особенностей технологии производства (изменение степени загрязнения ограждения, нарастание объёма листостебельной массы и т.д.). В то же время агротехнические нормы предписывают высокую точность стабилизации температуры (1°C),

своевременное её изменение в зависимости от уровня фотосинтетически-активной облученности, фазы развития растений и времени суток. Все эти обстоятельства определяют высокие требования к функционированию и качественному совершенствованию оборудования автоматизации.

*Цель работы.*

Провести анализ путей автоматизации теплицы.

*Методы исследования.*

Метод теории эффективного расхода энергозатрат. Для того, чтобы обеспечить оптимальную технологию, необходимо организовать оптимальное управление. Задача оптимального управления состоит в том, чтобы в любой момент времени создать такую совокупность условий, которая бы обеспечила оптимальное значение одного из критериев эффективности.

*Результаты исследования.*

Представим объект управления (теплицу) в виде черного ящика рисунок 1; выходные величины которого указаны справа (температура, влажность, освещенность внутри теплицы).

Управляемые величины на рис. 1 изображены сверху. К ним относятся параметры теплоносителя. Контролируемые факторы на рисунке изображены слева. К ним относятся: температура наружного воздуха, солнечная радиация, влажность наружного воздуха, скорость ветра. Перечисленные выше контролируемые факторы можно отнести к так называемым возмущениям, вызывающим отклонение от оптимальных режимов. структурная схема теплицы как объекта управления представлена на рисунке 1.

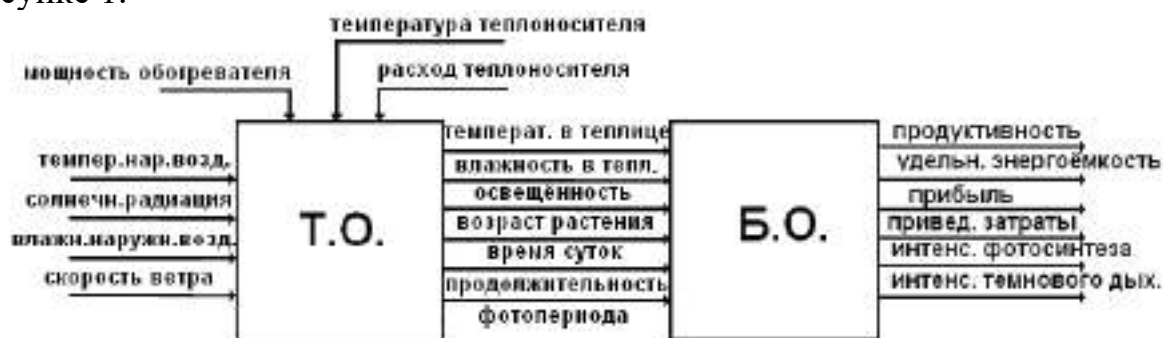


Рис. 1. Теплица как объект управления (биологический и технический)

Энергосберегающие системы автоматического управления – это системы, алгоритм которых направлен на то, чтобы осуществить технологический процесс при пониженных по сравнению с существующими энергетических затратах. Наиболее эффективны ЭССАУ, которые обеспечивают минимум энергетических затрат:

$$Q/\Pi \rightarrow \min, \tag{1}$$

где  $Q$  – расход электроэнергии, затраченной на получение продукции, кВт·ч;

$$Q=Q_{\text{т}} + Q_{\text{пот}}, \tag{2}$$

где  $Q_T$  – затраты энергии на выполнение технологического процесса;  $Q_{пот}$  – потери энергии, вызванные несовершенством технологии, оборудования и материалов.

Применительно к теплицам будем условно считать, что  $Q_T$  – это затраты на компенсацию теплопотерь с поверхности теплицы в окружающую среду. К потерям энергии, вызванным несовершенством технологии, можно отнести потери, связанные с открыванием дверей и ворот теплицы.

Условие (1) обычно дополняется какими-либо ограничениями, которые характеризуют диапазон изменения факторов и касаются минимально допустимой температуры, ниже которой наступает нарушение развития растений.

Для снижения энергоёмкости процесса прежде всего надо стремиться снизить технологический расход энергии  $Q_T$ . Эта величина определяется размерами и тепловыми характеристиками помещений, а также расходом воздуха и разностью температур воздуха и окружающей среды. Чем ниже температура воздуха в помещении, тем ниже  $Q_T$ . Однако снижение температуры в помещении ведёт к снижению продуктивности, поэтому её снижение ограничено агротехническими требованиями. Для каждой культуры опытным путём установлена температура воздуха, ниже которой продуктивная способность снижается. Таким образом, задача САУ сводится к стабилизации температуры на заданном уровне. Системы такой стабилизации являются простейшими ЭССАУ.

Однако стабилизация температуры и влажности в теплице не является лучшим решением проблемы. Дело в том, что в реальных условиях развитие растений происходит при постоянно меняющихся параметрах микроклимата. Так, температура воздуха ночью обычно ниже, чем днём, весной и осенью ниже, чем летом. Живые организмы за долгую эволюцию приспособились к таким изменениям. Поэтому необходимая для их развития температура (да и влажность) должна изменяться в зависимости от времени суток и стадии развития растений. Соответственно должно меняться и задание. Системы, обрабатывающие такое задание, называются программными ЭССАУ.

Системы, обеспечивающие работу в прерывистом режиме, – это третий вид ЭССАУ температурным режимом в теплице, направленный на снижение технологически полезных затрат энергии.

Кратковременное снижение или повышение температуры или влажности в помещении не вызывает изменения продуктивности растений. Поэтому кратковременное отключение нагрева несколько раз в течение суток можно рассматривать как своеобразную закалку живых организмов, что одновременно приводит к определённой экономии энергии. Допустимая продолжительность отключения обогрева помещения для каждой культуры должна определяться экспериментально.

Разновидностью прерывистого режима является так называемый «рваный» режим, при котором обогрев полностью не отключается, а на допустимое время снижается лишь мощность обогрева. Снизить потери энергии можно также улучшением динамики управления, т.е. снизить максимальные динамические отклонения и длительность переходных процессов. Это обеспечивается переходом от системы управления по отклонению к комбинированной системе. В этой системе управление осуществляется по двум независимым каналам: путём изменения расхода горячей воды и её температуры. Переход на такую систему управления позволил снизить температуру обратной воды, уменьшить количество циркуляционных насосов, а, следовательно, и расход энергии на их функционирование.

Важным направлением снижения расхода энергии на единицу продукции является повышение продуктивности и урожайности. Но отметим, что с экономической точки зрения стремление к получению максимума урожая не всегда оправдано, так как этот урожай может быть очень дорогим. Поэтому помимо систем управления, обеспечивающих оптимизацию по урожаю, целесообразно применять системы управления, обеспечивающих оптимизацию по любому заранее выбранному технологическому, экономическому, экологическому или энергетическому критерию.

Технологический процесс, при котором обеспечивается наибольший эффект по одному из указанных критериев или их совокупности, называют оптимальным. Этот процесс характеризуется определённым набором параметров (режимом). Отклонение от оптимального режима ведёт к невосполнимым потерям продукции, энергии и денежных средств.

Чтобы обеспечить оптимальную технологию, необходимо организовать оптимальное управление, задача которого состоит в том, чтобы в любой момент времени создать такую совокупность условий, которая бы обеспечила оптимальное значение критерия эффективности. К таким критериям можно отнести: критерий приведённых затрат; критерий удельных энергозатрат и критерий чистой прибыли.

Выбор критерия определяется сложившейся конъюнктурой, т.е. теми экономическими и социальными задачами, которые в данный момент являются главными для предприятия.

#### *Заключение.*

Для создания энергосберегающих систем управления температурным режимом необходимо, прежде всего, выявить алгоритмы функционирования таких систем, разработать функциональные и принципиальные схемы, создать специализированные вычислительные устройства, датчики и регуляторы.

### Библиографический список

1. Божко В.И. Науменко Э.В. Основы автоматизации технологических процессов в теплице : учебное пособие. – Москва: РТУ МИРЭА, 2021. – 80 с.
2. Сергеев А.И., Черноусова А.М., Русяев А.С., Тугов В.В. Системы промышленной автоматизации : учебное пособие. – Оренбург: ОГУ, 2017. – 106 с.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Сотина И.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	sotinainn@gmail.com
<b>ФИО</b>	Марков В.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	mactor85@mail.ru

### Аннотация

Энергосбережение является актуальной и технически сложной проблемой. В данной статье описаны виды энергосберегающих систем автоматического управления, алгоритмы которых направлены на осуществление технологического процесса при пониженных по сравнению с существующими энергетическими затратами.

**Ключевые слова:** теплица, энергосбережение, ЭССАУ, критерии эффективности, температура

**УДК 630**

**Разделы рубрикатора ГРНТИ 28.29.07**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЭР ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Федяев А.А.**

*Введение.*

Известь используется в качестве вяжущего для приготовления различных строительных растворов, а так же для получения силикатного



кирпича, силикатных бетонов, термоизоляционных материалов, шлакоблоков, газобетона, штукатурных и клеевых составов. Процесс получения извести основан на реакции разложения карбоната кальция, протекающей при высоких температурах в обжиговых печах, при этом выделяется углекислый газ.

Около 90% общего выпуска извести в нашей стране приходится на предприятия четырех отраслей: черной металлургии (33%), строительных материалов (33%), химической промышленности (12,6%) и пищевой промышленности (12%).

Для производства извести в России применяются главным образом шахтные и вращающиеся трубчатые печи. В промышленности строительных материалов работают длинные вращающиеся печи размером 4x150 м производительностью 500 т/сут и разработан проект завода с вращающимися печами размером 4,5x170 м производительностью 760 т/сут. комовой извести каждая. [1,2]

#### *Цель работы.*

Целью работы является изучение процесса получения строительной звести.

#### *Результаты исследований..*

Процесс обжига извести можно разделить на несколько этапов по технологическим зонам, в которых происходят физико-химические преобразования сырья: зону сушки шлама, нагрева материала и зону обжига.

В зоне сушки происходит удаление влаги из шлама, температура материала достигает 200°C и выше, при температуре газов 140-800°C. После удаления влаги материал начинает интенсивно нагреваться до 850°C и далее. Температура газов в этой зоне составляет 800-1400°C. В зоне поддерживается температура газов 1400-1700°C, температура материала при этом достигает 850-1300°C. После зоны обжига между порогом горячего конца печи и зоной активного теплового воздействия факела на известь и футеровку лежит зона предварительного охлаждения. Охлаждение извести происходит за счет передачи тепла непосредственно вторичному воздуху, а также за счет теплообмена между известью и охлажденной воздухом футеровкой. На участке длиной 2-3 м известь охлаждается на 150-200°C. Окончательное охлаждение до 100-150°C осуществляется в известеохладителе рекуперативного или барабанного типа. [1]

Для поднятия производительности печи выше паспортной предлагается установить дополнительную насадку в зону обжига, в виде блоков, представленную на рис. 1.

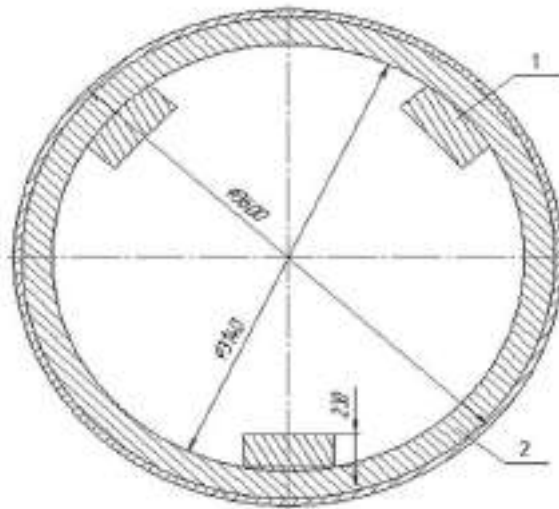


Рис. 1. Дополнительная насадка в зоне обжига:  
 1 – дополнительная насадка из шамотного кирпича в зоне обжига;  
 2 – футеровка известерегенерационной печи

Блоки, выполняющие роль лопаток, разбивают однородную массу извести на части, увеличивая поверхность обжигаемой извести, а значит и степень удаления углекислого газа. Кроме того, увеличивается теплообмен между газами и материалом. Все это в сумме приводит к повышению теплоиспользования данной зоны. Заданный режим повышенной производительности не должен выходить за рамки верхних и нижних границ работы обжиговой печи, обеспечивая нормальную работу вспомогательного оборудования и барабана печи [3,4].

Перемешивающий элемент в зоне обжига поддерживает заданный температурный режим обжига. Соблюдение температурного режима обжига оказывает решающее влияние на качественные признаки обожженной извести и известкового шлама, проявляющиеся на последующих стадиях технологического процесса – гашения извести и осаждения известкового шлама [2].

Для случая установки дополнительной насадки в работе был произведен расчет зоны обжига, учитывая влияние этого введения на процессы, протекающие в печном пространстве, такие как: теплоотдача между газом и падающими частицами материала с лопаток, теплоотдача от нагретых поверхностей сушилки к материалу и т.д.

Параметрические расчеты показали, что для режима, при котором число оборотов барабана равно 1,3 об/мин, экономия топлива составляет 114 т/год. Исходя из цены от 2 марта 2015 года на мазут марки М-100 равной 10950 руб./т получаем возможную экономию денежных средств порядка 2-х млн. руб./год [5,6,7]. Неоспоримым достоинством предложенной модернизации является довольно низкие капитальные затраты на монтаж, и как следствие, низкий срок окупаемости проекта (почти 2 месяца). Также в работе были рассмотрены еще два варианта, имеющие наиболее экономичные показатели по затратам на используемое топливо (мазут), что особенно актуально в

период экономического и финансового кризиса в стране для данного предприятия. [8,9,10]

При производительности печи по извести от 9,69-9,06 т/час расход мазута изменяется от 2,217 до 2,022 т/час соответственно. Эти режимы укладываются в рамки нижнего предела времени прохождения материала через барабан (с целью получения качественного обжига и сохранения требуемого гранулометрического состава материала) - не более 5 часов. Время прохождения материала через барабан печи составляет 4,3-4,6 часов в зависимости от производительности установки. Температура сушильного агента в зоне обжига в этом случае изменяется от 1500 °С до 1400 °С, а число оборотов барабана печи в минуту меняется от 1,1 до 0,8 соответственно.

Другие расчетные режимы представляются неприемлемыми, так как не удовлетворяют верхним и нижним границам температур в рабочих зонах печи, а так же применяемым эксплуатационным показателям в производстве извести для технологической цепочки получения белого щелока.

#### *Заключение.*

В работе представлено краткое описание строительного материала – извести, а также описание процесса получения извести, приводятся сведения о применении данного материала и о используемом оборудовании, в частности обжиговых печах, для получения извести на предприятиях различных отраслей промышленности России. Предлагается модернизация путем установки в барабане печи насадки в виде блоков из шамотного кирпича во внутренней зоне обжига печи, что позволит интенсифицировать процесс термообработки строительных материалов и экономить эксплуатационные затраты за счет понижения затрат на используемое топливо, при этом качество производимого материала остается неизменным.

В результате выполненных параметрических расчетов по модернизации обжиговой печи для регенерации извести определены варианты снижения потребления топливно-энергетических ресурсов, например уменьшение расхода топлива порядка 0,95% т/год, в качестве которого для данной установки, используется мазут.

#### **Библиографический список**

1. Монастырев А.В. Производство цемента, извести. – Москва: Высшая школа, 2007 – 192 с.
2. Федяева В.Н., Федяев А.А., Данилов О.Л. Промышленные тепломассообменные процессы и установки. Расчет барабанной сушильной установки для сушки сыпучих материалов. Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию.-2-е изд., перераб. и доп. – Братск: БрГТУ, 2001. – 102 с.
3. Федяев А.А. Разработка и научное обоснование теплотехнических приемов и технических решений для повышения энергетической эффективности теплотехнологического оборудования: дисс...д-ра техн. Наук. – Москва: МЭИ, 2008. – 295 с.
4. Федяев А.А., Федяева В.Н. Влияние конфигурации распределительных систем на эффективность работы технологической машины // Системы. Методы. Технологии, 2012 –№ 2. – С. 46-50.

5. Лыкин А.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности. - Новосибирск: НГТУ, 2013. – 285 с.
6. Федяев А.А., Федяева В.Н. Оценка эффективности работы основных узлов технологической установки // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – Братск: БГТУ, 2013. – Т. 2. – С. 145-148.
7. Федяев А.А. Технологии ресурсосбережения в теплоиспользующих установках при производстве строительных материалов. Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки: в 2 т. – Братск: БГУ, 2013. – Т. 1. –С. 78-83.
8. Михолап Н.Н., Федяев А.А. Перспективы развития теплонасосных установок в условиях Сибири // Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – Братск: БГУ, 2012. – Т. 2. – С. 59-62.
9. Федяева В.Н., Федяев А.А. Оценка возможностей использования низкопотенциального тепла промпредприятий // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – Братск: БГУ, 2013. – Т. 1. – С. 83-89.
10. Кожуховский И.С., Эдельман В.И., Говсиевич Е.Р. и др./ Проблемы монополизма поставщиков твердого топлива на рынках энергетических углей / Теплоэнергетика, 2006. – № 5. – с. 45–49.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Федяев Александр Артурович
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021 г. Санкт-Петербург, Институтский переулок, д.5.
<b>SPIN-код</b>	4618-5907
<b>e-mail</b>	vends1@mail.ru

#### **Аннотация**

В работе для увеличения производительности установки по получению извести предлагается внедрить дополнительный элемент - насадку в виде блоков из шамотного кирпича во внутренней зоне обжига печи. В связи с этим были представлены результаты проведенных расчетов, связанных с процессами, протекающими внутри барабана печи, с целью выявления оптимального режима работы установки, который не повлияет на качество производимой извести, но при этом экономия топлива будет существенной.

**Ключевые слова:** известь; обжиговая печь; исследование; модернизация; экономия топлива.

**УДК** 621.833

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.33.31

# ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА С ПАССИВНЫМ СОЛНЕЧНЫМ ОТОПЛЕНИЕМ

Федяев А.А.

## *Введение.*

Экодом – это система с положительным экологическим ресурсом. Она состоит из дома нулевого энергопотребления и приусадебного участка. Участок предназначен для биологической переработки и утилизации всех жидких и твердых органических отходов и выращивания сельхозпродукции с помощью био-интенсивных методов и методов пермакультуры. В понятие экодом входит сам дом, надворные постройки, приусадебный участок с био-ботанической площадкой, садом-огородом, системой накопления воды, местом отдыха.

Экодом должен обеспечиваться теплом, горячей водой и электричеством только за счет альтернативных (возобновляемых) источников энергии, не наносящих вреда окружающей природной среде. Для строительства экодома должны использоваться местные строительные материалы, малозатратные по способу добычи, переработке, перевозке, позволяющие применять технологии строительства дома без тяжелой техники.

Так, отличаясь достаточно суровой зимой с сильными северными ветрами, южное Приморье буквально залито солнечным теплом. За год на юге Приморья поступает 1681,3 кВт/ч солнечной радиации на квадратный метр, и большая ее часть приходится на зимний период [1]. Для мелкосопочного ландшафта южного Приморья характерен резкий контраст температур воздуха между северным и южным склоном сопки - до 10 - 11°C и его влажности - в среднем в 5-10%. Количество осадков на смежных склонах за сезон различается до 100 мм и более [2].

Застройка способна существенно скорректировать исходные климатические показатели. Направление ветра может отклоняться на 45 - 180° от исходного, а скорость ветрового потока возрастать в 1,5-2 раза, или снижаться почти в 10 раз в сравнении с полевой. При средней за январь скорости ветра в 9.8 м/с хаотично расположенная застройка может сформировать на уровне движения пешеходов ветер в 20 м/с в мороз 12-15°C, а развернутый против ветра экран, наоборот, снизит его скорость до 1 м/с. Интенсивность инсоляционного прогрева у южных фасадов в зимний полдень может быть увеличена почти в 2 раза благодаря воздействию отраженных солнечных лучей, а летний прогрев затененной от солнца стены снижен в 2-4 раза [3,4]. Изменяя взаимное расположение зданий, их форму и ориентацию по сторонам света, планировку внутреннего пространства, можно регулировать микроклимат придомовых территорий и внутренних помещений, отклоняя ветер и раскрывая застройку солнцу.

### *Результаты исследований.*

В сложной системе инженерных и технических решений пассивного солнечного дома ведущая роль будет принадлежать его энергоэффективной архитектуре – совокупности композиционных, функциональных и планировочных решений здания и его участка, обеспечивающих комфортную среду обитания для потребителя и энергоэффективность эксплуатации здания [3,5].

Для выполнения отмеченных выше параметров необходимо соблюдать ряд условий, представленных ниже.

Обтекаемая клиновидная форма кровли, лишенный проемов северный фасад и позволяют снизить максимальную мощность тепловых потерь здания до 7,6 кВт (щитовой дом традиционной архитектуры сопоставимых размеров – 12 кВт) [4]. Северный фасад – без окон, но все комнаты дома освещаются солнцем не менее 4 часов в декабре. Архитектурные особенности здания позволяют в холодный период за световой день обеспечить поступление максимального количества солнечной энергии внутрь здания. При замещении традиционных источников тепла за зимний период вклад пассивной солнечной системы отопление может достигать до 81%.

Стоимость квадратного метра общей площади, без активной солнечной системы, оценивается в 1000\$ и выше, что сопоставимо с зарубежными аналогами [6,7,8]. Состав помещений – традиционный для дома на одну семью с 2 детьми. Размеры базовой модели дома без открытой террасы – 12 x 8 метров, типовые рамные конструкции позволяют реализовать три варианта малоэтажного дома жилой площадью 78.0, 93.7 и 109.4 кв.м., вход как с западного, так и с восточного фасада при зеркальном планировочном решении [9].

Для практического использования солнечной энергии в отоплении зданий необходимо знать климатические параметры места строительства. Это, в первую очередь, средняя температура наружного воздуха (рис. 1) и количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность. Эти данные должны быть, хотя бы, среднемесячными, лучше, если они будут подекадными. Производительность солнечных коллекторов сильно зависит от их коэффициента полезного действия (табл. 1) и температуры теплоносителя.

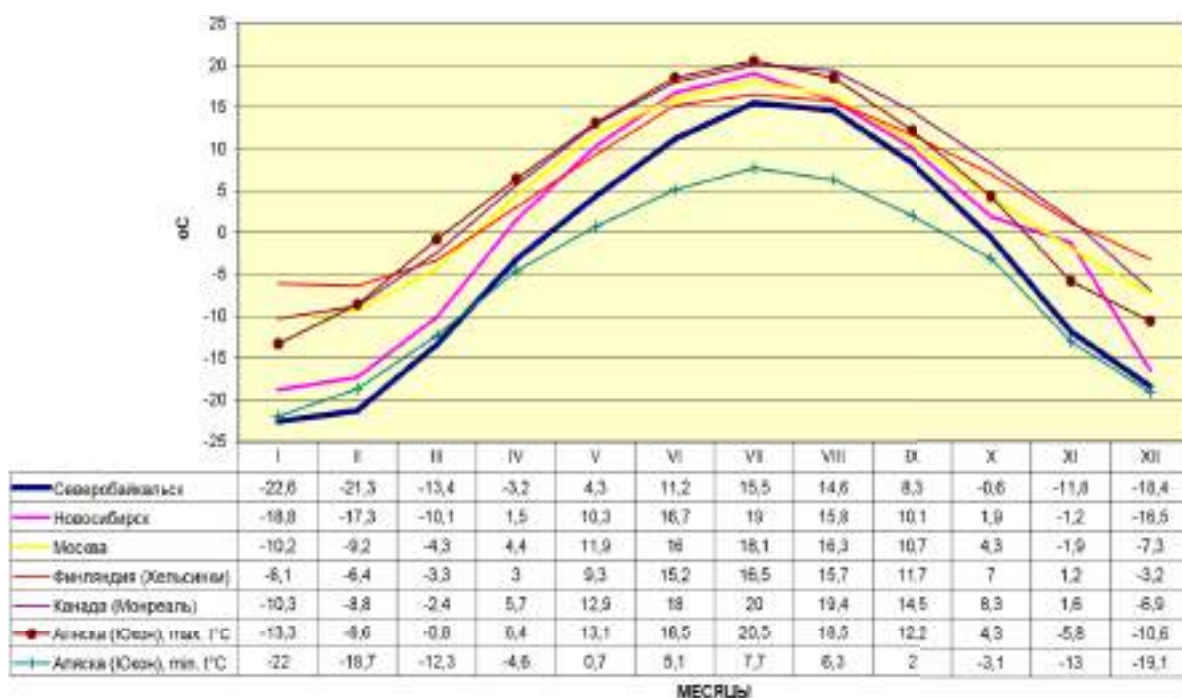


Рис. 1. График среднемесячной температуры воздуха

Таблица 1 – Типы коллекторов и определение КПД

Тип коллектора	Расчётная формула
Жидкостной со стальной крашенной панелью (однослойное остекление)*	$\eta = 0,79 - 8,3 y$
Жидкостной со стальной крашенной панелью (двухслойное остекление)	$\eta = 0,73 - 3,7 y$
Жидкостной алюминиевый с селективным покрытием (Сокол-А)	$\eta = 0,81 - 4,1 y$
Жидкостной алюминиевый с селективным покрытием (Сокол-А) + одно стекло	$\eta = 0,75 - 2,54 y$
Жидкостной медный с селективным покрытием (Vitosol 100)	$\eta = 0,81 - (3,48 + 0,0164(T_{ж} - T_0))y$
Жидкостной вакуумированный стеклянный	$\eta = 0,75 - 2 y$

Характеристика солнечного коллектора оценивается прежде всего величиной его КПД.

Параметр «у» зависит от температуры теплоносителя, °C ( $T_{ж}$ ), температуры окружающей среды, °C ( $T_0$ ), плотности потока солнечной энергии, Вт/м<sup>2</sup>, плотности потока солнечной энергии, Вт/м<sup>2</sup>.

При добавлении к существующим коллекторам дополнительной металлической рамы с одинарным остеклением сопротивление теплопередачи коллекторов увеличивается на  $0,15 \text{ м}^2 \times \text{°C} / \text{Вт}$  [3], но снижается оптический КПД (рис. 2).

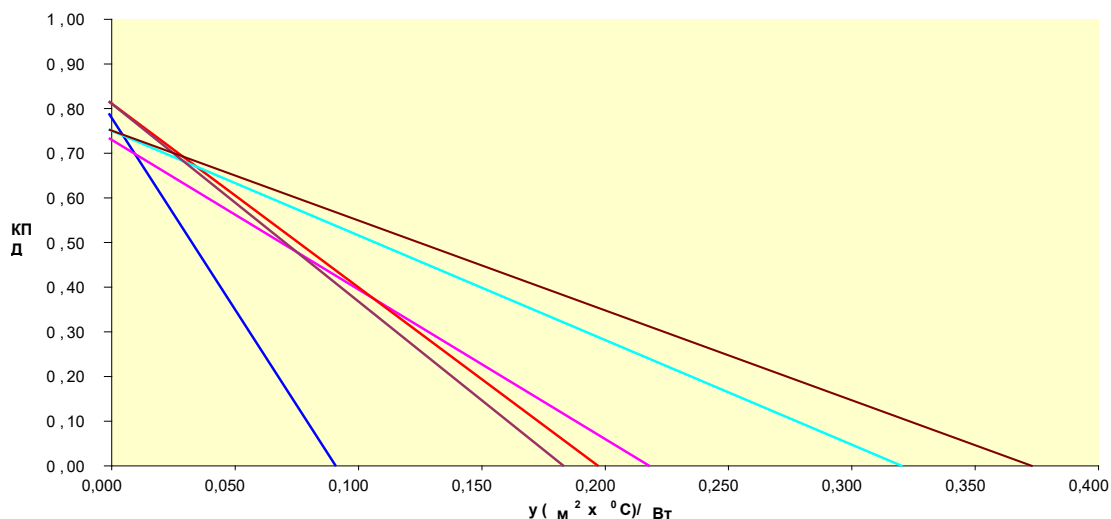


Рис. 2. КПД солнечного коллектора

Пассивная система солнечного отопления здания включает:

- термальные массивы перекрытий на отм. 0.000 (8,0 куб/м.) и на отм. 3.300 (2,0 куб/м.); камин (3,0 куб/м.); стену Тромба-Мишеля (1,2 куб/м.), инсолируемые непосредственно через витражи южной и западной ориентации (28.0 кв. м., тип энергосберегающий стеклопакет; соотношение 0,5 куб/м./1.0 кв/м.);
- термальные массивы внутренних несущих конструкций здания и перегородок, получающими и отдающими тепло только за счет конвективного теплообмена: 2,5 куб/м.;
- солнечный конвектор в витраже кухни-столовой и светоотражающие покрытия кровли и конькового витража, работающие в сочетании с трубчатыми солнечными коллекторами (рост мощности активной системы до 10%).

Геометрия кровли в пределе рассчитана на размещение до 15 кв.м. солнечных коллекторов водяного отопления (до 0,8 кВт. с кв.м.) и, дополнительно, – фотоэлектрической системы максимальной мощностью до 3 кВт. В качестве дублирующего источника тепловой энергии в комбинированной солнечной водонагревательной установке могут быть применены: электрический подогрев бака-накопителя горячей воды; котел, работающий на отходах деревообработки; тепловые насосы или любой другой генератор тепловой энергии. Термическое сопротивление наружных ограждающих конструкций  $R$  не ниже 7,0 кв.м.×°С/Вт [10], витражи – двухкамерный (трехкамерный) энергосберегающий стеклопакет с наружными теплоотражающими ставнями, утепленный цоколь с обязательным устройством «теплой» отмостки по всему периметру дома (экомодули с теплоизоляцией только по внешнему контуру). Деревянный каркас зданий рассчитан на поточное производство на автоматической деревообрабатывающей линии.

В обычных зимних условиях (-14°С, северный ветер скоростью 5-10 м/с) прямая инсоляция термальных массивов зимнего сада, гостиной и стены



Тромба компенсирует 57% потребностей дома в тепле (приведены расчетные данные для климатических условий южного Приморья) [11,12].

#### *Заключение.*

Суммарный вклад пассивной (архитектура) и активной (коллекторы) солнечных систем за отопительный сезон – 81%. При этом порог экономической целесообразности использования тех или иных приемов пассивной и активной солнечной архитектуры оценивается в 25% от потребностей здания в отоплении.

В целом экодом в среднем на 10-30% дороже стандартных аналогов, однако, если рассматривать экономику экодому на всем отрезке эксплуатации здания, экодом здесь вне конкуренции. Срок окупаемости его систем составляет примерно 10 лет.

В современном обществе все больше уделяется внимание экологической обстановке окружающего мира. Эта тенденция коснулась и жилищного строительства. Во многих странах разрабатываются стандарты «экодомов». Массовое строительство экодому, создание экопоселений - один из перспективных путей развития индивидуального домостроения, это эффективное средство решения многих экологических проблем, стоящих перед строителями. При эксплуатации дома потребители своей жизнедеятельностью должны способствовать восстановлению экологии в окружающем его жизненном пространстве.

#### **Библиографический список**

1. Деркачева Л.Н., Русанов В.И. Климат Приморского края и его влияние на жизнедеятельность человека. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – 136 с.
2. Пивкин В.М., Обертас О.Г., Вольтер В.А., Баранова Т.П. Санитарно-гигиеническая оценка природно-климатических условий городов Дальнего Востока для градостроительных целей (методические рекомендации). – Новосибирск: НГГУ, 1977. – 67с.
3. Ретгер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. – Москва: Стройиздат, 1984. –294 с.
4. Яковлев А.В. Градостроительство на Крайнем Севере: (Метод. основы градостроительной физики). – Ленинград: Стройиздат, 1987. – 182 с.
5. Михолап Н.Н., Федяева В.Н. Повышение эффективности СКВ для объектов социальной сферы // Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – Братск: БГУ, 2012. – Т. 2. – С. 62-66.
6. Казанцев П.А. Основы экологической архитектуры. Учебное проектирование энергоэффективных зданий. Теория и практика энергоэффективной архитектуры. – Germany, Saarbrucen: Lambert academic publishing, 2012. – 205 с.
7. Федяев А.А., Федяев П.А., Федяева В.Н. Тепловизионное обследование ограждающих сооружений из древесины в условиях Крайнего севера // Труды Братского государственного университета: Серия: Естественные и инженерные науки. – Братск: БГУ, 2014. – Т.1. – С. 28-31.
8. Федяев А.А. Технологии ресурсосбережения в теплоиспользующих установках при производстве строительных материалов. Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – Братск: БГУ, 2013. – Т. 1. – С. 78-83.

9. Волков А.В., Ковалев О.П., Казанцев П.А. Солнечный дом для Приамурья и Приморья (современные технологии) // Архитектура и строительство Дальнего Востока, 2007. – № 11-12. – С. 50-51.
10. Федяев А.А., Федяев Ар.А. Обоснование необходимости производства клееных деревянных конструкций для деревянного домостроения с учетом их физико-механических свойств // Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – Братск: БГУ, 2012. – Т. 2. – С. 66-70.
11. Казанцев П.А. Дом с комбинацией активной и пассивной солнечных систем // Архитектура. Ру: альманах Союза архитекторов России – Москва: СА РФ, 2012. – С. 112-114.
12. Казанцев П.А. Экомодуль Solar-5M/S для учебных и научно-исследовательских целей // Вестник Инженерной школы ДВФУ, 2012. – №2 (11). – С.21-25.

#### **Сведения об авторах**

**ФИО**

Федяев Александр Артурович

**Организация**

Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С.М. Кирова

**Адрес организации**

194021 г. Санкт-Петербург, Институтский  
переулок, д.5.

**SPIN-код**

4618-5907

**e-mail**

vends1@mail.ru

#### **Аннотация**

Приведен обзор систем, влияющих на энергоэффективность здания. Расчетным методом по заранее известным характеристикам изучаемого здания выявлен класс энергоэффективности. Здания с высоким классом энергоэффективности (класс В) практически не требуют теплоэнергии от городских сетей, а значит, затраты на их содержание сведены к минимуму.

**Ключевые слова:** экодом, солнечная энергия, солнечный коллектор (батареи), энергоэффективность, теплоноситель.

**УДК** 621.941

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.33.31

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ**

**Федяев А.А., Федяева Н.Ю.**

*Введение.*

Под тепловой защитой зданий понимают теплозащитные свойства совокупности наружных и внутренних ограждающих конструкций, обеспечивающих заданный уровень расхода тепловой энергии на отопление

при оптимальных параметрах микроклимата в его помещениях [1,2]. Энергетическая эффективность зданий – это теплотехнические и энергетические параметры здания (совокупность теплозащиты и инженерных систем), которые позволяют обеспечивать нормируемое энергопотребление. Для оценки энергетической эффективности зданий должны быть определены критерии энергоэффективности и выявлены способы их достижения.

До недавнего времени критерии оценки энергоэффективности зданий и их численных значений в нормах отсутствовали. Такая возможность появилась в результате разработки и утверждения нового СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий" [3].

Критерии тепловой защиты зданий. Установлены две группы, обязательных к исполнению, взаимосвязанных критериев тепловой защиты здания, а также два способа проверки на соответствие этим критериям. Они основаны на:

а) нормируемых значениях сопротивления теплопередаче для отдельных ограждающих конструкций тепловой защиты здания, рассчитанных на основе нормируемых значений удельного расхода тепловой энергии на отопление и сохранившихся от прежнего СНиП П-3-79. Нормируемые значения сопротивления теплопередаче установлены по видам зданий и помещений, а также по отдельным ограждающим конструкциям. Они определяются по табличным значениям или по формулам, установленным в зависимости от градусо-суток отопительного периода в районе строительства;

б) нормируемом удельном расходе тепловой энергии на отопление здания, позволяющем варьировать теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий (за исключением производственных зданий) с учетом выбора систем поддержания микроклимата и теплоснабжения для достижения нормируемого показателя. Нормируемые значения удельного расхода тепловой энергии не зависят от района строительства, поскольку они отнесены к градусо-суткам отопительного периода [4,5,6,7].

#### *Результаты исследования.*

В зависимости от уровня энергетической эффективности, характеризуемого интервалом значений удельного расхода тепловой энергии на его отопление за отопительный период, выделяется несколько классов энергетической эффективности зданий [3] согласно СНиП 23-02-2003 по степени отклонения от нормируемого значения расчетных или измеренных нормализованных значений удельных расходов тепловой энергии на отопление. Под нормализацией понимается приведение измеренных значений к расчетным условиям.

Повышение сопротивления теплопередаче не светопрозрачных ограждений достигается за счет выбора более эффективного утеплителя, повышения его толщины и применения технических решений по повышению теплотехнической однородности конструкции за счет уменьшения влияния теплопроводных включений.

Теплоизоляцию лучше устанавливать снаружи стен дома. Внутри дома должен находиться прогреваемый массивный теплоемкий стеновой материал. Правильное утепление стен должно сочетаться с рациональным выбором системы отопления для дома. При нарушении путей отведения пара из утеплителя (использование не паропроницаемых материалов, мембран и отсутствие вентиляционных зазоров) теплоизоляционные свойства утеплителей снижаются.

Ограждающая конструкция будет нормально функционировать, если при соблюдении сформулированного принципа, паропроницаемость наружного слоя, как минимум, в 5 раз будет превышать паропроницаемость внутреннего слоя. Увлажненная теплоизоляция неэффективна. Стены дома в этом случае подвергаются перепаду температур, воздействию осадков и конденсата. Это значительно снижает их долговечность.[8,9,10]

Рассмотрим и сравним три вида современных теплоизоляционных материала, такие как: пенополиуретан, пеностекло и пенополистерол.

Пенополистерол. Самый не совершенный материал. Если есть возможность избежать его использования - то это следует сделать. Такой пенопласт обладает небольшой механической прочностью и активно портится грызунами. Есть специальные фасадные виды пенопласта с сохранением паропроницаемости и уплотненным наружным слоем. Соответственно, цена такого материала никак не ниже минераловатных плит, что лишает его применение смысла. Самая типичная ошибка - это утепление газобетонного дома экструдированным пенополистиролом с практически нулевой паропроницаемостью. Вместо утепления такая "народная технология" приводит к отсыреванию газобетона и резкому снижению его теплоизоляционных свойств. Соответственно, от влаги появляется плесень. В случае возникновения пожара пенополистирол без антипиренов превращается в химическое оружие.

Пенополиуретан (ППУ). Материал этот представляет собой одну из разновидностей пластмассы. Он имеет ячеистую пенную структуру, причем в составе пенополиуретана главенствует газообразное вещество – от 85 до 90 процентов. Газом заполнены многочисленные крохотные ячейки, изолированные друг от друга. Оставшиеся несколько процентов объема приходятся на твердую часть - тонкие стенки этих ячеек.

Необходимо отметить, что применение данного вида утеплителя для зданий из дерева – исключено, так как полное отсутствие вентиляции и паропереноса через пенополиуретан за 5-7 лет сделают свое негативное дело. Пенополиуретан уместен только для паронепроницаемых бетонных конструкций вне доступа огня (горит как бензин), солнечного света (УФ лучи за несколько месяцев разрушают пенополиуретан) и при ограниченном доступе кислорода, например, под штукатуркой. Укрытие пенополиуретановой пены кислородонепроницаемыми покрытиями продлит срок ее службы. Также пенополиуретановая пена может использоваться для утепления стен каркасных сооружений. Следует отметить, что твердый

пенополиуретан, в отличие от напыляемой пенополиуретановой пены, почти не меняет своих свойств со временем [6,11,12].

Пеностекло. Хороший теплоизоляционный материал, практически лишенный недостатков, кроме труднодоступности, высокой цены, малой теплоизолирующей способности и необходимости уширения фундамента под пеностеклянные блоки. Сравнение средних розничных цен на различные виды утеплителей для стен представлено в табл. 1.

Среди наиболее экологичных материалов для утепления стен можно назвать качественную эковату. Но ее качество определяется исключительно мерой ответственности производителей, добавляющих экологичные или неэкологичные антипирены. Нужно знать, что со временем свойства "негорючести" из эковаты исчезают. Существуют также экзотические натуральные и горючие утеплители для стен из овечьей шерсти, хлопкового вторсырья, сена и т.п.

Таблица 1 – Сравнение средних розничных цен на различные виды утеплителей для стен

Материал	Цена за кубометр
Минераловатная плита	2000-3000 рублей
Стекловатная плита	1500-1800 рублей
Эковата	1500-3000 рублей
Пенополиуретан (с нанесением)	11000-16000 рублей
Пеностекло	7000-14000 рублей
Пенополистирол	3000-4000 рублей
Пенополистирол экструдированный	4000-5000 рублей

#### *Заключение.*

Таким образом, можно сделать вывод, что для общественного здания с каркасной железобетонной конструкцией наиболее целесообразно использование пенополиуретанового утеплителя, так как он долговечен, экономически выгоден и удобен при монтаже. В перспективе также вызывает живой интерес рассмотрение вариантов применения альтернативных источников отопления [13].

Достоинства данного утеплителя:

1. ППУ отлично «прилипает» к любым материалам, будь то кирпич, стекло, дерево, бетон или металл. Форма поверхности, ее отклонение от прямизны значения не имеют. Благодаря хорошим адгезирующим свойствам нет необходимости изготавливать дополнительные крепежи. Плоскость перед напылением не обрабатывается.
2. Этот утеплитель производится прямо на месте, а объем исходных компонентов минимален. Поэтому расходы на транспорт низкие.
3. Пенополиуретан отличается необыкновенной легкостью, он не утяжеляет поверхности, что актуально при теплоизоляции крыши.

4. При нанесении слоя ППУ не только утепляются стены и перегородки, но и увеличивается их прочность.
5. Пенополиуретановое покрытие не реагирует на потепление и похолодание в течение года. Оно не теряет своих свойств при температурах от минус 200 до плюс 200 градусов по Цельсию.
6. В отличие от панельного и листового утепления, данный вид теплоизоляции является единым целым, плотно облегающим конструкцию. Нигде ни стыка, ни маленького шва, что важно при сильных ветрах.

Оптимальные параметры внутреннего микроклимата представляют собой сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80% людей, находящихся в помещении.

#### **Библиографический список**

- 1 Зеликов В.В. Справочник инженера по отоплению, вентиляции и кондиционированию. Тепловой и воздушный баланс зданий. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2011. – 624 с.
- 2 Михолап Н.Н., Федяева В.Н. Повышение эффективности СКВ для объектов социальной сферы // Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – Братск: БГУ, 2012. – Т. 2. – С. 62-66.
- 3 СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. – Москва: Госстрой России, 2003. – 33 с.
- 4 Федяев А.А., Федяев П.А., Федяева В.Н. Тепловизионное обследование ограждающих сооружений из древесины в условиях Крайнего севера // Труды Братского государственного университета: Серия: Естественные и инженерные науки. – Братск: БГУ, 2014. – Т.1. – С. 28-31.
- 5 Федяев А.А., Федяева В.Н. Энергосбережение при термовлажностной обработке ленточных капиллярно-пористых материалов // Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки. – Братск: БГУ, 2014. – Т.1. – С.36-40.
- 6 Дмитриев А.Н., Монастырев П.В., Сборщиков С.Б. Энергосбережение в реконструируемых зданиях. – Москва: АСВ, 2008. – 154 с.
- 7 Федяев А.А. Технологии ресурсосбережения в теплоиспользующих установках при производстве строительных материалов // Труды Братского государственного университета. Сер.: Естественные и инженерные науки. – Братск: БГУ, 2013. – Т. 1. – С. 78-83.
- 8 Федяев А.А., Наговицын Д.А. Вычислительный эксперимент с применением универсальной программной системы конечно- элементного анализа ANSYS. с. Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – Братск: БГУ, 2012. – Т. 2. – С. 77-82.
- 9 Федяев А.А., Федяев Ар.А. Обоснование необходимости производства клееных деревянных конструкций для деревянного домостроения с учетом их физико-механических свойств // Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – Братск: БГУ, 2012. – Т. 2. – С. 66-70.
10. Ливчак В.И. Энергетический паспорт проекта здания – инструмент повышения его энергоэффективности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4777](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4777) (Дата обращения 22.04.2023).

- 11 Федяев А.А. Математическая модель для оценка потенциала энергосбережения в низкотемпературных процессах тепло- и массопереноса // Труды Братского государственного университета. Сер.: Естественные и инженерные науки. – Братск: БГУ, 2013. – Т. 1. – С. 72-78.
- 12 Лыкин А.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности. - Новосибирск: НГТУ, 2013. – 285 с.
- 13 Михолап Н.Н., Федяев А.А. Перспективы развития теплонасосных установок в условиях Сибири // Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – Братск: БГУ, 2012. – Т. 2. – С. 59-62.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Федяев Александр Артурович
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021 г. Санкт-Петербург, Институтский переулок, д.5.
<b>SPIN-код</b>	4618-5907
<b>e-mail</b>	vends1@mail.ru

<b>ФИО</b>	Федяева Наталья Юрьевна
<b>Организация</b>	-
<b>Адрес организации</b>	-
<b>SPIN-код</b>	7500-5197
<b>e-mail</b>	nat_fedyaeva@mail.ru

#### **Аннотация**

В работе рассмотрены современные виды утеплителей, их достоинства и недостатки. Актуальность темы заключается в том, что от оптимального выбора рационального типа теплоизоляции зависят такие критерии как: срок службы и теплопроводность ограждающих конструкций; параметры микроклимата в помещении; комфортные условия для жизнедеятельности человека. В частности, для общественных зданий с каркасной железобетонной конструкцией наиболее целесообразно использование пенополиуретанового утеплителя.

**Ключевые слова:** отопление; тепловая энергия; микроклимат; тепловая защита; энергоэффективность; теплоизоляционный материал; теплопередача.

**УДК** 656.212

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.33.31

### РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЗКИ РЕЖИМОВ ТРАНСМИССИИ ЛЕСНЫХ МАШИН

**Болдырев И.В., Чураков А.В., Шушков П.Н.**

#### *Введение.*

Специфические условия эксплуатации и экстремальные условия, негативно сказываются на долговечности трансмиссии лесопромышленных тракторов. Из-за многообразий условий работы лесопромышленных тракторов и лесозаготовительных машин значительно сложнее моделировать все внешние и внутренние воздействия, действующие на трансмиссию лесотранспортных тракторов, по сравнению с транспортными и тяговыми машинами (автомобилями, строительно-дорожными машинами, сельскохозяйственными и промышленными тракторами) и в других отраслях промышленности. В условиях лесозаготовок лесопромышленные тракторы эксплуатируются в условиях полного бездорожья или на слабо подготовленных предварительно путях (волоке, полосе, трассе). Условия эксплуатации лесных машин зависят от предмета труда и особенностей технологического процесса.

При выборе параметров, обосновании конструкции лесных машин, решении различных задач комплексной механизации лесозаготовок, необходимо учитывать условия эксплуатации, в которых отражаются таксационные особенности лесонасаждений, и почвенно-грунтовые свойства, рельеф, климатические условия и др.

#### *Цель работы.*

Повышение эффективности исследования работы трансмиссии при проведении различных видов испытаний лесотранспортных машин. А также выбор оптимального комплекта электроизмерительного оборудования для проведения испытаний лесозаготовительной техники.

#### *Методы исследования.*

Методы исследования

Исследования базируются на принципах оптимального проектирования, методах статистической динамики, теории массового обслуживания. Для исследования и практических целей технологические процессы лесозаготовок, размещения транспортной сети освоения лесосек, планирования запасов применяется имитация на ЭВМ. Были проведены многочисленные исследования с целью повышения потенциальных свойств лесных машин на основе современных математических средств.

Значимые научно-исследовательские работы, выполненные в ВУЗах и научно-исследовательских институтах, были внедрены при перспективных лесопромышленных тракторов и многооперационных машин [1]. Анализ



научно-исследовательских работ и результатов производственных испытаний показал, что перспективные отечественные лесосечные машины по своим эксплуатационным свойствам конкурентоспособны с машинами зарубежного производства. Однако для создания перспективных машин необходимо проводить комплексные проектные работы, а также снижение сроков и трудоемкости при проведении исследовательских испытаний.

*Результаты исследований.*

Требования, предъявляемые к аппаратуре. Сложные и специфические условия эксплуатации лесопромышленных тракторов и высокие требования, предъявляемые к достоверности результатов исследовательских испытаний, выявляют необходимость установки измерительной аппаратуры непосредственно на объекте исследований [2]. Это ее защищенности, габаритам и диктует повышенные требования к потребляемой мощности. С учетом всех требований, аппаратура для исследовательских испытаний колесного лесопромышленного трактора в производственных условиях должна обладать:

- вибростойкостью;
- устойчивостью к перепадам температур;
- защищенностью от механических повреждений;
- попадания пыли и влаги;
- питание от бортовой сети трактора и его стабильностью;
- малыми габаритами и надежностью работы;
- не должна влиять на работу трактора, оператора и технологический процесс.

Как показали ранее проведенные исследования лесных, сельскохозяйственных и дорожных машин, всем вышеперечисленным требованиям может удовлетворять электроизмерительная аппаратура, собранная по структурной схеме «источник питания – преобразователь – согласующее устройство – регистрирующий прибор» из серийно выпускаемых приборов, обладающих высокой надежностью, точностью измерений и стабильностью работы.

Для решения задач, связанных с исследованиями трансмиссии колесных лесопромышленных тракторов, измерялись и регистрировались следующие параметры колесного лесопромышленного трактора:

- крутящие моменты на полуосях ведущих колес трактора;
- крутящий момент двигателя;
- частота вращения коленчатого вала двигателя;
- частоты вращения ведущих колес трактора;
- время протекания процессов.

При выборе параметров и характеристик элементов комплекса электроизмерительной аппаратуры необходимо знание диапазона амплитуд и частот регистрируемых колебательных процессов [3-5].

На основании информации о диапазоне амплитуд и частот измеряемых процессов, а также с учетом требований, предъявляемых к аппаратуре,

процессе проведения исследовательских испытаний применялись следующие датчики преобразователи (табл. 1).

Принципиальная схема электроизмерительного оборудования, которое применялось при исследовательских испытаниях, изображена на рис. 1.

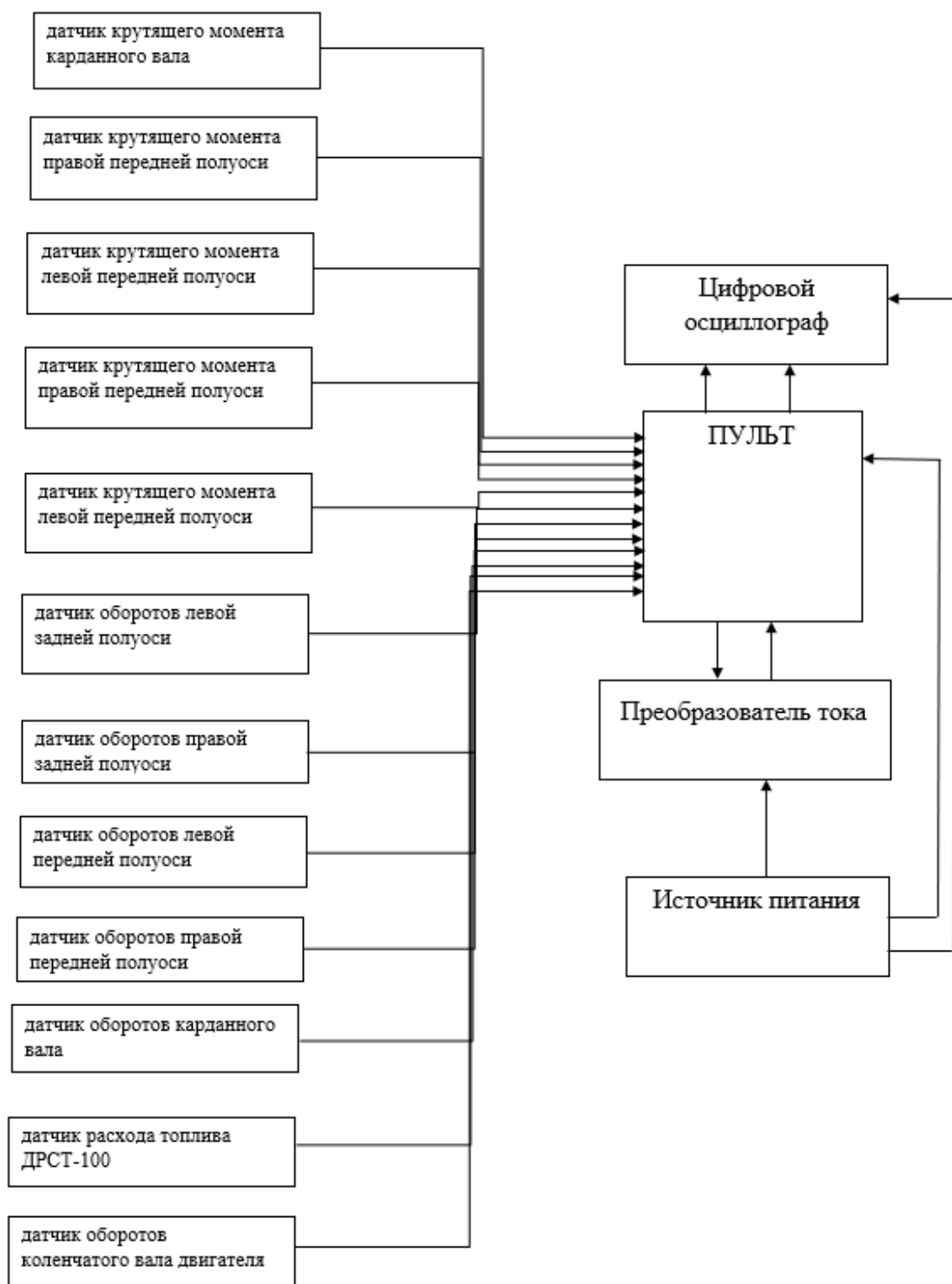


Рис. 1. Блок-схема комплекса электроизмерительной аппаратуры

Принципиальная схема включает в себя следующие элементы:

- генератор трактора со встроенным выпрямителем и реле- регулятором РР;

- преобразователь тока для питания линейных вращающихся трансформаторов;
- датчики крутящего момента полуосей ведущих колес;
- датчик крутящего момента карданного вала;
- датчики оборотов полуосей ведущих колес;
- датчик оборотов карданного вала; датчик оборотов двигателя;
- датчик расхода топлива DFM 90AP;
- электрочасы МЧ-62;
- пульт контроля и распределения электропитания;
- пульт управления датчиками-преобразователями;
- осциллограф.

Измерение величины крутящего момента осуществлялось разработанными торсионными динамометрическими валами с установленными в качестве датчика крутящего момента линейный вращающийся трансформатор (ЛВТ).

Таблица 1 – Датчики-преобразователи и места их установки

№ п/п	Замеряемый параметр	Место установки преобразователя	Тип преобразователя	Метод регистрации
1	Крутящий момент двигателя	Карданный вал	ЛВТ	Непрерывный
2	Частота вращения коленчатого вала	Генератор	Тахогенератор	Непрерывный
3	Обороты карданного вала	Карданный вал	Контактная группа	Дискретный
4	Крутящий момент, подводимый к полуосям	Полуось	ЛВТ	Непрерывный
5	Обороты полуосей	Полуось	Контактная группа	Дискретный
6	Расход топлива	Топливная магистраль низкого давления	DFM 90AP	Непрерывный
7	Время протекания процессов	Пульт	Часы МЧ-62	Дискретный

Измерительная схема на базе ЛВТ имеет значительные достоинства:

- простота конструкции динамометрического вала;
- максимальный выходной ток на выходе из датчика может составлять 0,3...0,5 А;
- высокая стабильность и надежность работы в любых производственных условиях;
- простой и очень надежный токосъемник щеточного типа.

*Заключение.*

Выбранная структурная схема подключения электроизмерительного оборудования «источник питания – преобразователь – согласующее устройство - регистрирующий прибор» прекрасно себя зарекомендовала, так

как соответствует всем необходимым требованиям исследовательского оборудования.

Аппаратура для исследовательских испытаний колесного лесопромышленного трактора в производственных условиях обладает:

- вибростойкостью;
- устойчивостью к перепадам температур;
- защищенностью от механических повреждений;
- попадания пыли и влаги;
- питание от бортовой сети трактора и его стабильностью;
- малыми габаритами и надежностью работы;
- не должна влиять на работу трактора, оператора и технологический процесс.

#### **Библиографический список**

1. Бачин О.П., Жигалов А.М. Лесные машины/ Кинематические схемы трансмиссий автотранспортных средств лесного комплекса. – Архангельск: АГТУ, 2003. – 65 с.
2. Клубничкин Е.Е. Башкирцев Ю.В., Крылов В.М. Изменение длины опорно-активных участков движителя гусеничной лесозаготовительной машины с учетом режимов нагружения //Лесной вестник, 2013. – №2 (94). – С. 119-120.
3. Клубничкин Е.Е., Клубничкин В.Е., Крылов В.М., Кондратюк Д.В. К обоснованию удельного давления гусеничного лесопромышленного трактора // Лесной вестник, 2012, –№8. – С. 48-50.
4. Воскобойников И.В., Кондратюк В.А., Крылов Д.В., Кондратюк Е.Е. Клубничкин В.Е. Многооперационные лесные машины. – Москва: МГУЛ, 2013. – Т. 1. – 480 с.
5. Воскобойников И.В., Кондратюк В.А., Крылов В.М., Кондратюк Д.В. Клубничкин Е.Е. Многооперационные лесные машины. – Москва: МГУЛ, 2013. – Т. 2. – 496 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Болдырев И.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	ilya_boldyrev_2020@mail.ru

<b>ФИО</b>	Шушков П.Н.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	shushkovpavelnikolayevich@gmail.com

<b>ФИО</b>	Чураков А.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный

**Адрес организации** лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,  
Россия  
**SPIN-код** 9526-9599  
**e-mail** Sheff\_2.01@mail.ru

### **Аннотация**

Повышение эффективности проведения исследовательских испытаний трансмиссии является важной частью проектирования лесных машин. В статье дается обзор схемы подключения измерительного оборудования. Излагаются важнейшие требования и параметры необходимые аппаратуре для исследовательских испытаний. Рассматриваются структурная схема подключения электроизмерительного оборудования «источник питания – преобразователь – согласующее устройство – регистрирующий прибор».

**Ключевые слова:** параметры, схема измерительного оборудования, трансмиссия лесотранспортных и лесосечных автомобилей, структурная схема подключения оборудования.

УДК 62-791.2

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.03.14

## **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ**

**Власов Е.Н., Вишнев Д.В.**

### *Введение.*

Порядок и методы проектирования промышленных роботов (ПР) регламентируются комплексом нормативно-технических документов, которые включают ГОСТы [1] (по классификации, терминологии и обозначениям, основным параметрам, ряду грузоподъемности) и методические указания (по техническим требованиям, техническим условиям, методам испытаний и правилам приемки, по оценке экономической эффективности).

### *Цель работы.*

Целью работы является установление особенностей проектирования промышленных роботов.

### *Методы исследований.*

В работе проведен аналитический обзор методов проектирования промышленных роботов.

### *Результаты исследований.*

Особенности средств робототехники как объекта проектирования:

- при разработке технических требований к ПР и последующем анализе путей их реализации необходимо исследовать взаимодействие ПР с другим

работающим совместно с ним технологическим оборудованием и объектами манипулирования с целью выявления возможностей за счет достаточно несущественных их изменений заметно облегчить требования ПР и тем самым получить общую технико-экономическую выгоду для всей системы совместно работающих машин;

- наибольший технико-экономический эффект достигается, когда все оборудование проектируется вместе с ПР. Обычно это имеет место при проектировании ПР, исполняющих основные технологические операции;
- необходимо исследовать возможность создания так называемой околороботной оснастки и других средств упорядочения и упрощения внешней среды ПР;

Только после такого рассмотрения взаимодействия ПР с внешней средой и оптимизации технических требований к ПР и объектам этой среды следует переходить к проектированию собственно ПР.

ПР состоит из двух функциональных частей – исполнительного устройства (манипулятор и устройства передвижения) и устройств управления. Устройство управления распадается на аппаратную и программную части.

В соответствии с этим на первом этапе проектирования после составления функциональной схемы ПР должно быть произведено его разбиение на три указанных части, проектирование которых требует специалистов разного профиля. В основе решения этой задачи лежит разделения функций ПР и технических требований к нему между этими тремя его взаимосвязанными частями. Эта задача сложна, неоднозначна и наиболее ответственна в процессе проектирования ПР.

При распределении функций ПР между названными тремя его частями прежде всего выделяют функции, которые полностью или в основном определяются одной из его частей и соответственно приписываются им (например, грузоподъемность и вид рабочей зоны определяются схемой манипулятора ПР, параметры энергопитания и температурный диапазон внешней среды определяются в основном аппаратурой управления, язык программирования значим только для программного обеспечения).

Остальные функции ПР необходимо оптимально распределять между частями ПР на основании разных критериев. При этом необходимо учитывать наличие взаимовлияния между некоторыми функциями ПР, что усложняет задачу проектирования и может привести к тому, что локальное улучшение характеристик одной из частей ПР ухудшит эффективность ПР в целом. Например, взаимосвязь точности позиционирования и быстродействия не позволяет независимо распределять требования к каждому из этих параметров между частями ПР.

Общий порядок проектирования ПР:

1. Формулировка заказчиком исходных данных для разработки ПР, включающих назначение ПР, параметры объекта манипулирования (масса, размеры форма физико-химические свойства), технические требования к

перемещениям, скоростям, точности, к конструкции и комплектующим, условиям эксплуатации (температура, состав атмосферы, механические воздействия и другие воздействия), требования к надежности, ремонту, наладке и регулировке, квалификация обслуживающего персонала, требования техники безопасности, экономическую эффективность, требования к околороботной оснастке и совместно работающему оборудованию.

2. Разработка ТЗ.

3. Выбор аналогов.

4. Разработка календарного графика работы над проектом, например, в виде сетевого графика.

5. Разработка технического предложения.

После выполнения этого этапа должны быть определены следующие параметры ПР:

- грузоподъемность (в соответствии с гостированным рядом при некотором (обычно на 10%) превышении заданной массы объекта манипулирования);
- размеры рабочей зоны (в соответствии с рабочим местом ПР, совместно работающим оборудованием, оснасткой);
- число степеней подвижности (исходя из требуемых траекторий рабочего органа с учетом препятствий и требуемой точности);
- система координат  $\mathcal{R}^3$  в том числе с учетом обеспечения минимума числа степеней подвижности);
- кинематическая схема манипулятора (на основании предыдущих пунктов и выбранной геометрии звеньев манипулятора);
- скорость перемещения рабочего органа (исходя из требуемой производительности);
- погрешность позиционирования (в соответствии с требуемой точностью выполнения манипуляционных операций, с учетом точности устройств, подающих объекты манипулирования и другой оснастки);
- режимы работы приводов (исходя из вариаций массы объектов манипулирования, времени работы, типовых траекторий);
- выбор серийно изготавливаемых приводов и их размещение или формулировка технических требований к подлежащим разработке новым приводам;
- выбор серийного устройства управления или формулировка технических требований к подлежащему разработке новому устройству управления;
- выбор или проектирование рабочих органов (захватных устройств или рабочего инструмента);
- составление полной кинематической схемы манипулятора ПР (как результат выполнения предыдущих пунктов);
- статический расчет манипулятора;
- расчет погрешностей;
- динамический расчет манипулятора (усилия и деформации);
- синтез алгоритмов управления манипулятором;

- проектирование приводов (если нужно);
- проектирование устройства управления, включая аппаратную и программную части.

6. Разработка эскизного проекта.

7. Разработка технического и рабочего проектов.

В последних двух этапах повторяются пункты, перечисленные выше, но с их последовательным углублением и уточнением, в том числе с помощью математического и физического моделирования.

В случае подвижного ПР в приведенный выше перечень этапов проектирования включают соответствующие пункты по проектированию устройств передвижения ПР.

Проектирование ПР является системной задачей, которая должна решаться на основе технико-экономического анализа построения гибких производственных систем (ГПС) и модулей. При этом ПР проектируется как составной элемент ГПС (модуля) с учетом трех групп основных характеристик.

1. Функциональные характеристики.

Для манипулятора: число и вид степеней подвижности, форма и размеры рабочей зоны; грузоподъемность, диапазоны скоростей и ускорений, точность позиционирования, тип привода и др.

Для захватного устройства: тип захвата, возможные технологические усилия, адаптация к форме и массе объекта манипулирования и др.

Для системы управления: тип системы управления и датчиков обратной связи, объемы и типы памяти, способ программирования, число и вид каналов связи с технологическим оборудованием и другими устройствами управления и др.

2. Конструктивные характеристики.

Способ установки ПР и возможности его перемещения, диапазоны перемещений и взаимное расположение степеней подвижности манипулятора, габаритные размеры и масса и т.д.

2. Эксплуатационные характеристики.

Показатели надежности, постоянная готовность к работе в заданном интервале температур, вид источника энергии и потребляемая мощность, взрыво- и пожаробезопасность.

*Заключение.*

В техническом задании на проектирование ПР приводятся указанные выше требования и характеристики с необходимой детализацией. Кроме этого, при проектировании к ПР предъявляются и такие требования, как компактность и простота конструкции; низкая стоимость производства и эксплуатации; высокая гибкость программирования и сопряжения с технологическим оборудованием; удобство монтажа и т.п.



### Библиографический список

1. ГОСТ Р 60.3.0.2-2020. Роботы и робототехнические устройства. Роботы промышленные манипуляционные. Перемещение объектов с помощью захватного устройства зажимного типа. Термины, определения и представление характеристик. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 27 с.

### Сведения об авторах

**ФИО** Власов Е.Н  
**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** vlasov-en@mail.ru

**ФИО** Вишневу Д.В.  
**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** mr.davinson18@gmail.com

### Аннотация

Рассматриваются особенности средств робототехники как объекта проектирования, приводится общий порядок проектирования промышленных роботов.

**Ключевые слова:** промышленные роботы, техническое задание, проектирование, требования.

**УДК** 621.865

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 55.30.03

## О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

**Власов Е.Н., Давыденко С.В.**

### *Введение.*

Точность выхода объекта манипулирования, зажатоу в захватном устройстве (ЗУ), в заданную точку рабочего пространства может быть охарактеризовано шестью величинами: тремя линейными перемещениями, характеризующими изменение положения некоторой точки тела  $O'$  относительно наперед заданной точки  $O$ , принятой за полюс (вектор  $\vec{r}_0$

$=\{\delta x_0, y_0, z_0\}$ ) и тремя угловыми перемещениями около полюса – ошибками в ориентации тела (вектор  $\vec{\theta}_0 = \{\theta_{x_0}, \theta_{y_0}, \theta_{z_0}\}$ ). Эти шесть величин являются исходными данными для получения количественных характеристик точности.

*Цель работы.*

Целью работы является обзор методики определения погрешности позиционирования промышленных роботов.

*Методы исследований.*

Наиболее рациональным по простоте, точности и надежности определения ошибок позиционирования является метод оценки  $\vec{r}_0$  и  $\vec{\theta}_0$ .

Метод предлагает использование в качестве первичных преобразователей стандартные механические индикаторы малых перемещений, которые устанавливаются вблизи поверхности контрольного тела (рис.1), находящегося в точке позиционирования.

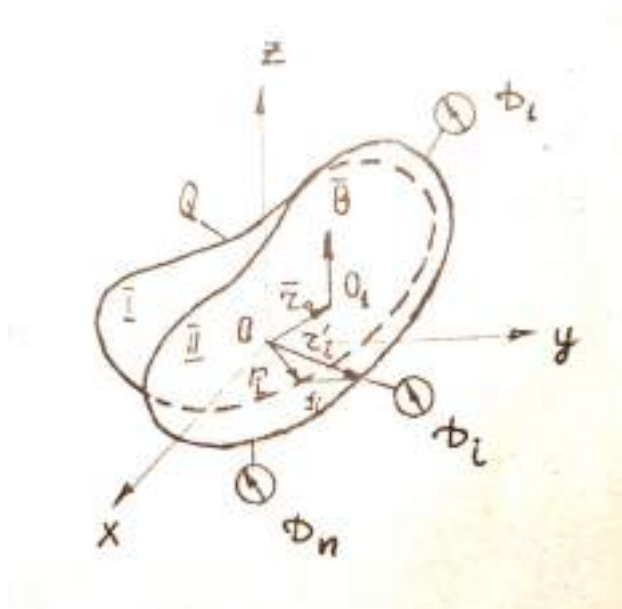


Рис. 1. Схема установки датчиков

Каждый из датчиков  $D_i$  измеряет расстояние  $d_i$  от номинальной точки расположения  $r_i$  датчика  $D_i$  до точки  $r_i'$  пересечения измерительной оси датчика (единичный вектор направления  $\vec{e}_i$ ) с поверхностью контрольного тела  $Q$  в новом положении  $II$ , помещенном относительно номинального  $I$  на  $\vec{r}_0$  и  $\vec{\theta}_0$ . Полученные таким образом перемещения позволяют определить неизвестные  $\vec{r}_0$  и  $\vec{\theta}_0$ .

*Результаты исследований.*

Для реализации указанного метода определения погрешностей позиционирования необходимо выбрать форму контрольного тела  $Q$ , число и взаимное расположение датчиков  $r_i$  и их ориентацию  $\vec{e}_i$  так, чтобы удовлетворить условия:

- совокупности измеряемых величин  $d_i$  должна обеспечивать определение всех шести неизвестных компонент погрешности позиционирования, для чего требуется не менее шести однокомпонентных датчиков;

- определение погрешности позиционирования по совокупности величин  $d_i$  должно быть однозначным и хорошо обусловленным. Это приводит к необходимости размещения датчиков в пространстве под различными углами к осям базовой системы координат.

Обработка результатов измерения тогда сводится к следующему.

Пусть даны уравнения поверхности контрольного тела в положении II

$$Q(\vec{r}_0 + R\vec{r}) = 0, \quad (1)$$

где  $\vec{r}_i$  - радиус-вектор в базовой системе координат; R – матрица косинусов углов поворота тела Q в базовой системе координат [1] и заданы уравнения осей датчиков:

$$(\vec{r} - \vec{r}_i) \times \vec{e}_i = 0, \quad (2)$$

где  $\vec{r}_i$  - радиус-вектор номинальной точки положения датчика, т.е. точки начала отсчета величины  $d_i$  по оси датчика. Выражения для компонент погрешности позиционирования через результаты измерений  $d_i$  находятся из очевидных уравнений

$$\vec{d}_i^2 = (\vec{r}_i - \vec{r}_i')(\vec{r}_i - \vec{r}_i'), \quad (3)$$

где  $\vec{r}_i'$  - одно из решений системы (1), (2).

Точка, заданная соотношениями  $Q(\vec{r}_0 + R\vec{r}) = 0$  и  $(\vec{r} - \vec{r}_i) \times \vec{e}_i = 0$ , является конечной точкой отрезка длиной  $d_i$ , отложенного от начальной точки  $\vec{r}_i$  по оси датчика.

Радиус-вектор  $\vec{r}$  является функцией  $\vec{r}_0$  и  $\vec{\theta}_0$ , а также зависит от  $\vec{r}_i$  и  $\vec{e}_i$  как от параметров.

Поскольку искомые компоненты погрешности позиционирования определяются в результате решения алгебраических уравнений выбор формы контрольного тела и расстановку измерительных преобразователей выгодно выполнить так, чтобы структура получаемых уравнений была возможно проще. Кроме того, определенные преимущества может дать увеличение числа измерительных преобразователей, число уравнений относительно шести искомых величин в этом случае будет больше шести.

Имеет смысл использовать контрольное тело в виде двух четырехгранных пирамид и измерительную головку, с восемью индикаторами перемещения, ориентированными ортогонально граням пирамид (рис.2).

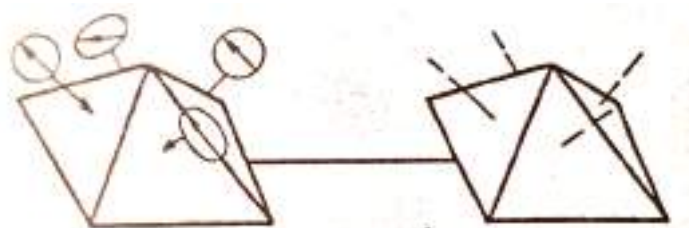


Рис. 2. Вид контрольного тела

### *Заключение.*

В работе рассмотрена методика определения погрешности позиционирования промышленных роботов и обработки результатов измерений.

### **Библиографический список**

1. Бурдаков С.Ф. Элементы теории роботов. Механика и управление: учебное пособие. – Ленинград: ЛПИ, 1985. – 88 с.

### **Сведения об авторах**

**ФИО** Власов Е.Н  
**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** vlasov-en@mail.ru

**ФИО** Давыденко С.В.  
**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** sdavydenkooo@gmail.com

### **Аннотация**

В работе рассмотрен один из возможных методов определения ошибок позиционирования промышленных роботов, основанный на линейных измерениях контрольных тел типа пирамида.

**Ключевые слова:** погрешность позиционирования, промышленные роботы, измерительные преобразователи.

**УДК** 621.865

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 55.30.03

## **О СИСТЕМАХ ВИЗУАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ МАНИПУЛИРОВАНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ**

**Власов Е.Н., Демиденко В.А.**

### *Введение.*

Важнейшей задачей дистанционного управления манипулятором (М) является задача представления зоны манипулирования и объекта манипулирования (ОМ) в трехмерном пространстве.

### *Цель работы.*

Целью работы является обзор методов визуального определения положения объектов манипулирования в робототехнике.

### *Методы исследований.*

В работе проведен аналитический обзор систем и методов отображения информации при определении положения объектов манипулирования в робототехнике.

### *Результаты исследований.*

Существующие системы трехмерного представления информации можно разделить на три группы.

К первой группе относятся системы с объемными индикаторами в которых создается иллюзия объемного представления информации в реальном трехмерном пространстве. Ко второй группе относятся системы, в которых представление информации осуществляется на плоском экране, а эффект объемности достигается за счет использования принципов перспективы и изометрии. Такие системы не могут быть эффективно использованы для воспроизведения изображения сложных трехмерных объектов, имеющих много градация яркости, и используются в основном для представления в пространстве положений движущихся объектов. Изображение объектов значительно отличаются от обычных изображений и затрудняют работу оператора манипулятора. К третьей группе относятся системы, в структуру которых введены вычислительные блоки, позволяющие формировать объемные изображения по проекциям.

При дистанционном управлении М наиболее приемлемы системы первой группы, и в частности, стереоскопические методы представления и обработки информации, как наиболее проработанные в теоретическом и аппаратном отношении.

Растровые и интегральные системы позволяют воспринимать пространственные изображения без очков или каких-либо индивидуальных зрительных приспособлений. В качестве зрительного приспособления используется растр, т.е. решетка, действующая как оптический obturator. При использовании растровых систем объект виден лишь в ракурсе. Пространственный обзор оказывается несовершенным. При естественном рассмотрении объектов оператор всегда совершает какие-либо движения головой и при этом видит объект с различных точек зрения. Эта проблема может быть частично решена с использованием оптических растров (например, из ряда тонких и длинных цилиндров), но при этом зона объемного восприятия крайне ограничена.

Голографические системы дают максимально наглядное представление об объекте, имеют высокую защищенность информации (даже часть голограммы позволяет восстановить всю информацию об объекте), однако аппаратная реализация находится пока на недостаточном уровне.

Системы с подвижными экранами основаны на том, что периодически изменяющиеся двухмерные изображения колеблются в пространстве с

частотой выше критической частоты мельканий, разрешаемых глазом человека.

Для этих систем характерна низкая разрешающая способность и малая глубина объемного изображения.

Многослойные системы трехмерного представления информации позволяют отобразить пространственную ситуацию в виде ряда изображений, представляющих собой плоские дискретные сечения отображаемого явления. В общем виде рассматриваемый метод основан на том, что информация воспроизводится несколькими пространственными зонами, расположенными в глубине уступами [1].

В системах с объемным носителем характерной особенностью является использование носителей информации, имеющих различную физическую основу (газ, жидкость, дискретные носители). Основное применение многослойных систем и систем с объемным носителем – отображение подвижных объектов или их траекторий.

Таким образом, по нашему мнению, для оснащения дистанционных М наиболее целесообразно использовать стереоскопические методы представления информации.

Для поставленной задачи наиболее приемлемы стереотелевизионные системы и стереосистемы управления движения объекта в трехмерном пространстве. Эти системы, кроме большей наглядности, позволяют измерять глубину точек осматриваемой сцены. Для этого необходимо обеспечивать соответствие между точками на паре изображений, отвечающими одной и той же точке сцены. Характерные признаки-уголки, явно отличающиеся от основного изображения, небольшие фрагменты и изолированные точки. Если использовать две идентичные камеры с параллельными оптическими осями, можно производить поиск взаимно соответствующих точек стереопар не по всей плоскости изображения, а только вдоль эпиполярных линий, параллельных друг другу на обоих изображениях.

Если база стереосистемы мала, то для получения достаточной точности измерения глубины необходима очень высокая точность согласования стереоточек, если же база велика, то расширяются «запретные зоны», вызываемые параллаксом, и степень сходства выбранных признаков ухудшается. Другими источниками погрешностей являются ограниченная разрешающая способность камер, не идентичность их фокусировки и ориентации, наличие вибрации и т.п.

Все это ограничивает применяемость метода эпиполярных линий. Точность имеющихся стереосистем вполне достаточна для целей навигации мобильных М и распознавания препятствий. Применение подобных систем для сборки требует серьезной проработки. В этом случае целесообразно сочетание пары телекамер с лазерными дальномерами [2].

*Заключение.*

Таким образом, наиболее перспективно использование для управления М трехмерных телевизионных систем и стереоскопических методов

отображения информации. Такие системы могут быть реализованы как на основе чисто стереоскопических методов, так и в комплексном исполнении с введением элементов растровой техники и голографии.

В некоторых вариантах управления М может оказаться рациональным использование средств голографического представления трехмерной информации в абстрактно-символическом изображении. При таком методе с помощью голограммы, синтезированной ЭВМ в реальном масштабе времени, формируется трехмерное информационное пространство заполненное абстрактными поверхностями, взаимное расположение которых и их линий пересечения дают оператору наглядное представление о том, каким образом он должен управлять М, чтобы осуществлять оптимальные действия в рабочей зоне М.

#### **Библиографический список**

1. Kiemle H. Verfahren zur Ubertragung von Raumbilder. Патент ФРГ № 1762406, 1972.
2. Haass U.L. Visual feedback for robots – problems and progress // Ist IFAC Symposium on Robot Control (CIROCO – 85). – Barcelona, Spain, nov. 6-8, 1985. DOI: 10.1016/S1474-6670(17)60009-0.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Власов Е.Н
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес</b>	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	vlasov-en@mail.ru
<b>ФИО</b>	Демиденко В.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес</b>	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
<b>Организации</b>	
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	zombieeatmybrain@yandex.ru

#### **Аннотация**

Рассматриваются три группы систем трехмерного представления информации зоны манипулирования и объекта манипулирования (ОМ) дистанционного манипулятора. Делается вывод о наиболее перспективном использовании для управления манипулятором трехмерных телевизионных систем и стереоскопических методов отображения информации.

**Ключевые слова:** дистанционный манипулятор, стереоскопические методы представления и обработки информации, растр, голограмма, эпиллярные линии.

УДК 621.865

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.30.03

## **РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Вшивцев П.А., Кретинин В.И., Теппоев А.В.**

### *Введение.*

Качество выпускаемой продукции предприятием один из наиболее важных аспектов, показывающих конкурентоспособность, эффективность и дающий уверенность потребителю. На сегодняшний день, самый главный критерий современного предприятия – наличие системы менеджмента качества. Сегодня, крупные и средние предприятия уже имеют налаженную систему менеджмента качества. В данной статье, будет описана система, которая сможет улучшить обеспечение качества выпускаемой продукции предприятием используя автоматизированную систему отслеживания состояния средств измерений после периодической поверки/калибровки и продукции, контролируемой ими.

### *Цели и задачи исследования.*

При получении сведений о непригодных средствах измерений, необходимо изъять данные средства измерений из работы, и провести повторный контроль выпущенных деталей, которые контролировались непригодными средствами измерений.

### *Методы исследования.*

Применяемость данной системы ограничена некоторыми факторами. Самым важным фактором корректной работы системы является время нахождения средств измерений на поверке/калибровке. Если время нахождения средств измерений на поверке/калибровке более месяца, то продукция, которая контролировалась, например, за месяц до забраковки средства измерения при поточном производстве продукции, уже поставлена поставщику, что в свою очередь лишает смысла использовать данную систему. Напротив, на предприятиях единичного производства и серийного производства данная система раскрывается в полную мощность.

Для корректной работы автоматизированной системы необходимо наличие обновляемой базы данных средств измерений, выпускаемой продукции и людей, работающих и контролирующих метрологические характеристики выпускаемой продукции на предприятии. Так же, для эффективной работы автоматизированной системы необходимо



взаимодействие между метрологическим, производственным отделом и отделом технического контроля предприятия.

*Результаты исследований.*

Работа автоматизированной системы заключается в обработке поступающих данных от отделов предприятия и формирование отчетов, для принятия решений специальной комиссией, либо отделами.

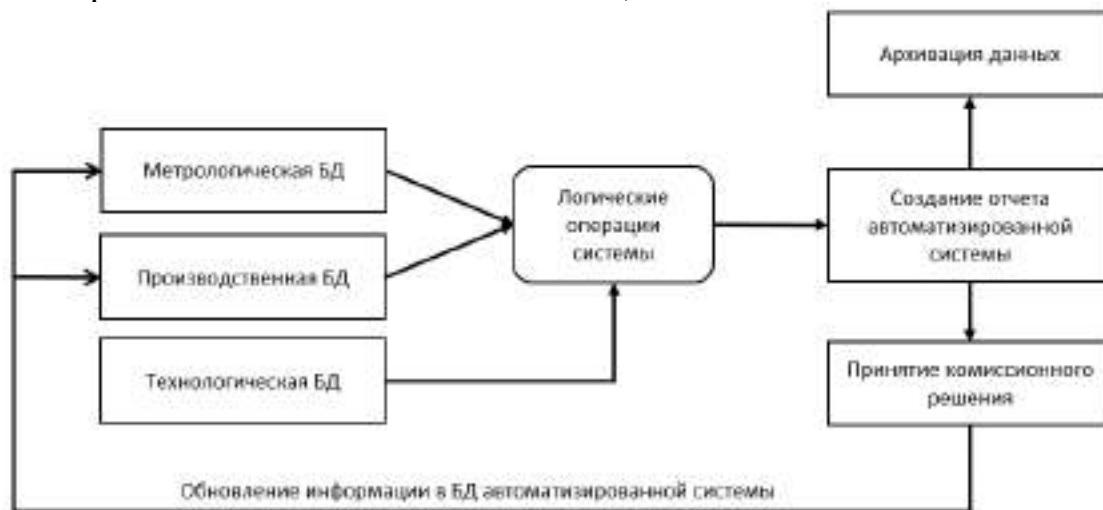


Рис. 1. Схема автоматизированной системы

Первым этапом создания автоматизированной системы отслеживания качества продукции идет создание и подготовка базы данных (далее БД) всех средств измерений предприятия участвующих в контроле метрологических характеристик выпускаемой продукции. В метрологической БД необходимо наличие следующих данных на каждое средство измерения:

1. уникальный номер (внутренний) средства измерения;
2. тип средства измерения;
3. заводской номер средства измерения;
4. дата предыдущей поверки/калибровки;
5. результат поверки/калибровки;
6. результат пригодности средства измерения;
7. табельный номер работника, за кем закреплено средство измерения.

Для обеспечения эффективной работы, отдел главного метролога актуализирует и следит за метрологической БД. При получении результатов поверки/калибровки средств измерений информация вносится в базу данных, и далее, автоматизированная система обрабатывает полученную информацию. При отсутствии на предприятии отдела главного метролога, имеется возможность использовать информацию из федеральной государственной информационной системы Росстандарта.

Следующей по важности в автоматизированной системе идет производственная БД. Производственным отделом идет постоянный сбор и последующее занесение в БД информации о производимой продукции. В производственной БД необходимо наличие следующих данных на каждую деталь:

1. инвентарный/заводской номер выпущенной детали (сборной детали);
2. тип детали;
3. дата выпуска детали;
4. табельный номер работника, проводившего контроль метрологических характеристик детали.

При наличии возможности собрать информацию от технологического отдела по применению средств измерений при производстве и последующем контроле каждой детали имеет смысл создание технологической БД. В технологической БД необходимо наличие данных о типе детали, контролируемых размерах и средствах измерений.

Последним этапом цикла работы автоматизированной системы идет сопоставление данных с трех БД посредством логических операций. После получения информации от метрологической и производственной БД автоматизированная система ищет детали, контроль которых выполнялся непригодными средствами измерения.

На основе полученных данных от производственного отдела, автоматизированная система сопоставляет БД производственного и метрологического отдела и на основе логических функций выявляет детали, которые контролировались непригодными средствами измерений при производстве. При наличии в автоматизированной системе технологической БД, где указаны используемые в технологическом процессе средства измерения, помимо типа детали и заводского номера выдается информация о необходимом для повторной проверки параметра детали. После, выдается оповещение производственному отделу и отделу технического контроля предприятия о выявлении непригодного средства измерения со списком деталей, контролируемых данным средством измерения за определенный период.

При получении оповещения производственный отдел и отдел технического контроля предприятия собирает комиссию, для поиска и проведения повторного метрологического контроля выявленных деталей, либо допуска деталей. После решения комиссии в систему вносятся корректировки в виде допуска/изъятия деталей.

Допустим, на предприятии «А» реализована представленная в статье автоматизированная система под названием «АСПКП» (автоматизированная система повышения качества продукции) без технологической БД. На предприятии поверка/калибровка средств измерений при окончании срока метрологического обеспечения осуществляется за 15 дней. После прохождения метрологического обеспечения данные о средстве измерения вносятся в автоматизированную систему метролога. Два раза в день система «АСПКП» выполняет синхронизацию данных о метрологическом обеспечении средств измерений. Ниже представлена метрологическая БД (рис. 2).

ID СИ	Тип СИ	Зав. номер	Дата поверки	Результат поверки	Состояние СИ	Таб. номер работника
2765	ШЦ-I-150-0,05	5632	20.03.2023	Номер свидетель ства поверки	Годен	16647
5683	Дальномер Bosch glm-40	7357	24.02.2023		Годен	01874
2457	Рулетка 5 м	324687	28.01.2023		Годен	21358
8532	ШЦ-I-150-0,1	243682	05.07.2022		На поверке	10569
2467	Лазерный трекер Faro Vantage	824578	27.01.2023		Брак	05687
1638	Линейка металлическая 500 мм	5432	28.01.2023		Годен	01675

Рис. 2. Метрологическая БД

После выполнения синхронизации данных баз данных система «АСПКП» проверяет столбец «Состояние СИ». При выявлении состояния «Брак» выполняется мгновенный запрос к производственной БД, представленной на рис. 3.

Инв. номер детали	Тип детали	дата выпуска	Таб. номер работника
001678734	E21315	20.01.2023	01874
003456226	E21315	20.01.2023	01875
987682734	E21315	20.01.2023	01876
453252554	E21315	20.01.2023	21358
325424868	1855	20.01.2023	05687
867322768	1855	20.01.2023	05687
228945466	1855	20.01.2023	01675
677272567	1855	20.01.2023	01676
822646567	87959	20.01.2023	01677
256909556	87959	20.01.2023	10569
345378783	1467	20.01.2023	05687
254789357	1273	20.01.2023	10571

Рис. 3. Производственная БД

После запроса к базам данных, система «АСПКП» формирует мгновенное сообщение посредством внутренней электронной почты предприятия о выявлении деталей, которые контролировались непригодными к применению средствами измерений. Пример оповещения (отчета работы системы) представлен ниже на рис. 4.

Система "АСПКП" выявила несоответствие продукции.				
Инв. номер детали	Тип детали	дата выпуска	Тип непригодного к применению СИ	Зав. номер непригодного к применению СИ
325424868	1855	20.01.2023	Лазерный трекер Faro Vantage	824578
867322768	1855	20.01.2023	Лазерный трекер Faro Vantage	824578
345378783	1467	20.01.2023	Лазерный трекер Faro Vantage	824578

Рис. 4. Оповещение системы «АСПКП»

Система формирует отчет за несколько периодов (1 месяц, 3 месяца, 6 месяцев), настраиваемых при разработке данной системы. При получении

оповещения, собирается комиссия предприятия для принятия решения по допуску/возврате несоответствующей продукции.

В данном примере, реализована система без технологической базы данных, что в свою очередь ведет к дополнительной работе, прodelываемой комиссией для выявления несоответствующих параметров. При наличии технологической ДБ, представленной на рис. 5 имеется возможность фильтрации информации о несоответствующей продукции. После получения информации от метрологической БД и производственной БД система «АСПКП» делает запрос к технологической БД и вносит корректировки в отчет работы системы.

Тип детали	Применяемые СИ	Контролируемые параметры
1855	ШЦ-I-150-0,1	10 мм; 15 мм; 129 мм
1855	Линейка металлическая 500 мм	420 мм; 190 мм
1467	ШЦ-I-150-0,05	10 мм; 79 мм
1467	Лазерный трекер Faro Vantage	1057 мм; 10780 мм

Рис. 5. Технологическая БД

Пример оповещения при наличии в системе «АСПКП» технологической БД представлен на рис. 6

Система "АСПКП" выявила несоответствие продукции.					
Инв. номер детали	Тип детали	дата выпуска	Тип непригодного к применению СИ	Зав. номер непригодного к применению СИ	Контролируемые параметры
345378783	1467	20.01.2023	Лазерный трекер Faro Vantage	824578	1057 мм; 10780 мм

Рис. 6. Оповещение системы «АСПКП» с технологической БД

Из-за того, что один сотрудник проверяет несколько деталей, без технологической БД, отчет на рис. 4 имеет много выявленных деталей. А при добавлении в систему «АСПКП» технологической БД, происходит фильтрация именно по забракованному средству измерения, что уменьшает отчет, делая его более эффективным при принятии комиссией решения о допуске/изъятию выявленной детали. После комиссионного принятия решения, отправляются корректирующие данные в систему «АСПКП».

#### *Заключение.*

Рассматриваемая автоматизированная система «АСПКП» позволяет повысить качество продукции поставляемой производством. На предприятиях с функционирующей системой менеджмента качества данная система сможет не только положительно сказаться на качестве выпускаемой продукции, но и даст уверенность перед потребителями выпускаемой продукции. Самый главный минус автоматизированной системы состоит в сроках поверки/калибровки, и напротив, самым главным плюсом является выявление несоответствующей продукции, с возможным браком из-за применения непригодных средств измерений.

### Библиографический список

1. Гвоздев В.Д. Прикладная метрология: метрологическое обеспечение: учебное пособие. – Москва: МИИТ, 2018. – 72 с.
2. Федеральный закон N 102-ФЗ от 26.06.2008 г. «Об обеспечении единства измерений».
3. Постнов В.В. Уровень качества выпускаемой продукции предприятия и его конкурентоспособность / В. В. Постнов, А. С. Селиверстов, Д. Е. Митрофанов, Д. Ю. Уткин // Молодой ученый, 2017. – № 43 (177). – С. 166-168.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Вшивцев П.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	pvshivtsev@tvsz.ru
<b>ФИО</b>	Кретинин В.И.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	4424-8046
<b>e-mail</b>	KVI-1960@mail.ru
<b>ФИО</b>	Теппоев А.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	4451-4059
<b>e-mail</b>	avt01@inbox.ru

### Аннотация

В данной статье рассматриваются новый подход к разработке автоматизированной системы отслеживания состояния средств измерений после периодической поверки/калибровки и продукции, контролируемой ими.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, контроль качества продукции.

**УДК** 658.56

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 50.43.17

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ВКЛАДЫША КОРЕННОГО ПОДШИПНИКА ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-238НД5 НА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Дурманов М.Я., Вяткова В.А., Васильев Л.А., Никонов В.С.

## *Введение.*

В рядовых условиях функционирования базового лесного трактора преобладают неустановившиеся нагрузочные и скоростные режимы [1], создаваемые изменениями величины цикловой подачи топлива в двигатель, колебаниями нагрузки на ведущих колесах и в силовой передаче. При этом тепловой и смазочный режимы пар трения в двигателе, в большинстве случаев, не соответствуют быстро изменяющимся нагрузочному и скоростному режимам [2]. Указанные факторы влияют на скорость изнашивания пар трения элементов цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и определяют ресурсные показатели дизеля [3].

## *Цель работы.*

Исследовать влияние конструктивных и эксплуатационных параметров на величину износа и ресурсные показатели пар трения элементов КШМ сельскохозяйственного колесного трактора К-744Р-05, энергетический модуль которого возможно использовать для создания колёсных валочно-пакетирующих машин (ВПМ), скиддеров и погрузчиков.

## *Методы исследования.*

Для решения поставленной задачи разработана модель скорости изнашивания вкладыша коренного подшипника дизеля ЯМЗ-238НД5 колесного трактора К-744Р-05 на тяжелых режимах функционирования. Результаты моделирования позволят оценить ресурсные показатели элементов КШМ дизеля и возможность его использования на лесосечных машинах.

## *Результаты исследования.*

Скорость изнашивания по каждой компоненте от динамических нагрузок (рис. 1) в спектре частот  $0...20 \text{ с}^{-1}$ , а также динамические составляющие для различных значений  $c_1=1500$  и  $900 \text{ кН/м}$  определяются выражениями [1]:

1 – от сопротивления на подъеме с плугом

$$U_{v1}^n(\omega) = \frac{3RM_H^a E_3 D_3 A_1^n}{2i_T \eta_M \omega_{ch} D_1 \sqrt{\frac{D_3}{D_1} \cdot \frac{R}{i_T \eta_M}}} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} \frac{\omega |U_{11}^2(j\omega)|}{\sqrt{A_1^n \cdot |U_{11}(j\omega)|}} d\omega; \quad (1)$$

2 – от динамики сопротивления плуга (подрезания и отброса пласта)

$$U_{v2}^{\Pi}(\omega) = \frac{RM_H^a E_3 D_3}{2i_T \eta_M \omega_{\text{сн}} D_1 \sqrt{\frac{D_3}{D_1} \cdot \frac{R}{i_T \eta_M}}} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} \frac{|U_{11}(j\omega)|^2 \cdot [3A_2 + 5A_3 \cdot |U_{11}(j\omega)|^2]}{\sqrt{A_2 |U_{11}(j\omega)| + A_3 \cdot |U_{11}(j\omega)|^3}} d\omega; \quad (2)$$

3 – от колебаний подвеса трактора в продольно-вертикальной плоскости

$$U_{v3}^{\Pi}(\omega) = \frac{2R \cdot M_H^a \cdot E_3 D_3 f_{\text{тк}}}{i_T \eta_M \omega_{\text{сн}} D_1 \sqrt{\frac{D_3}{D_1} f_{\text{тк}} \frac{R}{i_T \eta_M}}} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} \frac{\omega \cdot |U_{11}(j\omega)|^2 \cdot |\Theta_B^{\Pi}(j\omega)|}{\sqrt{|U_{11}(j\omega)| \cdot |\Theta_B^{\Pi}(j\omega)|}} d\omega; \quad (3)$$

4 – от инерционных сил трактора

$$U_{v4}^{\Pi}(\omega) = \frac{2R \cdot M_H^a E_3 D_3 A_4}{i_T \eta_M \omega_{\text{сн}} D_1 \sqrt{\frac{D_3}{D_1} \cdot \frac{R}{i_T \eta_M}} A_4} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} \frac{\omega^2 \cdot |U_{11}(j\omega)|^2}{\sqrt{\omega}} d\omega; \quad (4)$$

5 – от механических потерь в парах трения двигателя

$$U_{v5}^{\Pi}(\omega) = \frac{M_H^a E_3 D_3}{2\omega_{\text{сн}}} \times \int_{\omega=0}^{\omega=20} \frac{|U_{11}(j\omega)|^2 \cdot \left[ \frac{a_1}{P_{\text{зм}}} \sqrt{\frac{16\omega^2 + \gamma^2}{\omega^2 + \gamma^2}} \cdot |G_{61}(j\omega)| + 4b_1 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)| \right]}{\sqrt{D_3 \cdot |U_{11}(j\omega)| \cdot \left[ \frac{a_1}{P_{\text{зм}}} \cdot \frac{|G_{61}(j\omega)|}{\sqrt{(\omega^2 + \gamma^2)}} + b_1 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)| \right]}} d\omega; \quad (5)$$

– суммарная скорость изнашивания пар трения от динамических нагрузок в зависимости от жесткости  $c_1$

$$U_v^{\Pi}(\omega) = \frac{M_H^a}{\omega_{\text{сн}}} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} |G_{51}^{\Pi}(j\omega)| d\omega, \quad (6)$$

где  $G_{51}^{\Pi}(j\omega)$  – передаточная функция скорости объемного изнашивания пар трения энергосиловой установки в пахотном режиме [1].

Величина  $D_3$  для вкладыша коренного подшипника определяется по формуле:

$$D_3 = f_{\text{тр}} S_{\text{тр}}^2 \frac{\mu_{\text{д}}}{h_{\text{кр}}} \left( \frac{\pi d_{\text{п}}}{60} \right)^3. \quad (7)$$

Исходные данные и вид передаточных функций в выражениях (1)-(6) приведены в работе [1]. Скорость объемного изнашивания пары трения «шейка коленчатого вала – вкладыш коренного подшипника» вычисляется подстановкой в (1)-(7) следующих исходных данных:  $r_{\text{кр}} = 0,07$  м;  $d_{\text{п}} = 0,11$  м;

$a_1=0,45$ ;  $b_1=0,97 \cdot 10^{-3}$ ;  $P_{\text{мн}}=0,6$  МПа;  $k_i=0,2$ ;  $f_{\text{тр}}=0,003$ ;  $\mu_{\text{д}}=1,8 \cdot 10^{-3}$  Н·с/м<sup>2</sup>;  $h_{\text{м}}^{\text{кр}}=0,13$  мкм;  $I=5,0 \cdot 10^{-7}$ ;  $\sigma_{\text{т}}=32$  МПа.

*Примечание.* Все представленные выше аналитические выражения даны для расчета скорости объемного изнашивания  $U_v(\omega)$  пар трения. Но поскольку на практике принято линейное измерение износа, поэтому на рис. 1 результаты расчетов скорости изнашивания представлены в линейном измерении  $U(\omega)$ , с учетом пути трения  $S_{\text{тр}}$ :  $U(\omega) = U_v(\omega) / S_{\text{тр}}$ .

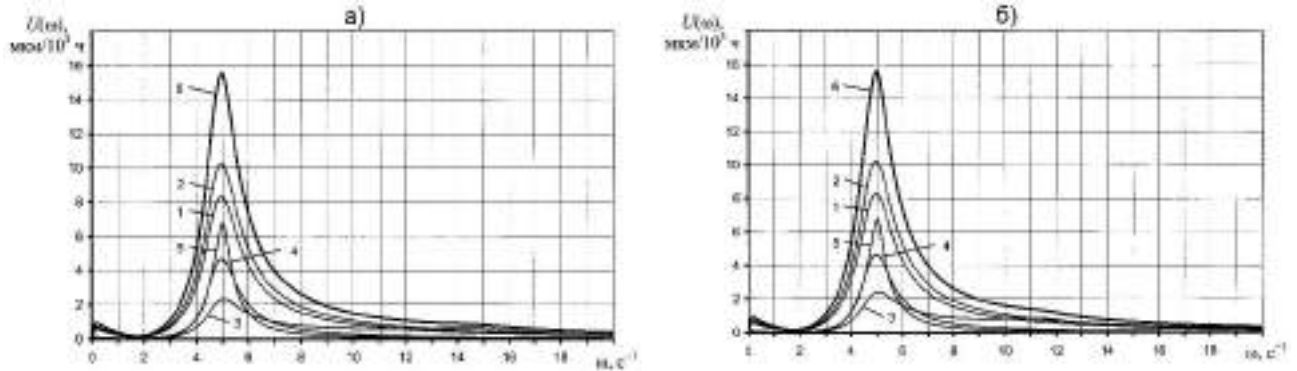


Рис. 1. ЧХ скорости изнашивания вкладыша коренного подшипника двигателя ЯМЗ-238НД5 на тяжелых режимах функционирования по компонентам при жесткости подвеса  $c_1=1500$  кН/м (а) и  $c_1=900$  кН/м (б) при скорости движения  $v_0=2,01$  м/с:

- 1 – сопротивление движению на подъеме; 2 – подрезание и отброс пласта плугом;
- 3 – колебания трактора в продольно-вертикальной плоскости;
- 4 – инерционные силы; 5 – механические потери в парах трения двигателя;
- 6 – суммарная динамическая составляющая скорости изнашивания

Фактическая скорость изнашивания в паре трения «коленчатый вал – вкладыш коренного подшипника», при штатной комплектации трактора, составляет  $13,31$  мкм/10<sup>3</sup> ч при жесткости подвеса  $c_1=1500$  кН/м и  $13,27$  мкм/10<sup>3</sup> ч при  $c_1=900$  кН/м.

Для дизельного двигателя ЯМЗ-238НД5 выявлена резонансная частота  $\omega_c = 5,0$  с<sup>-1</sup>, сопровождаемая повышенными энергозатратами и скоростью изнашивания пар трения элементов КШМ.

Повышенная скорость изнашивания тракторных двигателей при колебаниях нагрузочного и скоростного режимов объясняется рядом причин. В подшипниках скольжения устойчивость гидродинамического режима смазки зависит от количества масла, прокачиваемого через подшипник, то есть от давления масла в ГММ. В интервале собственной (резонансной) частоты двигателя амплитуды колебаний частоты вращения и давления масла в ГММ максимальны. При этом приращение давления масла в ГММ отстает по фазе от приращения момента нагрузки на 180°. Отсюда, максимальной амплитуде момента нагрузки соответствует минимальное давление масла, и наоборот [1]. Это приводит к нарушению гидродинамического режима смазки, разрыву масляной пленки и появлению очагов схватывания между

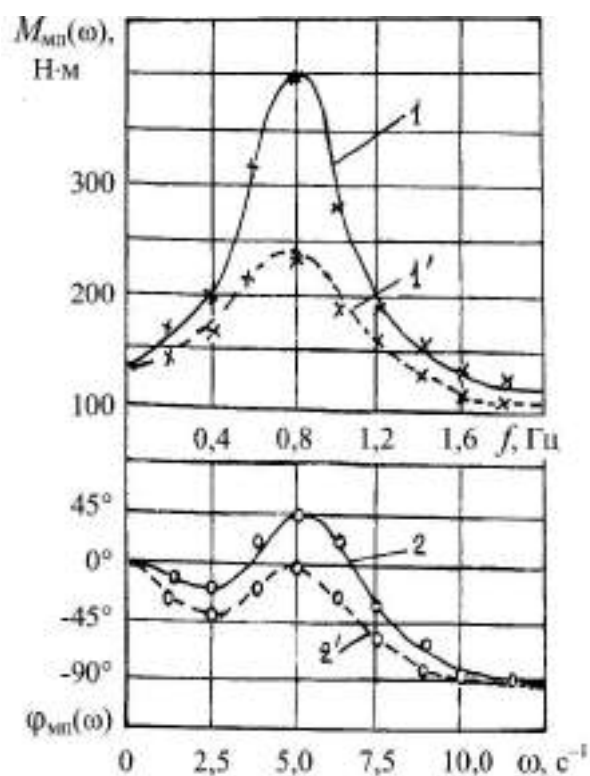


валом и вкладышем (рис. 2, а) и, как следствие, – к увеличению температуры трения и масла на выходе из подшипника, снижению вязкости масла и грузоподъемности подшипника. По данным исследований [3] температура трения увеличивается от 350 °С до критической, при этом происходит резкое снижение твердости в поверхностных слоях вкладышей и закаленных шеек вала из-за явлений возврата и рекристаллизации.

Очевидно, что колебательный характер перечисленных показателей влияет на величину сил трения. Между трением и колебаниями существует тесная взаимосвязь. Трение порождает колебания, а колебания влияют на величину сил трения [4]. Объясняется это тем, что скользящее тело (например, поршень или шейка коленчатого вала) покоится на системе упругодеформируемых микровыступов, которые несут на себе нормальную нагрузку. При перемещении скользящего тела возникают нормальные, тангенциальные продольные и поперечные колебания, которые не могут происходить независимо. При возникновении одного из них, возникают и другие. Эти колебания *нелинейны* и *асимметричны*, так как в процессе опускания скользящего тела в соприкосновение вступают все новые, более мелкие выступы и контактная жесткость непостоянна. При опускании скользящего тела она растет, а при поднятии уменьшается [5].



а



б

Рис. 2. Вкладыш дизеля со следами адгезионного изнашивания из-за локальных разрывов масляной пленки в паре трения (а); амплитудно-частотные (1) и фазо-частотные (2) характеристики момента механических потерь  $M_{mn}(\omega)$  дизеля ЯМЗ-238НД5 (б) [1]

Экспериментально установлено [6], что в процессе движения скользящего тела его микровыступы испытывают микроимпульсы со стороны упругих микровыступов контртела. Несмотря на беспорядочность микроимпульсов, в совокупности они поддерживают непрерывные квазипериодические, нормально направленные колебания. При неустановившемся нагрузочном, скоростном или смазочном режимах в парах трения возникает автоколебательный процесс. Об этом свидетельствуют экспериментально полученные частотные характеристики момента механических потерь  $M_{\text{мп}}(\omega)$  дизеля ЯМЗ-238НД5 (рис. 2, б) с собственной (резонансной) частотой  $\omega_c$ , равной  $5,0 \text{ с}^{-1}$  (0,8 Гц) для 8-цилиндрового двигателя [1].

#### *Заключение.*

Таким образом, собственным частотам механических потерь в парах трения, как источника автоколебательного процесса в двигателе, сопутствуют собственные частоты: регулятора скорости; давления топлива на впрыске; изгибно-крутильные колебания кулачкового вала топливного насоса высокого давления; фазовое запаздывание приращения давления масла в ГММ, являясь причиной повышенной скорости изнашивания пар трения при динамических режимах функционирования.

#### **Библиографический список**

1. Антипин В.П Дурманов М.Я., Каршев Г.В. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2017. – 484 с.
2. Григорьев М. А., Пономарев Н. И. Износ и долговечность автомобильных двигателей. – Ленинград: Колос, 1979. – 223 с.
3. Мишин И. А. Долговечность двигателей. – Ленинград: Машиностроение, 1976. – 228 с.
4. Ника А. Тепловые характеристики и трение в радиальных подшипниках. // Проблемы трения и смазки. – М.: Мир, 1970. – №3. – С. 12-20.
5. Кудинов В. А. Природа автоколебаний при трении. // Исследование колебаний металлорежущих станков при резании металлов: сборник трудов. – Москва: Машгиз, 1958. – С. 251-273.
6. Толстой Д. М., Борисова Г. А., Григорьева С. Р. Роль собственных контактных колебаний нормального направления при трении // О природе трения твердых тел: сборник трудов. – Минск: Техника, 1971. – 116 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Дурманов М.Я.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	3809-9956
<b>e-mail</b>	Durmanov130266@rambler.ru

**ФИО** Вяткова В.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** Отсутствует  
**e-mail** pslm218@yandex.ru

**ФИО** Васильев Л.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** Отсутствует  
**e-mail** pslm218@yandex.ru

**ФИО** Никонов В.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** Отсутствует  
**e-mail** pslm218@yandex.ru

#### **Аннотация**

В работе исследуется влияние параметров базового колесного трактора К-744Р-05, оснащенного дизелем ЯМЗ-238НД5, на скорость изнашивания пары трения «шейка коленчатого вала - вкладыш коренного подшипника», определяющей ресурсные показатели элементов КШМ дизеля. Удовлетворительные ресурсные показатели позволят рекомендовать дизель ЯМЗ-238НД5 для использования на колесных лесосечных машинах, характеризующихся высокой энергонасыщенностью, загрузкой дизеля по мощности и неустановившимися режимами функционирования.

**Ключевые слова:** скорость изнашивания, вкладыш коренного подшипника, дизель, жесткость подвеса, частотные характеристики.

**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

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ КОМПРЕССИОННОГО КОЛЬЦА ДИЗЕЛЯ ЯМЗ-238НД5 НА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Дурманов М.Я., Спиридонов С.В., Васильев Л.А., Вяткова В.А.,  
Никонов В.С.

## *Введение.*

Известно [1,2], что ресурс автотракторных двигателей в рядовых условиях функционирования меньше гарантированного заводом-изготовителем. Такая закономерность объясняется тем, что, согласно ГОСТ 18509-88, заводские ресурсные испытания выполняются при установившихся нагрузочных и скоростных режимах. В рядовых условиях функционирования базового трактора преобладают неустановившиеся нагрузочные и скоростные режимы [3], создаваемые изменениями величины цикловой подачи топлива в двигатель, колебаниями нагрузки на ведущих колесах и в силовой передаче. При этом тепловой и смазочный режимы пар трения в двигателе, в большинстве случаев, не соответствуют быстро изменяющимся нагрузочному и скоростному режимам [4].

## *Цель работы.*

Исследовать влияние конструктивных и эксплуатационных параметров на величину износа и ресурсные показатели пар трения элементов цилиндропоршневой группы (ЦПГ) сельскохозяйственного колесного трактора К-744Р-05, энергетический модуль (передняя полурама, мост, кабина и моторный отсек с дизелем ЯМЗ-238НД5) которого возможно использовать для создания колёсных валочно-пакетирующих машин (ВПМ), скиддеров и погрузчиков.

## *Методы исследования.*

Для решения поставленной задачи разработана модель скорости изнашивания верхнего компрессионного кольца дизеля ЯМЗ-238НД5 колесного трактора К-744Р-05 на тяжелых режимах функционирования, при средней загрузке дизеля 0,90...0,95% [3], - например, в режиме пахоты. Результаты моделирования позволят оценить ресурсные показатели элементов ЦПГ дизеля и возможность его использования на лесосечных машинах.

## *Результаты исследования.*

Заводскими ресурсными испытаниями оценивается изнашивание пар трения только при различных значениях регулярных нагрузок и частоты вращения коленчатого вала. В условиях функционирования имеют место оба режима: установившийся – с различными уровнями регулярных составляющих нагрузки и скорости движения; неустановившийся – с различными динамическими составляющими нагрузки, изменяющимися в широком диапазоне по частоте и величине. Следовательно, скорость изнашивания пар трения складывается из регулярной  $U_{v0}$  и переменной  $U_v(\omega)$  составляющих, которые зависят от нагрузочного, скоростного,

смазочного и теплового режимов [3]. Для тяжелого режима функционирования трактора, например, в пахотном режиме, скорость изнашивания пар трения элементов ЦПГ определится выражениями:

$$U_{vo}^n = E_3 \sqrt{\frac{D_3}{D_1} n_o^3 \left\{ \frac{R}{i_t \eta_m} (A_1^n + A_2 + A_3 n_o^2) + D_1 \left( \frac{a_1 P_{MO}}{P_{MH}} e^{\gamma} + b_1 n_o \right) \right\}}; \quad (1)$$

$$U_v^n(\omega) = \frac{E_3 \frac{D_3}{D_1} M_n^a |U_{11}^2(j\omega)| \cdot \left\{ \frac{R\omega}{i_t \eta_m} [3(A_1^n + A_2) + 5A_3 |U_{11}^2(j\omega)| + 4A_4 \omega |U_{11}(j\omega)| + \dots \right.}{2 \sqrt{\frac{D_3}{D_1} |U_{11}(j\omega)| \cdot \left\{ \frac{R}{i_t \eta_m} [A_1^n + A_2 + A_3 |U_{11}^2(j\omega)| + A_4 \omega |U_{11}(j\omega)| + \dots \right.}} \dots \dots \dots \left. \left. \left. + 4f_{TK} |\Theta_B^n(j\omega)| \right] + D_1 \left[ \frac{a_1}{P_{MH}} \sqrt{\frac{16\omega^2 + \gamma^2}{\omega^2 + \gamma^2}} \cdot |G_{61}(j\omega)| + 4b_1 \omega |U_{11}(j\omega)| \right] \right\}}{\dots \dots \dots \left. \left. \left. + f_{TK} |\Theta_B^n(j\omega)| \right] + D_1 \left[ \frac{a_1}{P_{MH}} \cdot \frac{|G_{61}(j\omega)|}{\sqrt{\omega^2 + \gamma^2}} + b_1 |U_{11}(j\omega)| \right] \right\}} \right\}, \quad (2)$$

где величина  $D_3$  для компрессионного кольца определяется по формуле:

$$D_3 = f_{TP} S_{TP}^2 \frac{\mu_d}{h_{KP}} \left( \frac{r_{KP}}{15} \right)^3, \quad (3)$$

Исходные данные и вид передаточных функций в выражениях (1) и (2) приведены в работе [3]. Скорость объемного изнашивания пары трения «верхнее компрессионное кольцо – гильза цилиндра» вычисляется подстановкой в (1)-(3) следующих исходных данных:  $r_{KP}=0,07$  м;  $d_n=0,11$  м;  $a_1=0,45$ ;  $b_1=0,97 \cdot 10^{-3}$ ;  $P_{MH}=0,6$  МПа;  $k_n=0,2$ ;  $f_{TP}=0,003$ ;  $\mu_d=1,8 \cdot 10^{-3}$  Н·с/м<sup>2</sup>;  $h_M^{KP}=0,13$  мкм;  $I=2,5 \cdot 10^{-6}$ ;  $\sigma_T=50$  МПа.

*Примечание.* Все представленные выше аналитические выражения даны для расчета скорости объемного изнашивания  $U_v(\omega)$  пар трения. Но поскольку на практике принято линейное измерение износа, поэтому на рис. 1, 2 результаты расчетов скорости изнашивания представлены в линейном измерении  $U(\omega)$ , с учетом пути трения  $S_{TP}$ :  $U(\omega) = U_v(\omega) / S_{TP}$ .

Достоинства объемного представления частотной характеристики (ЧХ) скорости изнашивания, построенной по выражениям (1) – (3) (рис. 1) в том, что сразу рассматриваются два ее состояния:

- регулярная составляющая  $U_0$  – в процессе преобразования энергии углеводородного топлива в регулярную механическую составляющую энергии  $\mathcal{E}_0$ ;
- переменная составляющая  $U(\omega, \nu_0)$  – в процессе преобразования энергии углеводородного топлива на реализацию динамической составляющей энергии  $\mathcal{E}(\omega, \nu_0)$ .

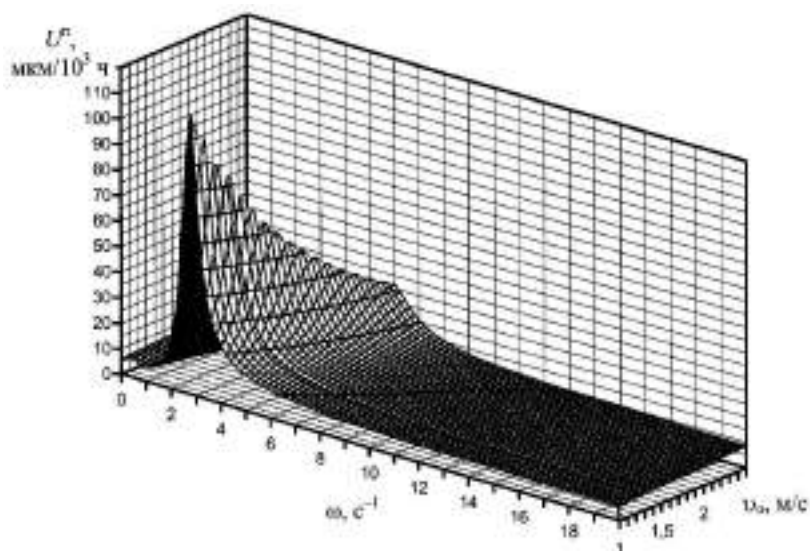


Рис. 1. Поверхность состояния ЧХ скорости изнашивания компрессионного кольца двигателя ЯМЗ-238НД5 на тяжелых режимах функционирования в зависимости от скорости движения  $U_0$  при жесткости подвеса  $c_1=1500$  кН/м

Это значит, что выполняя сечения в продольно-вертикальной плоскости (вдоль оси абсцисс) (см. рис. 1) при любом фиксированном значении регулярной скорости  $U_0$  движения трактора и по всему диапазону частот  $\omega$  колебаний нагрузки на ведущих колесах можно вычислять: регулярную (среднюю) составляющую скорости изнашивания пар трения и скорость изнашивания при динамических нагрузках.

Очевидно (рис. 2), что ЧХ скорости изнашивания компрессионного кольца на тяжелых режимах функционирования, имеют два экстремальных максимума на собственных частотах  $\omega_c=5,0$  и  $14,4$   $s^{-1}$  (кривые б), численные значения которых равны, соответственно – 36,4 и 1,98  $мкм/10^3$  ч.

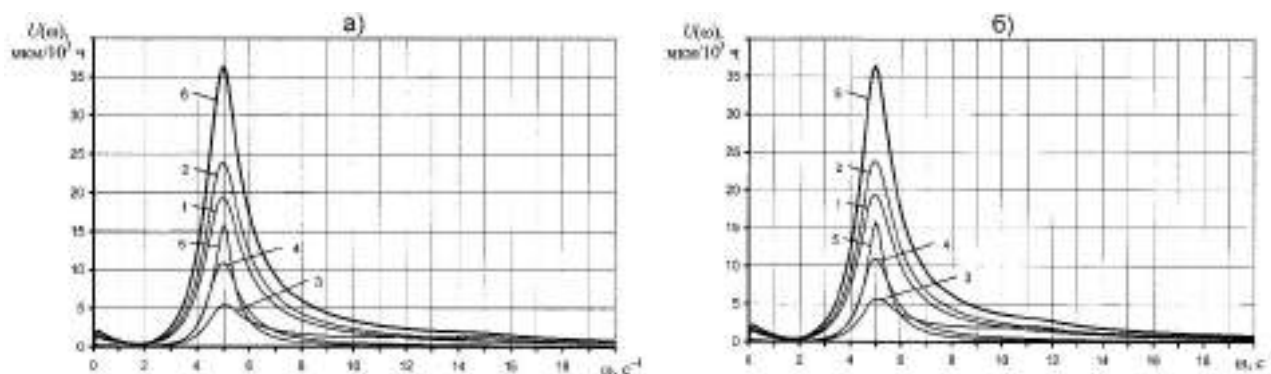


Рис. 2. ЧХ скорости изнашивания компрессионного кольца двигателя ЯМЗ-238НД5 на тяжелых режимах функционирования по компонентам при жесткости подвеса  $c_1=1500$  кН/м (а) и  $c_1=900$  кН/м (б) при скорости движения  $U_0=2,01$  м/с:  
 1 – сопротивление движению на подъеме; 2 – подрезание и отброс пласта плугом;  
 3 – колебания трактора в продольно-вертикальной плоскости;  
 4 – инерционные силы; 5 – механические потери в парах трения двигателя;  
 6 – суммарная динамическая составляющая скорости изнашивания

Понижение жесткости подвеса базового трактора на 40% не существенно сказывается на снижении экстремальных максимумов динамических составляющих скорости изнашивания в пахотном режиме.

*Заключение.*

Фактическая скорость изнашивания в паре трения «верхнее компрессионное кольцо – гильза цилиндра», при штатной комплектации трактора, составляет  $31,06 \text{ мкм}/10^3 \text{ ч}$  при жесткости подвеса  $c_1=1500 \text{ кН/м}$  и  $30,97 \text{ мкм}/10^3 \text{ ч}$  при  $c_1=900 \text{ кН/м}$ .

Для дизельного двигателя ЯМЗ-238НД5 выявлена резонансная частота  $\omega_c = 5,0 \text{ с}^{-1}$ , сопровождаемая повышенными энергозатратами и скоростью изнашивания пар трения элементов ЦПГ.

Повышенная скорость изнашивания тракторных двигателей при колебаниях нагрузочного и скоростного режимов объясняется рядом причин. Пара трения "гильза – компрессионное кольцо" не работает в условиях гидродинамической смазки. Скорость ее изнашивания зависит не только от амплитуды колебаний нагрузочного и скоростного режимов в диапазоне собственной частоты двигателя, но и от несвоевременной, повышенной цикловой подачи топлива в камеру сгорания, являющейся следствием перерегулирования частоты вращения и изгибно-крутильных колебаний кулачкового вала топливного насоса высокого давления [1-4]. Из-за фазового запаздывания приращения давления масла в ГММ ( $-180^\circ$ ), количество масла, вытекающего из зазоров, увеличивается и, разбрызгиваемое под действием сил инерции, образует в поддоне картера плотный масляный туман, который, вследствие насосного действия и протекания через замки колец, попадает в камеру сгорания. Поскольку температура воспламенения масла на  $153 \text{ }^\circ\text{C}$  выше температуры воспламенения рабочей смеси, то избыток взвесей масла замедляет процесс горения. В результате несгоревшее топливо разрушает масляную пленку между компрессионным кольцом и стенкой цилиндра, создавая в паре трения "гильза – компрессионное кольцо" режим сухого или граничного трения [3].

#### **Библиографический список**

1. Канарчук В.Е. Исследование интенсивности износа цилиндров двигателей ЯМЗ-236. – Москва: Автомобильная промышленность, 1970. – №4. – С. 6-7.
2. Гуланс А.Я., Кулаков Н.Н. Об износе тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке. – М.: Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1966. – №4. – С. 26-29.
3. Антипин В.П., Дурманов М.Я., Каршев Г.В. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата. – Санкт-Петербург: СПбГЛПУ, 2017. – 484 с.
4. Григорьев М.А., Пономарев Н.И. Износ и долговечность автомобильных двигателей. – Ленинград: Колос, 1979. – 223 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** 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** Васильев Л.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** Отсутствует  
**e-mail** pslm218@yandex.ru

**ФИО** Вяткова В.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** Отсутствует  
**e-mail** pslm218@yandex.ru

**ФИО** Никонов В.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** Отсутствует  
**e-mail** pslm218@yandex.ru



### **Аннотация**

В работе исследуется влияние параметров базового колесного трактора К-744Р-05, оснащенного дизелем ЯМЗ-238НД5, на скорость изнашивания пары трения «верхнее компрессионное кольцо – гильза цилиндра», т.к. указанное сопряжение является наиболее нагруженным с точки зрения смазочного, теплового, скоростного и нагрузочного режимов. В качестве эксплуатационного параметра выбрана скорость движения трактора, а в качестве конструктивного – жесткость подвеса.

**Ключевые слова:** скорость изнашивания, компрессионное кольцо, дизель, жесткость подвеса, частотные характеристики

**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

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ВЕЛИЧИНУ ЧАСОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА**

**Дурманов М.Я., Спиридонов С.В., Никонов В.С., Васильев Л.А.,  
Вяткова В.А.**

### *Введение.*

В условиях действия экономических санкций и запрета на ввоз и реализацию в России зарубежной лесозаготовительной техники, её сервисного обслуживания и поставку запасных частей, актуальной становится задача создания лесосечных машин с использованием только отечественных комплектующих, а также использование энергетических модулей энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов.

### *Цель работы.*

Исследовать влияние конструктивных и эксплуатационных параметров на величину часового расхода топлива сельскохозяйственного колесного трактора К-744Р-05, энергетический модуль (передняя полурама, мост, кабина и моторный отсек с дизелем ЯМЗ-238НД5) которого возможно использовать для создания колёсных валочно-пакетирующих машин (ВПМ), скиддеров и погрузчиков.

### *Методы исследования.*

Для решения поставленной задачи разработана модель функционирования колесного трактора К-744Р-05 на тяжелых режимах функционирования, при средней загрузке дизеля 0,90...0,95% [1], - например, в режиме пахоты. Результаты моделирования позволят оценить возможность использования дизеля ЯМЗ-238НД5 на лесосечных машинах по показателям часового расхода топлива и расхода на 1 м<sup>3</sup> заготовленной древесины.

*Результаты исследования.*

В пахотном режиме топливо расходуется на преодоление регулярных сил сопротивления – регулярная составляющая часового расхода топлива  $B_0$ , и переменных сил сопротивления – переменная составляющая часового расхода топлива  $B(\omega, \nu_0)$  [1-5]:

$$B_0^n = E_1 n_o \left\{ \frac{R}{i_T \eta_M} [A_1^n + A_2 + A_3 n_o^2] + D_1 (a_1 + b_1 n_o) \right\}; \quad (1)$$

$$B^n(\omega, \nu_0) = E_1 M_n^a \omega \cdot |U_{11}(j\omega, \nu_0)| \left\{ \frac{R}{i_T \eta_M} [A_1^n + A_2 + 3A_3 |U_{11}^2(j\omega, \nu_0)| + 2A_4 \omega \cdot |U_{11}(j\omega, \nu_0)| + 2f_{тк} |\Theta_B^n(j\omega, \nu_0)|] + D_1 \cdot \left[ \frac{a_1}{P_{MH}} \sqrt{\frac{4\omega^2 + \gamma^2}{\omega^2 + \gamma^2}} \cdot |G_{61}(j\omega, \nu_0)| + 2b_1 \omega \cdot |U_{11}(j\omega, \nu_0)| \right] \right\}. \quad (2)$$

Исходные данные и вид передаточных функций в выражениях (1) и (2) приведены в работах [1,2]. Тяжелый режим функционирования трактора характеризуется параметрами:  $f_{тк} = 0,20$ ;  $f_{тс} = 0,60$ ;  $k_{\ddot{y}} = 6 \cdot 10^4$  Н/м;  $\xi = 2000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_s = 0,05$ ;  $q_k = 3 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>;  $z_0 = 0,06$  м;  $\alpha = 5^\circ$ .

На рис. 1 представлена поверхность состояния частотных характеристик (ЧХ) часового расхода топлива в тяжелом режиме эксплуатации трактора в функции двух переменных  $B^n = f(\omega, \nu_0)$ . Выполняя сечения в продольно-вертикальной плоскости при фиксированном значении регулярной скорости движения МТА  $\nu_0 = 2,01$  м/с по всему диапазону частот  $\omega$  колебаний нагрузки, рассмотрим характер поведения динамической составляющей часового расхода топлива  $B^n(\omega)$  и ее компонентов. Частотные характеристики часового расхода топлива в наиболее нагруженном – пахотном режиме имеют два экстремальных максимума (рис. 2, а, кривая б) на собственных частотах: при  $\omega_c = 5,0$  с<sup>-1</sup> – 12,69 кг/ч; при  $\omega_c = 14,8$  с<sup>-1</sup> – 3,85 кг/ч [1].

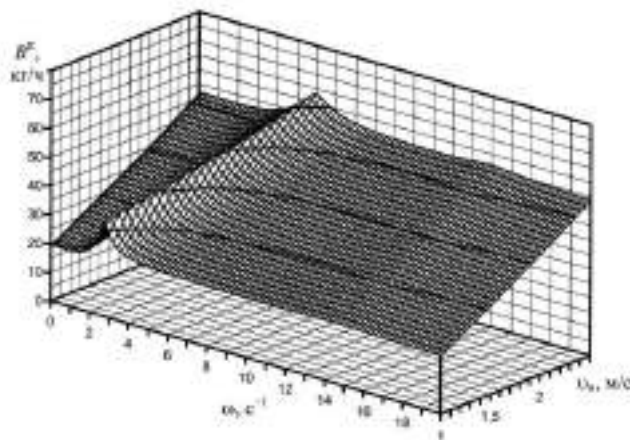


Рис. 1. Поверхности состояния ЧХ часового расхода топлива трактора К-744Р-05 на тяжелом режиме функционирования в зависимости от скорости движения  $\nu_0$  при жесткости подвеса  $c_1 = 1500$  кН/м

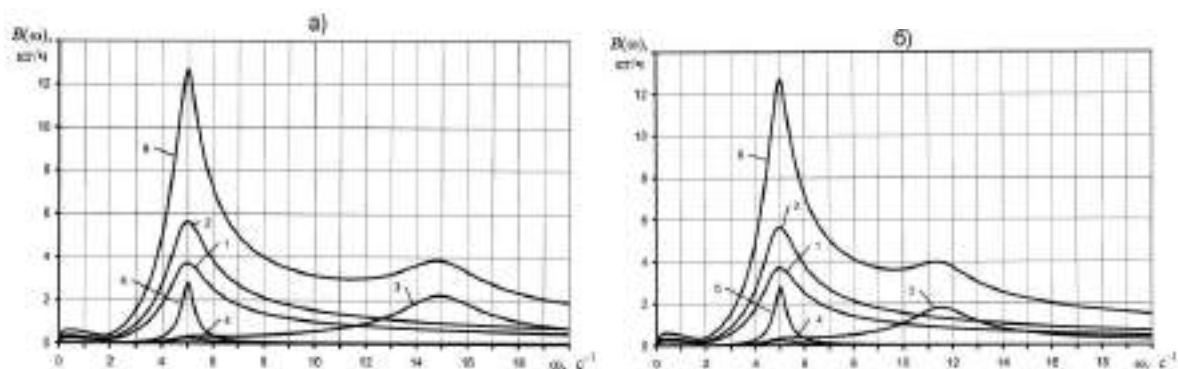


Рис. 2. ЧХ часового расхода топлива по компонентам в тяжелом режиме функционирования трактора К-744Р-05 при жесткости подвеса  $c_1=1500$  кН/м (а) и  $c_1=900$  кН/м (б) при скорости движения  $v_0 = 2,01$  м/с:

- 1 – сопротивление движению на подъеме; 2 – подрезание и отброс пласта плугом;  
 3 – колебания трактора в продольно-вертикальной плоскости; 4 – инерционные силы;  
 5 – механические потери в парах трения двигателя; 6 – суммарный расход на динамические нагрузки

#### Заключение.

Фактический часовой расход топлива, при штатной комплектации трактора, составляет 54,23 кг/ч при жесткости подвеса  $c_1=1500$  кН/м и 53,52 кг/ч при  $c_1=900$  кН/м, что предполагает высокую сменную производительность машины для реализации расхода на  $1 \text{ м}^3$  заготовленной древесины  $1,0 \dots 1,2 \text{ кг/м}^3$ .

Для дизельного двигателя ЯМЗ-238НД5 выявлена резонансная частота  $\omega_c = 5,0 \text{ с}^{-1}$ , сопровождаемая повышенными энергозатратами и расходом топлива.

Затратное влияние на расход топлива оказывают:

- остаточное давление в топливопроводе высокого давления (достигает 5,0 МПа), состоящее из регулярного давления, равного 4,0 МПа, и переменного с амплитудой 1,0 МПа в интервале собственных частот [1,2];

- большая амплитуда давления топлива на впрыске, пропорциональная амплитуде колебаний рейки топливного насоса (РТН) в интервале собственных частот [1,2]. Сложение давления на впрыске с остаточным давлением в топливопроводе высокого давления исключает возможность точного дозирования цикловой подачи топлива;

- большие амплитуды и фазовые запаздывания изгибно-крутильных колебаний кулачкового вала топливного насоса высокого давления в интервале собственных частот [1,2] нарушают своевременный впрыск топлива в камеру сгорания.

Дизель ЯМЗ-238НД5 можно использовать на отечественных колесных лесосечных машинах с учетом его номинальной мощности  $N_{\text{ен}}=220$  кВт и удельного расхода топлива  $g_e=218$  г/кВт·ч. Габаритные размеры двигателя не позволяют уменьшить габариты моторного отсека, что сказывается на проходимости и маневренности трактора в лесу. Масса базового трактора

$m_T=13400$  кг предполагает использование специальных широкопрофильных лесных шин с повышенной нормой слойности и снижения уплотнения почвы и повреждения корневой системы деревьев и подроста.

### Библиографический список

1. Антипин В.П. Дурманов М.Я., Каршев Г.В. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2017. – 484 с.
2. Durmanov M.Y., Martynov B.G., Spiridonov S.V. Energy and Fuel Consumption of Agricultural Aggregate // Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering: Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, 2018. – PP. 1601-1612.
3. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Ленинград: Колос, 1970. – 376 с.
4. Горячкин В. П. Собрание сочинений. – 2-е изд. – Москва: Колос, 1968. – Т. 1. – 720 с.
5. Барский И.Б., Анилович В.Я., Кутьков Г.М. Динамика трактора. – Москва: Машиностроение, 1973. – 280 с.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Дурманов М.Я.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	3809-9956
<b>e-mail</b>	Durmanov130266@rambler.ru
<b>ФИО</b>	Спиридонов С.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	9649-6007
<b>e-mail</b>	svslta@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Никонов В.С.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	pslm218@yandex.ru

**ФИО** Васильев Л.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** Отсутствует  
**e-mail** pslm218@yandex.ru

**ФИО** Вяткова В.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** Отсутствует  
**e-mail** pslm218@yandex.ru

### **Аннотация**

Важным фактором эксплуатационной эффективности лесосечной машины является часовой расход топлива дизеля, определяющий стоимость лесозаготовительных работ и стоимость 1 м<sup>3</sup> заготовленной древесины. В работе исследуется влияние параметров базового колесного трактора К-744Р-05 на часовой расход топлива дизеля. В качестве эксплуатационного параметра выбрана скорость движения трактора, а в качестве конструктивного - жесткость подвеса.

**Ключевые слова:** часовой расход топлива, дизель, скорость движения, жесткость подвеса, частотные характеристики

**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

## **РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТИПОВ ЭТАЛОНОВ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ КРУГЛОМЕРОВ**

**Епифанцев К.В., Теппоев А.В., Микулина А.А., Сотина И.А.**

*Введение.*

В настоящее время процесс поверки кругломеров регламентируется следующими стандартами, указывающими на контроль круглости как основной показатель для определения погрешностей прибора [1-3]. Однако современные стандарты JIS (Япония) вводят ряд новых эталонов для регулировки усилия щупа. По представлению авторов статьи, эталонная база и далее будет прибывать новыми типами эталонов, что необходимо в текущем

быстроразвивающемся мире.

*Цели и задачи исследования.*

В рамках рассмотренных стандартов для процесса поверки кругломера основной мерой являются образцовые меры отклонения от круглости типа ОМОК-1, ОМОК-2, ОМК. По полученным результатам отклонения от круглости определяется погрешность прибора, нормируются его метрологические характеристики. Однако, для расширения эталонной базы данного высокоточного прибора необходимо ввести также еще 1 важный эталон и методику для измерения осевого биения детали, как наиболее важного и часто используемого измерения при решении производственных задач по выявлению брака деталей в виде тел вращения.

*Методы исследования.*

В процессе проведения эксперимента, была реализована методика и прототип эталона для определения биения детали.

*Результаты исследований.*

На рисунке 1 представлена методика установки грузов в верхней части на цилиндрическую деталь и в средней части цилиндрической детали.

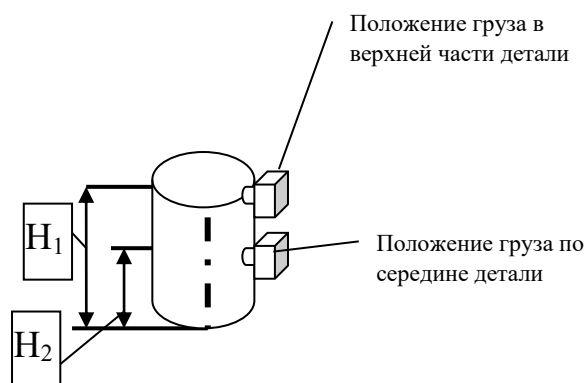


Рис. 1. Проект эталона (сверху) и пленочный эталон (снизу)

На рисунке 2 представлено, что высота  $H_1=2H_2$ . Груз крепится строго напротив оси поворотного стола кругломера СХ СУ LX LY, установленный с помощью мастики груз представлял собой эталонный набор микропластин и гирь различной массы - от 6750 мг до 7750 мг. Детали представлены на чертеже и имеют вес 216.65 грамм сплав Д16Т и 732.6 грамм, марка стали – Ст45, на чертежах ниже представлены 2 используемые для исследований детали. Детали изготовлены на станках с ЧПУ с изначально равными точностными характеристиками, параметры шероховатости также схожи.

Однако на детали из сплава Д16Т характерно после нескольких месяцев эксплуатации наблюдается незначительный слой оксидной пленки, но и первая и вторая деталь перед проведением измерений в равной степени обрабатывались специальными растворами для очищения.

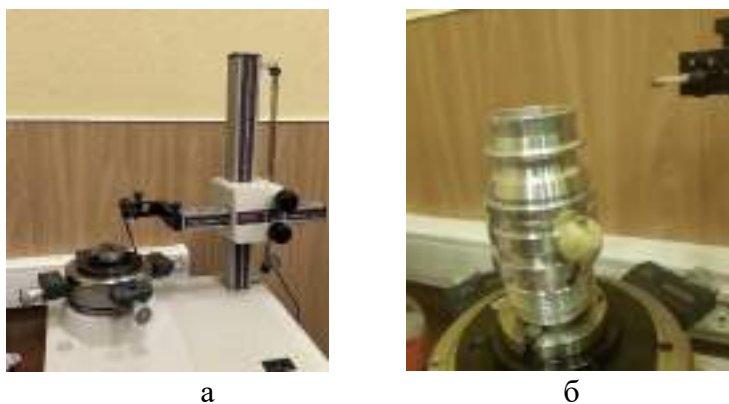


Рис. 2. Разработка эталона осевого биения:  
а – кругломер; б – пригруз на мастике

Детали представлены на рисунке 3, имеют разный вес, одна из деталей представляет сквозной ступенчатый вал высотой 96 мм с максимальным диаметром на одной из ступеней 60мм, вторая деталь, меньшая по весу представляет из себя несквозную ступенчатую втулку высотой 70 мм, с максимальным диаметром на одной из ступеней 54 мм.



Рис. 3. Исследуемые детали:  
деталь массой 216,65г (справа, сплав Д16Т) и 732,6 г (слева, марка стали Ст45)

С целью дополнительной оценки программы действующего кругломера RoundPak были предложены пригрузки как универсальные системы, предназначенные для оценки поведенческой характеристики системы введения компенсирующих коэффициентов для анализа правильности адекватной оценки и нахождения программой методом микросенсорики винтов выравнивающего стола с четырьмя микрометрическими щупами. В процессе проведения данных испытаний были проанализированы основные метрологические характеристики прибора, отвечающие за точность

измерения, и потенциально – за погрешности в процессе работы. В соответствии с планом эксперимента, груз крепился строго напротив оси CX, CY, LX, LY, в программе управления прибора перед началом работы проводится предварительная калибровка усилия щупа по пленочному эталону, после этого начинается процесс центрирования – выравнивания. После каждых двух оборотов стола с трехручачковым патроном, на котором фиксируется деталь с грузом, груз снимается, в ту же точку ставится груз больший по массе от предыдущего, снова запускается операция центрирования-выравнивания.



Рис. 4. Схематическое изображение расхождения полярностей

### *Заключение.*

Таким образом, представленные схемы могут быть использованы для разработки нового эталона кругломера [6]. Как указано в источнике [4-5], остаточный эксцентриситет является важной составляющей инструментальной погрешности прибора, которая уменьшает точность работы встроенных в программный модуль внутренних фильтров прибора.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 8.481-82 Кругломеры. Методики и средства поверки. Москва: Стандартинформ, 1982. – 19 с.
2. ГОСТ 17353-89 Приборы для измерений отклонений формы и расположения поверхностей вращения. – Москва: Стандартинформ, 1999. – 8 с.
3. ГОСТ Р 58868-2020 Отклонение от круглости поверхности деталей. Методика выполнения измерений. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 16 с.
4. Захаров О.В., Пугин К.Г. Выбор опорных окружностей при анализе круглости деталей подшипников качения // Измерительная техника. 2022. – № 2. – С. 14-21.
5. Захаров О.В., Бржозовский Б.М. О точности центрирования при измерении на кругломерах // Измерительная техника. 2006. – № 11. – С. 20-22.
6. Четвернин М.Ю. Исследование методов определения положения оси вращения и измерение ее координат: Инженерно-физические проблемы новой техники: сборник материалов XIV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвящённой 85-летию со дня рождения заслуженного работника ВШ РФ, доктора физико-математических наук, профессора М.И. Киселёва. – Москва, 2020. – С. 135-136.



### Сведения об авторах

**ФИО** Елифанцев К.В.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения  
**Адрес организации** 190000, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, Санкт-Петербург, Россия  
**SPIN-код** 4218-3981  
**e-mail** avt01@inbox.ru

**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** Микулина А.А.  
**Организация** Санкт-Петербургский горный университет  
**Адрес организации** 199106, Васильевский остров, 21 линия д.2, Санкт-Петербург, Россия  
**SPIN-код** Отсутствует.  
**e-mail** avt01@inbox.ru

**ФИО** Сотина И.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** avt01@inbox.ru

### Аннотация

В статье рассматривается новый подход к разработке новых типов эталонов для калибровки кругломеров.

**Ключевые слова:** метрология, калибровка, кругломеры.

**УДК** 537.315

**Разделы рубриката** ГРНТИ 90.03.03

# АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПИЛЬНОГО ДИСКА ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Зверев И.А., Трофимов А.В., Скобёлкин Д.А.

## *Введение.*

На рынке представлен широкий ассортимент захватно-срезающих устройств (ЗСУ) различного конструктивного исполнения. Лидирующие позиции, среди серийно выпускающихся ЗСУ, занимает производство агрегатов, оснащенных дисковым механизмом спиливания деревьев [1]. Одной из основных деталей конструкции является пильный диск, воспринимающий нагрузки со стороны предмета труда. Изделие обладает внушительным габаритным размером (диаметр около 1500 мм) и массой порядка 800 кг. Анализ технологического процесса изготовления, с целью выделения унифицированных решений, без сомнения является актуальной задачей.

## *Цель работы.*

Выделить и описать типовые элементы технологического процесса изготовления пильного диска захватно-срезающего устройства валочно-пакетирующей машины.

## *Методы исследования.*

Методы проектирования технологических процессов в машиностроении.

## *Результаты работы.*

Деталь «Пильный диск» (рис. 1) представляет собой тело вращения с внутренним посадочным отверстием под центральную ось. С точки зрения технологии изготовления, относится к группе корпусных изделий с соотношением ширины и диаметра меньше 0,5 (фланцы). Деталь имеет технологические выступы, предназначенные для установки сменных режущих элементов (зубьев). Основное назначение - осуществление беззажимного пиления деревьев с максимальным диаметром на высоте груди от 510 до 711 мм [2].

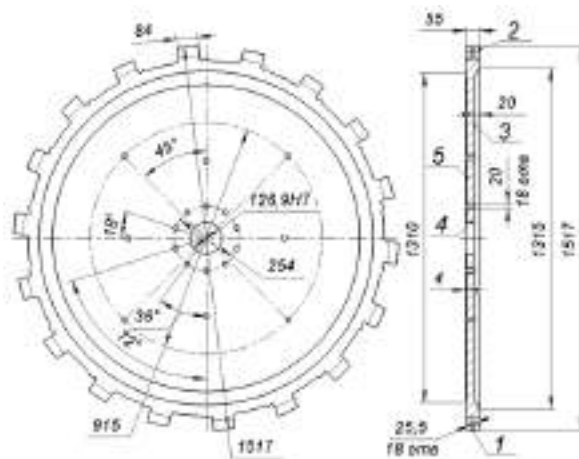


Рис. 1. Фрагмент рабочего чертежа детали «Пильный диск»

Для изготовления детали могут быть использованы пружинно-рессорные стали марок 65Г, 50ХФА, 60С2А и др., обладающие высоким пределом текучести, что обеспечивается закалкой на троостит с последующим средним отпуском [3].

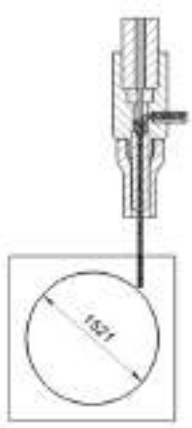
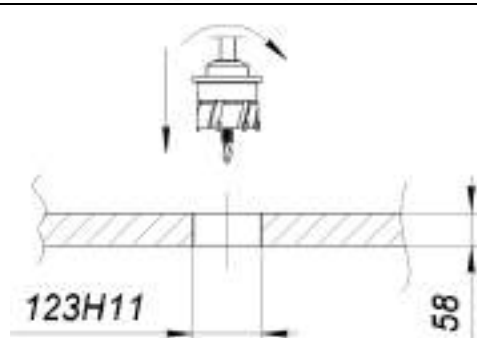
В качестве исходной заготовки наиболее целесообразно использовать листовой горячекатаный прокат обычной точности (ГОСТ 19903-2015). Учитывая толщину серийно выпускающихся пильных дисков (50-60 мм), а также припуск на механическую обработку наружных поверхностей (3-5 мм), рекомендуется выбирать листы номинальной толщины 55-65 мм. Вырезка заготовки из листа может быть осуществлена гидроабразивной или плазменной резкой.

Заготовка, вырезанная из листа, подвергается правке на гидравлическом прессе и объемной закалке с последующим средним отпуском, после чего отправляется на обработку резанием.

Механическая обработка диска включает в себя следующие операции: координатно-расточную, токарно-лобовую, гидроабразивную, сверлильную и горизонтально-расточную.

Краткое содержание и эскизы основных технологических операций, применяемое оборудование и инструмент представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Типовой маршрут обработки детали «Пильный диск»

№ операции	Наименование операций и их краткое содержание	Эскиз операции	Оборудование и инструмент
000	<p><i>Заготовительная</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вырезать заготовку</li> <li>- Править заготовку</li> <li>- Объемная закалка на троостит со средним отпуском</li> </ul>		<p>Гидроабразивный станок; пресс; термопечь; закалочная ванна</p>
005	<p><i>Координатно-расточная</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Сверлить технологическое отверстие по центру заготовки</li> </ul>		<p>Координатно-расточной станок; корончатое сверло</p>

№ операции	Наименование операций и их краткое содержание	Эскиз операции	Оборудование и инструмент
010	<p><i>Токарно-лобовая (2 установка)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Точить поверхность 1</li> <li>- Подрезать торец 2</li> <li>- Точить поверхность 3</li> <li>- Расточить чисто отверстие 4</li> <li>- Точить поверхность 5</li> </ul>		Токарно-лобовой станок; резец прямой проходной; резец проходной упорный; резец расточной
015	<p><i>Гидроабразивная</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вырезать технологические выступы диска</li> </ul>		Гидроабразивный станок
020	<p><i>Сверлильная</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Сверлить отверстия прижимной оси</li> </ul>		Радиально-сверлильный станок; сверло спиральное
025	<p><i>Горизонтально-расточная</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Сверлить отверстия под режущие элементы</li> </ul>		Горизонтально-расточной станок; сверло спиральное
030	<i>Слесарная</i>		
035	<i>Очистная</i>		
040	<i>Контрольно-измерительная</i>		
045	<i>Упаковочная</i>		

Координатно-расточная операция выполняет две функции. Точное определение центра заготовки и предварительная подготовка посадочного отверстия для чистового растачивания. Учитывая размеры отверстия, в качестве режущего инструмента наиболее целесообразным является использование кольцевого (корончатого) сверла.

Все переходы токарной операции выполняются на токарно-лобовом станке с установкой заготовки в четырехручачковой планшайбе. В качестве режущего инструмента для точения наружной поверхности 1 (рис. 1) и подрезания торца 2 (рис. 1), может использоваться проходной упорный резец с пластинами из твердого сплава ВК8 (ГОСТ 18879-73). Для точения технологических впадин 3 и 5 (рис. 1) применяется прямой проходной резец также с пластинами из твердого сплава. Для растачивания посадочного отверстия 4 (рис. 1) – расточной резец с пластинами из твердого сплава ВК8 (ГОСТ 18883-73). Учитывая габариты заготовки, для черновой токарной обработки при глубине резания  $t = 2...3$  мм величина подачи резца составит  $S = 1,5...2,1$  мм/об; скорость резания  $v_p = 45...55$  м/с; частота вращения шпинделя  $n = 10...15$  об/мин. Для чистового растачивания посадочного отверстия при глубине резания  $t = 0,5$  мм:  $S = 0,1...0,4$  мм/об;  $v_p = 45...55$  м/с;  $n = 120...145$  об/мин [4].

Изготовление технологических выступов детали осуществляется гидроабразивной резкой. Выбор способа обработки материала обусловлен сложной конфигурацией обрабатываемой поверхности и толщиной заготовки. Скорость резки при обработке стали толщиной 50...60 мм должна находиться в диапазоне от 25 до 30 мм/мин. Увеличение скорости может привести к ухудшению качества реза (увеличенной конусности и шероховатости) [5].

На сверлильной операции изготавливаются сквозные отверстия, предназначенные для соединения пильного диска с прижимным фланцем. Операция осуществляется на радиально-сверлильном станке с неподвижной установкой заготовки на столе в прихватах. В качестве режущего инструмента используется спиральное сверло из быстрорежущей стали Р18 (ГОСТ 10902-77).

Завершающей операцией механической обработки заготовки является горизонтально-расточная. Назначение операции – сверлить крепежные отверстия под сменные режущие элементы. Заготовка неподвижно закрепляется прихватами на координатном столе. В качестве режущего инструмента используется спиральное сверло из быстрорежущей стали Р18 (ГОСТ 10902-77).

Размеры детали контролируются универсальными средствами измерения с предварительной разметкой поверхностей.

#### *Заключение.*

Рассмотренный в статье технологический процесс изготовления детали «Пильный диск» может быть использован инженерами-технологами в качестве базового решения с возможностью редактирования для различных производственных условий.

#### **Библиографический список**

1. Андронов А.В., Зверев И.А. Обзор тенденций развития конструкций современных захватно-срезающих устройств // Машиностроение: новые концепции и технологии : Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СибГУ, 2021. – С. 14-17.

2. Андронов А.В. Многооперационные лесные машины: учебное пособие для студентов направлений подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 128 с.
3. Зверев И.А., Тарадин Г.С., Михайлов О.А., Андронов А.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Часть I: материаловедение: учебное пособие для студентов направлений подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 23.03.01 «Технология транспортных процессов», 27.03.01 «Стандартизация и метрология», 27.03.04 «Управление в технических системах». – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – 162 с.
4. Трофимов А.В., Горбачева Т.И. Основы технологии машиностроения. Проектирование технологических операций обработки резанием. Часть II. Назначение режимов резания. Разработка технических норм времени: учебное пособие для студентов направлений подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 100с.
5. Иванов Ю. Г., Яковицкая М.В. Выбор оптимальной скорости резки для раскроя плиты Д16 толщиной 120 мм при помощи гидроабразивной резки // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 13–19 ноября 2017 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2017. – С. 226-228.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Зверев И.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	1126-2121
<b>e-mail</b>	igorzv1997@gmail.com
<b>ФИО</b>	Трофимов А.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8933-0230
<b>e-mail</b>	agregat9@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Скобёлкин Д.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	отсутствует
<b>e-mail</b>	danilskobyolkin@yandex.ru

### **Аннотация**

В статье рассмотрен технологический процесс изготовления детали «Пильный диск». Представлен маршрут обработки детали и приведены эскизы основных операций. Даны рекомендации по выбору исходного материала, оборудования и технологической оснастки. Описано содержание основных металлообрабатывающих операций с указаниями по выбору режимов резания для токарной операции.

**Ключевые слова:** пильный диск, захватно-срезающее устройство, технологический процесс, технологическая операция, металлообработка.

**УДК** 621.7

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 55.13.17

## **КРИТЕРИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА МЕТОДА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА**

**Кизилев А.Б.**

### *Введение.*

Повышение долговечности машин и оборудования лесного комплекса предполагает повышение износостойкости поверхностей входящих в их состав деталей. Прямой путь повышения износостойкости деталей - их упрочнение. В настоящее время существует множество методов упрочнения, таких как поверхностное пластическое деформирование, поверхностная закалка, химико-термическая обработка, ионная имплантация, различные виды наплавки, напыления и химического осаждения [1]. Выбор метода не всегда очевиден. Для облегчения рационального выбора метода упрочнения можно использовать 3 критерия.

### *Цель работы.*

Упростить рациональный выбор метода упрочнения поверхностей деталей машин и оборудования лесного комплекса.

### *Методы исследования.*

Используются методы технологии машиностроения.

### *Результаты исследования.*

Для облегчения рационального выбора метода упрочнения можно использовать следующие критерии. Технологический критерий определяет принципиальную возможность применения различных технологических процессов упрочнения конкретных быстроизнашивающихся деталей, лимитирующих надежность машины. Этот критерий для выбора способа восстановления деталей является предварительным. Технологический критерий равен 0 при невозможности применения данного способа

упрочнения. В противном случае, а также при наличии положительного производственного и эксплуатационного опыта использования его по отношению к таким же или подобным деталям, коэффициент применимости равен 1. Одинаковая вероятность применимости и неприменимости способа упрочнения оценивается технологическим критерием, равным 0,5. Это означает целесообразность дальнейшей проверки данного способа упрочнения применительно к конкретной детали.

Определение технологического критерия должно производиться по следующим признакам:

- форма поверхности детали и возможности упрочнения такой поверхности технологическими способами;
- материал обрабатываемой детали и возможности его упрочнения;
- предельные размеры деталей и возможности их упрочнения;
- величина предельно допустимого износа детали и толщина упрочненного или наращенного слоя при использовании различных технологических методов;
- необходимая твердость поверхности детали и твердость, обеспечиваемая при различных методах обработки;
- допустимое изменение усталостной прочности детали и возможное ее изменение при упрочнении;
- существующий вид нагрузки и характер трения в узле;
- допустимое (желательное) изменение износостойкости контртела рассматриваемой детали и возможное ее изменение при использовании различных процессов поверхностного упрочнения.

Кроме того, при выборе оптимальных способов упрочнения необходимо учитывать прочность сцепления, обрабатываемость и стабильность свойств наносимых износостойких покрытий. Если применительно к методам химико-термической обработки, поверхностного пластического деформирования, закалке токами высокой частоты, наплавке и напылению самофлюсующимися сплавами с последующим оплавлением или формованием значение коэффициента сцепления упрочнения слоев не учитывается, то для методов металлизации прочность сцепления имеет важное значение. Поэтому нанесение покрытия без какой-либо последующей термической или другой обработки, заведомо обеспечивающей высокое сцепление напыленных слоев, неприемлемо для быстроизнашивающихся деталей, испытывающих ударные или знакопеременные нагрузки.

Критерий долговечности определяет возможное увеличение срока службы упрочняемой детали и оценивается отношением средних ресурсов упрочняемой и такой же неупрочненной детали, обработанной по базовой (существующей) технологии. Численное его значение должно определяться на основании результатов эксплуатационных испытаний. Использование результатов стендовых испытаний допустимо только на стадии предварительной оценки и в случае равных условий нагружения и поверхностного повреждения деталей на стенде и в эксплуатации.



Приравнивание критерия долговечности к коэффициенту повышения износостойкости, полученному на лабораторных машинах трения, чаще всего не оправдано, так как известные из литературных источников значения коэффициента износостойкости получены на различном испытательном оборудовании, которое не обеспечивает соответствия реальным условиям. Кроме того, значения относительной износостойкости чаще всего определены по сравнению с малоуглеродистой отожженной сталью или сталью 45, закаленной на малую твердость.

Таким образом, отсутствие точного значения относительной износостойкости различных материалов, эффективности методов упрочнения и сложные условия эксплуатации быстроизнашивающихся деталей затрудняют определение критерия долговечности. Поэтому необходимо изучать износостойкость упрочненных различными методами слоев конкретно для каждой рассматриваемой детали.

Экономический критерий. Он отвечает на вопрос о том, какова цена повышенного ресурса детали и как быстро окупается увеличение дополнительных затрат в сфере производства. Так как требуется получение максимального эффекта при минимальных затратах, то основой поиска наиболее рационального варианта упрочнения деталей служит минимальная величина суммарных затрат, определяемая по совокупным удельным затратам на эксплуатацию машины до её списания.

Данный критерий прямо пропорционален сумме стоимости упрочнённой детали, расходов на ремонты, выполняемые из-за отказа детали и потерям предприятия от простоев в ремонтах машины из-за отказа детали и обратно пропорционален ресурсу машины до списания. При этом наименьшее значение критерия соответствует наиболее эффективному способу упрочнения.

$$K_3 = \frac{C_{ид} - C_{ми} \times M_i + (C_{ир} + q + T_i S + P T_i) \times \left( \frac{L}{L_i} f - 1 \right)}{L}, \quad (1)$$

где  $K_3$  – экономический критерий;  $C_{ид}$  – стоимость детали  $i$ -го наименования;  $C_{ми}$  – стоимость 1 кг металлолома;  $M_i$  – масса вышедшей из строя детали;  $q$  – стоимость ремонтных материалов для устранения одного отказа  $i$ -й детали;  $T_i$  – трудоёмкость устранения одного отказа;  $P$  – средняя часовая ставка на устранение отказа;  $L$  – ресурс лесной машины до списания;  $f$  – степень повышения ресурса  $i$ -й детали после упрочнения (критерий долговечности).

#### *Заключение.*

Таким образом, проведение дальнейших исследований и разработка соответствующей компьютерной программы, учитывающей все 3 критерия, позволят оперативно проводить рациональный выбор метода упрочнения и повысить долговечность машин и оборудования лесного комплекса.

#### **Библиографический список**

1. Елагина О.Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – Москва: Университетская книга, 2009. – 440 с.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Кизиллов А.Б.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8407-7024
<b>e-mail</b>	andreykiz@yandex.ru

### Аннотация

Рассмотрены критерии, позволяющие упростить рациональный выбор метода упрочнения поверхностей деталей машин и оборудования лесного комплекса. Предлагается использовать комплексно технологический критерий, критерий долговечности и экономический критерий.

**Ключевые слова:** упрочнение, метод, критерий.

**УДК** 621.113.01

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 55.21.01

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАШИН

**Кизиллов А.Б., Рачков И.Д.**

### *Введение.*

Современные антифрикционные материалы обеспечивают замену быстроизнашивающихся стальных, чугунных и бронзовых подшипников скольжения самосмазывающимися материалами, снижая тем самым металлоемкость лесных машин, расходы на техническое обслуживание и смазочные материалы.

### *Цель работы.*

Сформулировать предложения по применению современных антифрикционных материалов в узлах трения лесных машин.

### *Методы исследования.*

Используются методы технологии машиностроения.

### *Результаты исследования.*

Основные полимеры, используемые и рекомендуемые к применению в слабонагруженных узлах трения лесных машин - это фторопластовые материалы. Фторопластополитетрафторэтилен (ПТФЭ) обладает хорошими антифрикционными свойствами: низким коэффициентом трения (0,02—0,10), высокой инертностью и стойкостью в любых технических жидкостях,

хорошей термостойкостью. Однако недостаточная износостойкость и хладотекучесть предопределяют редкое использование этого материала в чистом виде. Добавки кокса, стекловолокна, дисульфида молибдена, нитрида брра, графита позволяют получать хорошую прирабатываемость, высокие антифрикционные свойства и износостойкость пар трения в эксплуатационных условиях [1].

Самое широкое распространение среди фторопластовых материалов имеют металлофторопластовые композиции. Они представляют собой трехслойную композицию, состоящую из стальной основы, пропитанной фторопластом пористой бронзы и прирабочного слоя. Стальная основа обеспечивает достаточную прочность и жесткость подшипника скольжения при небольшой толщине металлокерамического слоя, а также хороший теплоотвод от трущейся поверхности в корпус. Вследствие трения зоны контакта нагретый твердый смазочный материал подается в нее, обеспечивая антифрикционные свойства поверхности. Позже во фторопластовую основу добавлялся свинец, а стальная поверхность покрывалась оловом или медью [2].

Порошковая бронза с толщиной слоя 0,25 мм, состоящая из 89 % меди и 11 % олова, соединяется со стальной основой припеканием. Заполненный фторопластом и свинцом антифрикционный слой включает 70 % бронзы, 25 % фторопласта и 5 % свинца. Верхний слой фторопласта толщиной 0,02 мм служит для приработки в начальный период касания. Предел текучести такого материала составляет 320 МПа, коэффициент линейного расширения  $15 \cdot 10^{-6}$  1/К, теплопроводность 0,1 кал/с\*смК. Втулки из этого материала выдерживают давление до 140 МПа в условиях равномерной нагрузки при незначительном движении и около 2,7 МПа при повторно-переменном или ударном характере нагружения с движением относительно поверхности металлофторопласта. Изготовленные из него подшипники сухого трения обеспечивают значения коэффициента трения (0,05—0,16), близкие к параметрам граничной или даже полужидкостной смазки. Применение смазки в еще большей степени повышает антифрикционные свойства композиции. Такие подшипники в виде лент, шайб и втулок выпускаются под названием «Гласир».

В ФРГ для самосмазывающихся подшипников выпускают металлофторопластовый материал, изготавливаемый нанесением на омедненную стальную ленту пористого слоя оловянистой бронзы толщиной 0,25 - 0,35 мм с последующим нанесением смеси фторопласта с дисульфидом молибдена или свинцом. Материал хорошо зарекомендовал себя в педалях управления, сочленениях рулевого управления, передней подвески и других узлах автомобиля. Во Франции производят подшипниковый материал, состоящий из нескольких слоев фторопластовых волокон с вплетенной в них проволокой из меди или нержавеющей стали. Одна сторона материала (рабочая) содержит 100 % таких волокон, а обратная, которой композиция приваривается к стальному корпусу, содержит 80 % проволоки. Для

подшипников скольжения шкворней, рулевых штанг, рычагов подвески, тяг управления, дверных шарниров и т. д. в США применяют материал «Фиберг-лайд». Рабочий слой подшипника представляет собой ткань, содержащую тефлоновые (торговое название ПТФЭ) нити, переплетенные синтетическим волокном, стекловолокном или металлической проволокой. Материал обеспечивает длительную эксплуатацию при давлении 480 МПа, скорости скольжения до 0,17 м/с и температуре  $\pm 200$  °С. Компания СКФ выпускает стальные подшипники скольжения из политетрафторэтиленовой ткани, приклеенной к наружному кольцу с помощью фенольной смолы.

Антифрикционные самосмазывающиеся органо-волокниты разработаны в Российской Федерации и уже присутствуют на отечественном рынке. Материал состоит обычно из полимерной матрицы и 2 типов волокон: антифрикционных (политетрафторэтиленовых) и армирующих. Ткань по специальной технологии приклеивается к металлической основе фенолформальдегидным клеем ГИПК-114. Согласно результатам эксплуатационных исследований нагрузочная способность антифрикционных полимерных композитов на основе волокон при устойчивой работе узла трения и отсутствии вибраций составляет 550 МПа, в условиях ударного нагружения - 270 МПа. Оптимальное значение износостойкости наблюдается при давлении 30—50 МПа и скорости скольжения до 0,7 м/с. При большей скорости необходимо применение жидкой смазки. Температурный интервал от -150 °С до +250 °С. Максимальное значение износостойкости соответствует шероховатости контртела  $R_a$  0,125 мкм. Материал рекомендуется применять во втулках шкворней, балансира, крестовины карданного вала, сателлитов, разжимных кулаков тормозов, ушек передних и задних рессор, шаровых сочленении рулевого управления, шарнирах реактивных штанг автомобилей.

В Российской Федерации созданы конструкции металлофторопластовых подшипников [3]. Основу отечественной металлофторопластовой ленты составляет малоуглеродистая сталь марки 08кп или 10кп с двухсторонним покрытием медью М1 или латунью Л90. Припекаемый пористый слой оловянистой бронзы из сферических частиц диаметром 0,063 - 0,16 мм пропитывается пастой, состоящей из суспензии фторопласта и дисульфида молибдена (25 %). Лента выпускается толщиной 1,1; 1,6; 2,6 мм, шириной 75 - 100 мм и длиной 500 - 2000 мм. Из этой ленты выпускаются подшипники длиной от 10 до 70 мм с внутренним диаметром от 10 до 55 мм. Металлофторопластовые подшипники пригодны для использования в некоторых узлах лесных машин по примеру их применения в автомобилях, например, во втулках тормозных узлов. Однако, в этом случае необходимо применение дополнительных грязезащитных уплотнений. В таких конструкциях при удельных нагрузках 14 - 40 МПа и скоростях скольжения до 0,3 м/с металлофторопластовые подшипники могут обеспечить повышение долговечности узла в 3 - 4 раза.

Применительно к сухому трению при колебательном движении с

частотой 4—6 Гц и угловой амплитудой до 3° подшипников диаметром до 100 мм предельные давления составляют 50 МПа. Для узлов трения с большими значениями контактных давлений рекомендуется применять многослойные подшипники в виде набора вставленных одна в другую цилиндрических втулок с бронзофторопластовым покрытием на обе стороны втулки и промежуточных стальных втулок. Такие многослойные подшипники толщиной 15 - 20 мм благодаря работе одновременно нескольких поверхностей скольжения обеспечивают возможность длительной эксплуатации.

К недостаткам этих материалов следует отнести высокую стоимость исходного сырья, сложность изготовления, необходимость высокой степени точности и чистоты поверхности ( $R_a$  до 2,5 мкм) вала, работающего в контакте с металлофторопластом, повышение коэффициента трения при малых давлениях и высоких скоростях. Существует возможность насыщения мягкой металлофторопластовой композиции частицами дорожной пыли и вследствие этого преждевременного износа поверхности сопряженного вала.

Для повышения долговечности неподвижных соединений узлов трения рационально применять анаэробные герметики. Характерной их особенностью является способность сохранять жидкое состояние в присутствии кислорода (воздуха) и быстро полимеризоваться при комнатной температуре в узких зазорах между металлическими поверхностями. Проникая в жидком виде в зазоры стыкуемых деталей любой конфигурации и отвердевая, они фиксируют взаимное положение деталей, подавляют вредное воздействие вибраций и предотвращают разрушение изделий при фреттинг-коррозии.

#### *Заключение.*

Во многих случаях замена в лесных машинах традиционных антифрикционных материалов на современные позволит снизить металлоёмкость, повысить ресурс и сократить расходы на обслуживание техники и на смазочные материалы.

#### **Библиографический список**

1. Подольский М.Е. Подшипники качения. Основы теории, расчета и конструирования. – Санкт-Петербург: СПбГМТУ, 1996. – 36 с.
2. Авдеев Д.Т., Бабец Н.В. Материалы и конструкции самосмазывающихся подшипников скольжения. – Новочеркасск: НГТУ, 1993. – 112 с.
3. Новые конструкционные материалы: учеб. пособие / А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, В.К. Зеленко, О.В. Кузовлева и др. – Тула: ТулГУ, 2017. – 296 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Кизилев А.Б.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

<b>SPIN-код</b>	8407-7024
<b>e-mail</b>	andreykiz@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Рачков И.Д.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	s30off@gmail.ru

### **Аннотация**

В настоящее время в лесных машинах, как правило, применяются традиционные антифрикционные материалы, такие как бронзы, чугуны и баббиты. Применение современных антифрикционных материалов лесных машинах позволит снизить металлоёмкость, повысить ресурс и сократить расходы на обслуживание техники и на смазочные материалы.

**Ключевые слова:** Антифрикционность, подшипник, скольжение, фторопласт.

УДК 62-233.21

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.03.33

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ БАЛАНСИРА ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА**

**Марков В.А., Карасев Ю.А., Попова Д.А.**

### *Введение.*

В качестве предмета исследования выбран балансир лесозаготовительного трактора. Балансиры имеют различные конфигурации в зависимости от завода изготовителя и модели трактора, имеют ряд конструктивных особенностей, однако выполняют схожие функции. Для тракторов ОТЗ данный механизм является универсальным и используется в любых гусеничных производимых заводом, например Онежец-300, ЛХТ-100, ТДТ-55 и др.

### *Цель работы.*

Целью работы является анализ долговечности балансиров гусеничной лесозаготовительной техники.

### *Методы исследования.*

Работа базируется на анализе статистических и аналитических данных, аппроксимации полученных графических зависимостей.

### *Результаты исследований.*

Механизм балансира гусеничного трактора ОТЗ и состоит из рычага, оси каретки и две осей катка. Отказы данного узла происходят из-за износа и последующего абразивного трения в соединениях «ось-подшипник». Когда зазор в подвижном соединении становится значительным, из него уходят смазочные материалы, а также происходит воздействие загрязняющих абразивных элементов и влаги на поверхности трения. Исходя из общей теории трения в подвижных соединениях, любой процесс износа можно разделить на три основные фазы: приработка, нормальный износ и критический износ [1]. Для каждого конкретного подвижного соединения критическое значение износа, и соответственно зазора определяется индивидуально. Это значение зависит от диаметра деталей и поверхности их трения, нагрузки в узле, а также от качества и количества смазочного материала. Балансиры наиболее распространенных на территории РФ тракторов представлены на рисунке 1.

Установлено, что средняя наработка до отказа у балансира тракторов ОТЗ составляет 2700 моточасов.

Анализом отказов балансиров тракторов ОТЗ занимался проф. Питухин А.В., им было установлено, что 80% наработка до отказа составляет 2000 моточасов, при нормативном значении в 6000. Критический износ после 2000 моточасов вызван хрупким изломом (при однократной критической нагрузке) и зазором в соединении деталей, в который активно попадает абразив [2].



а



б

Рис. 1. Балансиры трелевочных тракторов:

а – Онежского тракторного завода; б – Алтайского тракторного завода

Эмпирическая кривая вероятности безотказной работы балансира представлена на рисунке 2.

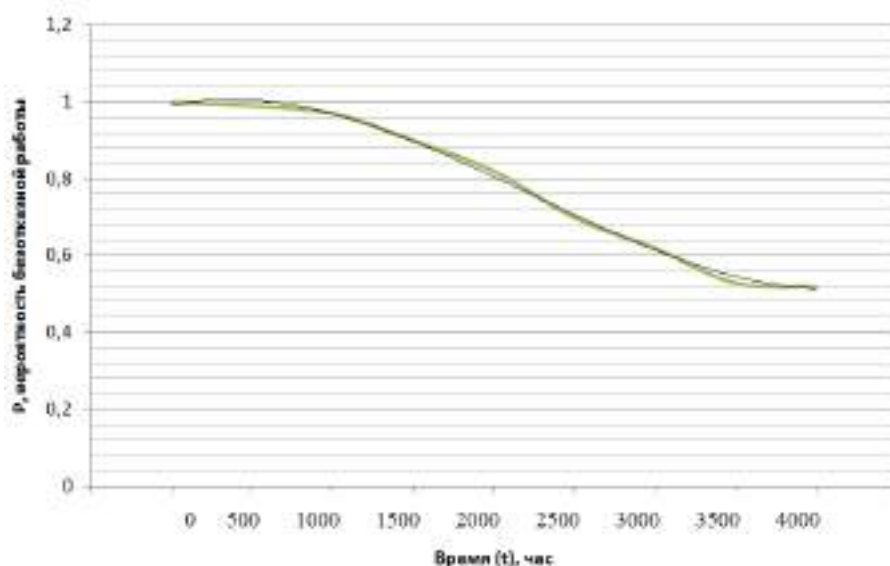


Рис. 2. Экспериментальные данные (эмпирическая и полиномиальная кривая) вероятности безотказной работы

Для проведения адекватной аппроксимации кривой, необходимо показатель по оси X (время) принимать в тысячах часов. Результаты аппроксимации представлены на рисунке 3.

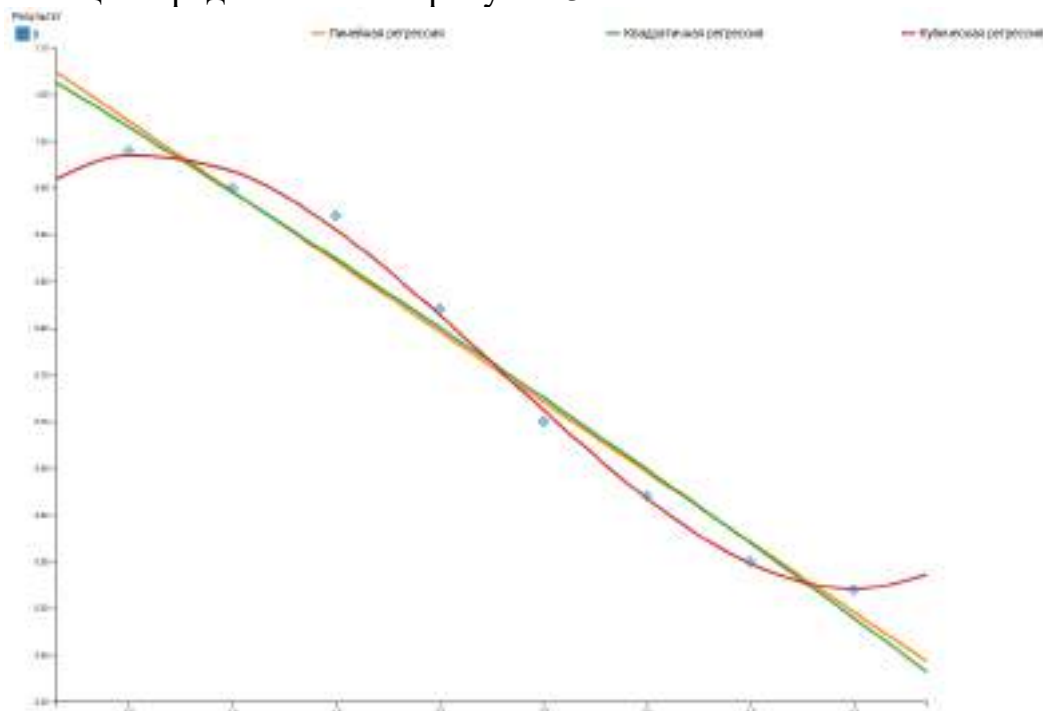


Рис. 3. Аппроксимация зависимости вероятности безотказной работы от времени

Проведя аппроксимация графика, были определены линейная, квадратичная, кубическая, степенная, показательная, логарифмическая, гиперболическая и экспоненциальная зависимости. Наиболее высокими коэффициентами детерминации обладали линейная, квадратичная и кубическая зависимости, показатели составили от 0,97 до 0,99. Средняя ошибка аппроксимации составила от 0,92 до 3,5%. Оценивая полученные



данные, приходим к выводу, что кубическая зависимость наиболее точно и адекватно отражает исследуемую зависимость. При данном виде аппроксимации средняя ошибка не превышает 0,92%, при коэффициенте корреляции 0,9984.

$$P = 0,0236t^3 - 0,1631t^2 + 0,1702t + 0,9371,$$

при коэффициенте корреляции  $R^2 = 0,9984$

Как было сказано ранее, выход из строя балансиров обусловлен двумя основными причинами: хрупким изломом вследствие однократной критической нагрузки и износ поверхностей трения осей каретки и катков трактора. Для минимизации хрупких изломов необходимы технологические изменения, такие как применение прогрессивных материалов и изменения конструкции корпусов рычагов балансиров. Для уменьшения износа и повышения триботехнических характеристик осей возможно применение композиционных покрытий и современных специализированных смазочных материалов [3].

Детали ось каретки и ось катка относятся к классу «ступенчатые оси» и имеют три и пять ступеней соответственно. Обе детали имеют не сложную конфигурацию. Наиболее подвержены износу резьбы и посадочные места под подшипники. Шероховатость поверхности на посадочных местах под подшипник Ra 2,5. Материал деталей – сталь 40Х. Закалка поверхностей деталей начала применяться Онежским тракторным заводом лишь при изготовлении последних модификаций трелевочных тракторов.

На рисунке 4 мы представлена схема соединения детали ось катка и подшипником. Для обеспечения подвижности соединения и возможности нанесения смазочных материалов, применена посадка с зазором (обе поверхности изготовлены по 6 качеству точности).

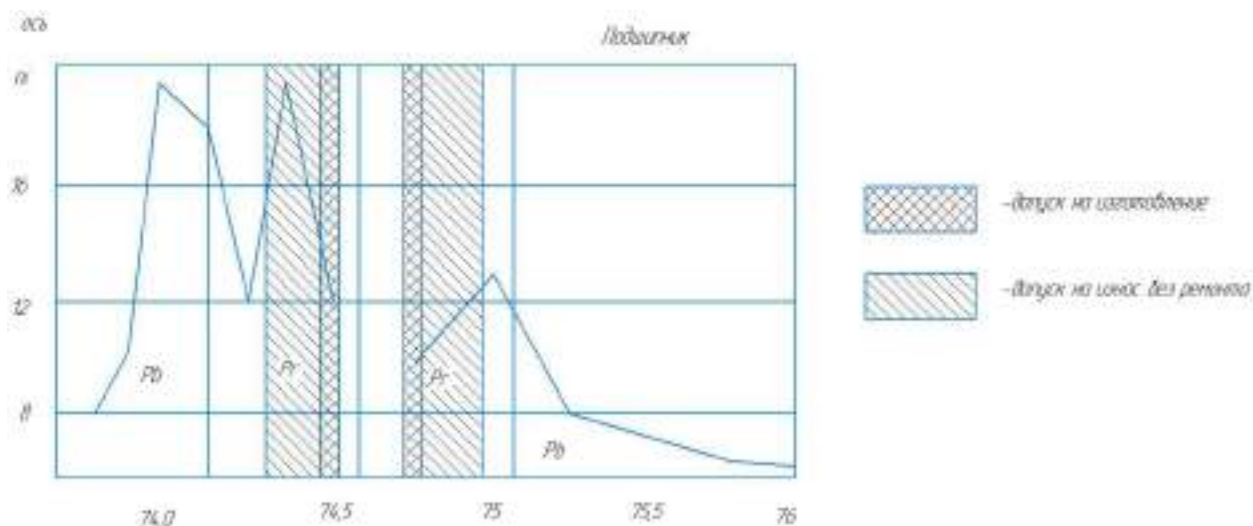


Рис. 4. Соединение ось катка – подшипник

Допустимый без ремонта размер шейки оси составляет 74,96 мм, а подшипника 75,2 мм. Проанализировав данное соединение можно прийти к

выводу, что при критическом зазоре превышающем 0,24 мм, из зоны контакта деталей активно начинает вытекать смазочный материал, замещаемый абразивными частицами из внешней среды (почва, песок). Возникает сухое абразивное трение которое приводит к еще более интенсивному износу деталей и впоследствии отказу узла в целом [4].

Согласно картам дефектации, при износе осей балансира, их необходимо выпрессовать, направить и проточить до номинального размера, после чего собрать балансир заново.

#### *Заключение.*

Существенно повысить долговечность балансиров трелевочных тракторов поможет применение смазочных материалов, с учетом нагруженности деталей, нагрузок, критического износа, а также климатической зоны, в которой будет работать трактор. При выборе смазочных материалов стоит обратить внимание на вязкость при различных температурных режимах, плотность, наличие присадочных элементов, и ряд других факторов.

#### **Библиографический список**

1. Балихин В.В., Быков В.В., Иванов Н.Ю. Технология ремонта машин и оборудования. – Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2006. – 524 с.
2. Питухин, А.В., Вероятностно-статистические методы механики разрушения и теории катастроф в инженерном проектировании. – Петрозаводск: ПетрГУ, 1998. – 304 с.
3. Шиловский В.Н., Питухин А.В., Костюкович В.М. Надежность лесозаготовительных машин и оборудования. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 288 с.
4. Марков А.Н. Повышение долговечности подшипниковых узлов лесных машин применением композиционных материалов. – Санкт-Петербург: ЛТА, 1996. – 160 с.

	<b>Сведения об авторах</b>
<b>ФИО</b>	Марков В.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	Институтский пер., дом 5, литер У, Санкт-Петербург, 194021
<b>SPIN-код</b>	1503-7932
<b>e-mail</b>	mactor85@mail.ru
<b>ФИО</b>	Карасев Ю.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	Институтский пер., дом 5, литер У, Санкт-Петербург, 194021
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	kyal105@mail.ru

<b>ФИО</b>	Попова Д.А.	
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский	государственный
	лесотехнический университет имени С.М. Кирова	
<b>Адрес организации</b>	Институтский пер., дом 5, литер У, Санкт-Петербург, 194021	
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует	
<b>e-mail</b>	lesingle23malibu@mail.ru	

### **Аннотация**

Многие детали ходовой части гусеничных тракторов различных производителей идентичны или схожи по конструкции и имеют схожие эксплуатационные характеристики. Прогнозирование отказов узлов в которые входят эти детали, может значительно повысить эффективность использования техники. Оценивая полученные данные, приходим к выводу, что кубическая зависимость наиболее точно и адекватно отражает исследуемую зависимость. Наиболее очевидным путем повышение долговечности рассматриваемых узлов, является применение современных смазочных материалов.

**Ключевые слова:** балансиры, износ, отказ, аппроксимация, смазочные материалы.

**УДК 630\*3**

**Разделы рубрикатора ГРНТИ:** 66.15.19, 73.41.41, 55.57.29

## **ПРОЦЕСС КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН НА СНЕЖНОМ ВОЛОКЕ**

**Михайлов О.А.**

### *Введение.*

В предыдущих работах рассматривались вопросы связанные только со сжатием снега под воздействием колесного движителя лесосечных машин. Но для составления корректной математической модели взаимодействия колесного движителя со снегом необходимо проанализировать свойства опорной поверхности и их изменение при уплотнении

Для составления корректной математической модели взаимодействия движителя со снегом проанализируем свойства опорной поверхности и их изменение при уплотнении. Обратимся к сведениям о физико-механических свойствах снега. В работе [1] представлены формулы, связывающие модуль деформации  $E$  [МПа], удельное сцепление  $C_0$  [МПа], угол внутреннего трения  $\varphi$  [°] и коэффициент трения резины о снег  $\varphi_{тр}$  с его удельным весом  $\gamma$  [МН/м<sup>3</sup>] и температурой  $T$  [°С]. Зависимости указанных свойств от удельного веса имеют степенной характер, причем коэффициенты в уравнениях изменяются в зависимости от температуры.

Ранее в работе [2] приводилась математическая зависимость позволяющая определять сжатие деформируемого снежного массива под воздействием колесного движителя, однако общая деформация массива состоит не только из сжатия, но и из сдвига слоев снега [2].

#### *Цель работы*

Получить зависимости позволяющие составить корректурную математическую модель взаимодействия движителя лесосечных машин со снежным покровом на лесосеке

#### *Результаты исследования.*

В работе [2] приводится уравнение позволяющее определять сжатие деформируемого снежного массива под воздействием колесного движителя, однако общая деформация массива состоит не только из сжатия, но и из сдвига слоев снега. Как было отмечено ранее [2], деформации сдвига стремительно развиваются по мере приближения давления  $p$  несущей способности  $q_z$ , увеличивая общую деформацию  $h_f$ . Это явление принято учитывать при расчете общей деформации следующим образом [1], [3]:

$$h_f = \frac{q_z}{q_z - p} h \quad (1)$$

В исследуемой задаче деформируемый снежный массив находится на жестком основании – мерзлом грунте, влияние которого увеличивает несущую способность снега. При определении несущей способности массивов ограниченной толщины принято пользоваться двумя величинами: несущей способностью массива неограниченной толщины и коэффициентом учета влияния близлежащего жесткого слоя. Воспользуемся предельным давлением  $p_z$  в качестве аналога несущей способности снежного массива неограниченной толщины, тогда [1], [3]:

$$q_z = p_z \alpha_H, \quad (2)$$

где  $\alpha_H$  – коэффициент учета влияния близлежащего жесткого основания.

Предельное давление  $p_z$  зависит от плотности снега [2].

Перепишем уравнение из [2], выразив  $\rho$  через  $\rho_0$  и  $\varepsilon$ :

$$p_z = a_{p_z} \left( \frac{\rho_0}{1 - \varepsilon} \right)^{b_{p_z}}, \quad (3)$$

или:

$$p_z = p_{z0} \left( \frac{1}{1 - \varepsilon} \right)^{b_{p_z}}, \quad (4)$$

где  $p_{z0}$  – предельное давление по нормали при  $\rho = \rho_0$ .

Кроме того, относительная деформация массива  $\varepsilon$  связана со сжатием:

$$\varepsilon = \frac{h}{H}. \quad (5)$$

Коэффициент повышения несущей способности за счет уменьшения толщины деформируемого слоя под воздействием движителя рассчитаем по уравнению:

$$\alpha_H = 1 + \frac{1}{2p_{z0}} p \quad (6)$$

После подстановки в уравнение (1) выражений, описывающих сжатие снега [2], запишем:

$$h_f = \frac{\alpha p_{z0} ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{pz}}}{\alpha p_{z0} ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{pz}} - p} \cdot \frac{(1 - \chi p) p C}{1 + (1 - \chi p) p C} H, \quad (7)$$

$$h_f = \frac{(p + 2p_{z0}) ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{pz}}}{(p + 2p_{z0}) ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{pz}} - 2p} \cdot \frac{(1 - \chi p) p C}{1 + (1 - \chi p) p C} H. \quad (8)$$

Уравнение (8) позволяет определить фактическую глубину колеи в зависимости от физико-механических свойств снежного массива, давления со стороны движителя и геометрических параметров пятна контакта с учетом упрочнения снега под воздействием колесного движителя.

Силу сопротивления движителю со стороны деформируемого снега определим как интеграл [1], [3]:

$$F_r = B \int_0^{h_f} p dh_f \quad (9)$$

Воспользуемся формулой взятия определенного интеграла по частям, при этом учтем, что переменные  $h_f$  и  $p$  зависят друг от друга:

$$F_r = B \int_0^{h_f} p dh_f = B h_f p \Big|_0^{h_f} - B \int_0^p h_f dp \quad (10)$$

Для взятия интеграла представим подынтегральную функцию в (10) в виде полинома Тейлора:

$$h_f = \frac{p_{z0} ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{pz}}}{p_{z0} ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{pz}} - p} \cdot \frac{(1 - \chi p) p C}{1 + (1 - \chi p) p C} H = q \approx \sum_{n=1}^k \frac{q^n}{n!} p^n \approx \sum_{n=1}^k \zeta_n p^n, \quad (11)$$

где  $q^n$  – производная функции  $q$  порядка  $n$  по  $p$  в точке 0, коэффициенты  $\zeta_n$  при  $p^n$

$$\zeta_1 = CH,$$

$$\zeta_2 = \frac{CH}{p_{z0}} \{1 - p_{z0}(C - \chi)\}, \quad (12)$$

$$\zeta_3 = \frac{CH}{p_{z0}^2} \left\{ \frac{1}{2} + C p_{z0}^2 (C - 2\chi) - p_{z0} ((b_{pz} + 1)C - \chi) \right\}.$$

...

Тогда запишем уравнение (9) таким образом:

$$F_r \approx B \cdot \left( h_f p - \sum_{n=1}^k \zeta_n \int_0^p p^n dp \right). \quad (13)$$

Определенные интегралы от степеней  $n$  давления  $p$  по формуле (13):

$$\begin{aligned}\xi_1 &= \frac{1}{2} p^2, \\ \xi_2 &= \frac{1}{3} p^3, \\ \xi_3 &= \frac{1}{4} p^4 \\ &\dots\end{aligned}\tag{14}$$

Расчеты, выполненные в тех же диапазонах варьирования исходных данных, что и ранее, показывают, что в формуле (13) можем без существенной потери точности принять  $k = 2$ , тогда:

$$F_r = B C H p^2 \left( \frac{-(p + 2p_{z0})(1 + C\chi p^2 - (C + 2\chi)p)(1 + (p - \chi p^2)C)^{b_{pz}} + 2C\chi p^3 - 2Cp^2 - 2p}{2(C\chi p^2 - Cp - 1)(p + 2p_{z0})(1 + (p - \chi p^2)C)^{b_{pz}} - 2p} \right)\tag{15}$$

Сила сцепления движителя с опорной поверхностью определится как сумма двух составляющих – силы трения резины о снег  $F_{mp}$  и сопротивления снега сдвиговой деформации  $F_\tau$  [1], [3]:

$$F_T = F_{mp} + F_\tau = \varphi_{mp} G_w + B \int_0^L \tau dx,\tag{16}$$

где  $G_w$  – нагрузка на движитель;  $\tau$  – напряжение сдвига,  $x$  – горизонтальная координата, отсчитываемая от начала пятна контакта движителя с опорной поверхностью.

Функцию напряжения сдвига определим, воспользовавшись известным уравнением для расчета деформации сдвига [1], [3]:

$$j = \frac{\tau}{G} t_2 \cdot \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\max} - \tau},\tag{17}$$

где  $\tau$  – сдвиговое напряжение;  $\tau_{\max}$  – максимальное сопротивление сдвигу,  $t_2$  – шаг грунтозацепов;  $G$  – модуль сдвига.

Выразим  $\tau$  из уравнения (17) [1], [3]:

$$\tau = \frac{jG\tau_{\max}}{jG + t_2\tau_{\max}}.\tag{18}$$

При этом деформация сдвига связана с коэффициентом буксования уравнением [1], [3]:

$$j = Sx,\tag{19}$$

где  $S$  – коэффициент буксования.

Максимальное сопротивление сдвигу определим по зависимости [1], [3]:

$$\tau_{\max} = p \operatorname{tg} \varphi + C_0 \left( 1 - \frac{j}{t_2} \right).\tag{20}$$

Интегрирование выражения по формуле (16) с учетом выражений (18) – (20) приводит к следующему уравнению для  $F_T$ :

$$F_T = \varphi_{mp} G_w + \frac{BG^2 L(p \operatorname{tg} \varphi + C_0)}{(G - C_0)^2} - S \cdot \frac{BC_0 GL^2}{2t_z(G - C_0)} - \frac{1}{S} \cdot \frac{(p \operatorname{tg} \varphi + C_0)^2 BG^2 t_z}{(G - C_0)^3} \ln \left( 1 + S \frac{L(G - C_0)}{t_z(p \operatorname{tg} \varphi + C_0)} \right) \quad (21)$$

Величина угла внутреннего трения  $\varphi$  зависит от плотности снега. Модуль сдвига снега  $G$  [МПа] определим в зависимости от плотности  $\rho$  [г/см<sup>3</sup>] по уравнению [4]:

$$G = 0,29\rho \quad (22)$$

В уравнениях [2] и (22) плотность следует определять по уравнениям [2] и (5) поскольку сцепление определяется при взаимодействии движителя с уже уплотненным снегом.

*Заключение.*

По результатам исследований получены формулы для расчета глубины колеи (8) образующейся под воздействием колесного движителя лесной машины, силы сопротивления (15) и силы сцепления движителя с опорной поверхностью (21). Аналитические зависимости получены на основе решения задачи о вдавливании штампа в упрочняющуюся среду, механические свойства которой являются степенными функциями плотности среды, изменяющейся под воздействием штампа.

#### Библиографический список

1. Ларин В.В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дисс...д-ра техн. наук. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 608 с.
2. Тарадин Г.С. Исследование колееобразования и тягово-сцепных свойств движителей колесных лесных машин при работе на заснеженных лесосеках: дисс...канди. техн. наук. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – 115 с.
3. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. – Москва: Машиностроение, 1981. – 232 с.
4. Лухминский В.А. Совершенствование моделей и методов прогнозирования проходимости гусеничных лесных машин: дисс...канди. техн. наук. – Архангельск: САФУ, 2018. – 179 с.

#### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Михайлов О.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	4681 - 4898
<b>e-mail</b>	kerro07@mail.ru

### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы, связанные с получением математических моделей образования колеи, сопротивления перемещению и сцепления колесного движителя лесосечных машин на снегу. Аналитические зависимости получены на основе решения задачи о вдавливании штампа в упрочняющуюся среду, механические свойства которой являются степенными функциями плотности среды, изменяющейся под воздействием штампа.

**Ключевые слова:** колесный движитель, трелевочный трактор, лесосека, снежный массив, математическая модель.

**УДК** 630\*3

**Разделы рубриката ГРНТИ** 66.15.19

## ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ С ЛЕСНЫМ ВОЛОКОМ

**Михайлов О.А., Захаров В.А.**

### *Введение.*

От степени обоснованности и достоверности расчетных схем и математического моделирования взаимодействия трелевочной системы с опорной поверхностью зависит качество теоретического исследования, достоверности прогнозирования рабочих режимов и эффективности работы трелевочных тракторов в различных производственных условиях.

Первый в мире гусеничный трелевочный трактор был создан в середине 40-х годов на базе серийно выпускаемых агрегатов, механизмов и узлов с сохранением их функционального назначения и принципа работы. Следовательно, и разработка теории движения трелевочной системы базировалась на теории тракторов сельскохозяйственного и промышленного назначения. В дальнейшем, при создании колесных лесопромышленных тракторов и лесосечных машин использовалась теория движения автомобиля и колесных машин.

Условия эксплуатации трелевочного трактора принципиально отличаются от условий движения тракторов сельскохозяйственного (с.-х.) назначения и автомобилей. Трактор с.-х. назначения в основном работает в равнинной местности или в местности со слабо пересеченным рельефом. Соответственно и теория его взаимодействия с почвой разрабатывалась без учета поперечного наклона (склона) поверхности. Автомобильные лесовозные дороги даже пятой категории (линии местного назначения и подъездные пути) имеют продольный наклон (уклон) оси не более  $3...6^{\circ}$  [1]. Положением о лесосечных работах допускается работа трелевочных тракторов в летних условиях на уклонах и склонах до  $24^{\circ}$ . При этом трелевочный волок может



иметь одновременно подъем (спуск) в продольной оси, а склон – в поперечной.

В учебниках и научно-производственной литературе рассматривается взаимодействие трелевочного трактора (да и лесосечных машин) только при движении на подъеме без учета склона волока (рис. 1а). Это серьезный недостаток теории движения трелевочного трактора. Такое упрощение не отражает сущность взаимодействия трелевочного трактора с волоком в реальных условиях эксплуатации, особенно гусеничного трактора, и недопустимо при моделировании процессов, возникающих в зоне контакта гусеницы с грунтом, с целью прогнозирования рабочих режимов. В основных регионах России лесозаготовки ведутся в условиях резко пересеченного рельефа, когда трелевочный волок имеет склон в поперечной плоскости (рис. 1б).

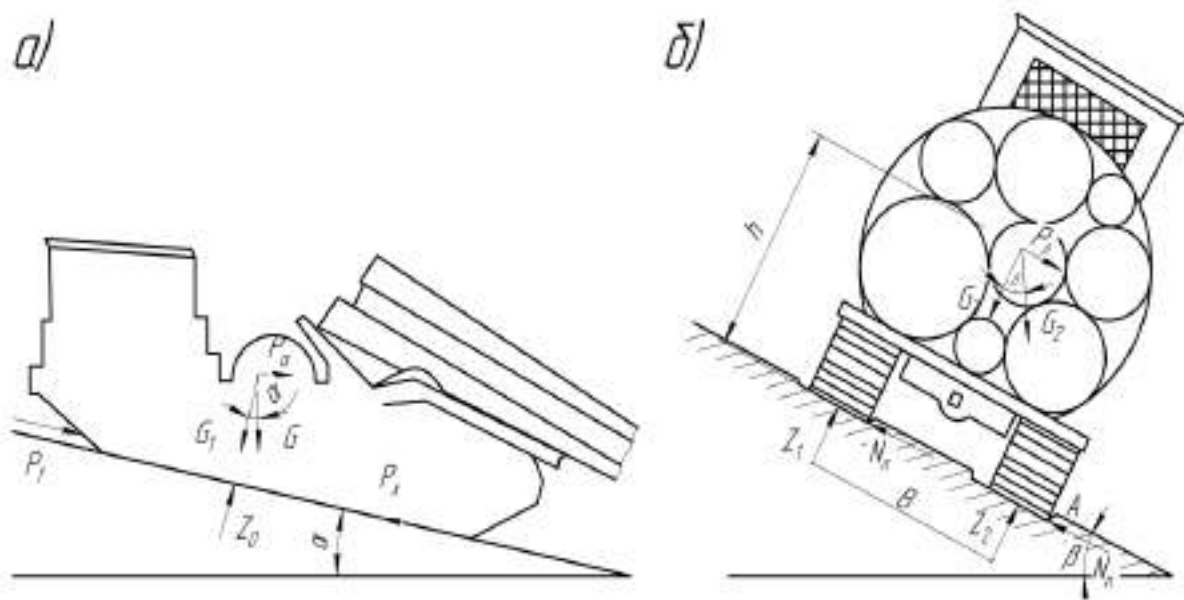


Рис1. Расчетная схема

#### *Цель работы.*

Повышение достоверности и обоснованности теории прогнозирования рабочих режимов трелевочных тракторов при эксплуатации их на лесосеках с резко пересеченным рельефом.

#### *Методика и результаты исследований.*

Рассмотрим некоторые особенности взаимодействия гусеничного движителя с опорной поверхностью при движении трелевочного трактора по горизонтальному участку волока и по волоку, проложенному по склону. При движении по горизонтальному участку волока весь вес трелевочного трактора и части пачки, размещенной на щите, воздействует на поверхность двух гусениц, площадь которых у тракторов ТДТ-55 составляет около  $2,06\text{м}^2$ . При массе трактора 9300 кг среднее давление движителя на волок составит 45 кПа, а с пачкой массой 6000 кг – 57 кПа.

При движении трелевочного трактора по волоку с уклоном в поперечной плоскости  $24^{\circ}$  около 41% его веса будет воздействовать на стенки колеи и создавать реакции почвы  $N_{л}$  и  $N_{п}$  на торцевую часть гусеничных лент. Такое воздействие торцов гусениц с почвой сопровождается возникновением процессов, резко повышающих сопротивление движению трактора, уплотнение почвы и разрушение ее структуры. Составляющая веса трактора без пачки, движущегося по волоку с уклоном  $24^{\circ}$  будет  $P_{\beta}=37$  кН. При этом в зоне контакта торцов двух гусениц, площадь которых составляет всего  $1500$  см<sup>2</sup>, со стенками колеи возникает очень большое среднее давление —  $0.247$  МПа. Это давление в  $5.46$  раза превышает давление, возникающее в зоне контакта опорной поверхности гусениц с горизонтальным волоком. Следует отметить, что максимальное давление гусеничного движителя на опорную поверхность может превышать среднее в  $3...4$  раза. Анализ сил, действующих на трактор (рис. 1,б), показывает, что величина угла склона волока влияет на значение реакции почвы  $N_{л}$  и  $N_{п}$ . При схеме на рис. 1б торец правой гусеницы будет создавать в почве напряжения больших значений, чем торец левой гусеницы. Увеличение высоты центра масс за счет размещения на тракторе трелевочной пачки увеличит эту разницу напряжений в почве.

Экологи, почвоведы, исследователи ходовых систем сельскохозяйственных машин и тракторов с почвой обосновали предельные значения давлений на почвы сельскохозяйственных угодий. Установлено, что при давлении более  $50$  кПа наблюдается переуплотнение почв сельскохозяйственных угодий и разрушение их структуры. Все это сопровождается резким снижением плодородия и урожайности. Движители, создающие давление  $50$  кПа и менее, можно считать «экологически совместимыми» с почвой. Следовательно, при воздействии торцевой поверхности гусеницы на стенку колеи в почве могут создаваться напряжения, в несколько раз превышающие «экологический предел», что, естественно, сопровождается интенсивным переуплотнением и разрушением структуры почвы. Экологический ущерб увеличивается от динамического воздействия торцевых элементов гусеницы на почву при движении их на стенки колеи. Сущность этого процесса практически не исследована.

Следующая особенность воздействия торцевой поверхности гусеницы с колеей (торцевое воздействие) — сопротивление движению трактора. Одним из главных требований, предъявляемых к опорной поверхности звена гусеницы, да и в целом гусеницы, - минимизация значений коэффициента сопротивления качению движителя по опорной поверхности, и цель достигнута.

При воздействии торца гусеницы на стенку колеи ее элементы не опираются на поверхность, а под очень большим давлением врезаются в почву. Вход в колею звеньев гусеницы и выход из нее сопровождается перемещением элементов торцевой поверхности гусеницы по стенке с разрушением и перемещением с большей скоростью частиц почвы. Можно априори утверждать, что коэффициент сопротивления движению по стенке

колеи значительно выше коэффициента сопротивления качению гусеницы по волоку с нулевым углом склона. При движении гусеничного трелевочного трактора по волоку с поперечным склоном  $20...24^{\circ}$  сила сопротивления движению, возникающая под действием реакций  $N_L$  и  $N_P$ , может быть соизмерима с силой сопротивления качению гусеничного движителя по дну колеи.

Разработка теории прогнозирования рабочих режимов трелевочного трактора, эксплуатируемого на лесосеках с резко пересеченным рельефом должна базироваться на смешанном законе распределения суммы всех составляющих сопротивления движению, для определения которых необходимо разработать методику и математические модели.

#### *Заключение.*

В современной теории воздействия трелевочного трактора с опорной поверхностью не учитывается влияние реакции почвы, возникающей от поперечного склона волока, на сопротивление движению трелевочной системы, уплотнение и разрушение структуры почвы.

В работе предложена и обоснована новая концепция взаимодействия движителя с волоком, позволяющая резко повысить достоверность прогнозирования рабочих режимов трелевочных тракторов, особенно при эксплуатации их в условиях пересеченного рельефа лесосеки.

#### **Библиографический список:**

1. Сухопутный транспорт леса / под ред. д-ра техн. наук, проф. В.И. Алябьева. – Москва: Лесная промышленность, 1990. – 416 с.
2. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля: дисс...канд. техн. наук. – Ленинград: ЛТА, 1986. – 198 с.
3. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Метод получения обобщенного закона распределения свойств трелевочного волока // Повышение эксплуатационной эффективности машин для лесозаготовок и лесного хозяйства: межвузовский сборник научных трудов. – Ленинград: ЛТА, 1986. – С. 11-14.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Михайлов О.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	4681-4898
<b>e-mail</b>	kerro07@mail.ru
<b>ФИО</b>	Захаров В.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,

**SPIN-код**  
**e-mail**

Россия  
Отсутствует  
vovaz19982@gmail.com

### **Аннотация**

В статье приводится теория прогнозирования рабочих режимов трелевочного трактора, эксплуатируемого на лесосеках с резко пересеченным рельефом, которая базируется на смешанном законе распределения суммы всех составляющих сопротивления движению. Обобщенный закон распределения свойств трелевочного волока складывается из четырех плотностей распределения коэффициентов сопротивления.

**Ключевые слова:** Лесной волок, трелевочный трактор, поперечный наклон волока, реакция почвы.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

## **СУММАРНЫЙ ЗАКОН ХАРАКТЕРИЗУЮЩЕЙ СВОЙСТВА ТРЕЛЕВОЧНОГО ВОЛОКА**

**Михайлов О.А., Захаров В.А.**

### *Введение.*

Специфика и особенности работы различных лесосечных машин значительно отличаются от условий работы сельскохозяйственных и промышленных гусеничных и колесных тракторов. В работах [1,2] предложена методика получения обобщенного закона распределения свойств трелевочного волока формируемого тремя факторами. Это следующие силы сопротивления: 1) сила, обусловленная качением тягача и скольжением пачки леса, 2) сила, возникающая вследствие продольных уклонов волока, и 3) сила, противодействующая повороту транспортной системы. В этих работах не учитывались боковые уклоны волока.

### *Цель работы.*

Получить обобщенный закон распределения свойств трелевочного волока, учитывающего четыре фактора.

### *Методы исследования.*

В настоящей работе исследована методика отыскания плотности распределения сумм независимых случайных величин.

### Результаты исследования.

Эксплуатационные режимы трелевочных тракторов определяются как результат совместного воздействия различных факторов описываемыми случайными величинами - силами сопротивления разной природы  $X_1, \dots, X_m$ , которые в первом приближении можно считать независимыми случайными величинами [1,2]. Таким образом, закон распределения свойств трелевочного волока определяется функцией плотности распределения  $f_x(x)$ , где

$$X = X_1 + \dots + X_m \quad (1)$$

Неизвестную плотность распределения  $f_x(x)$  удобно отыскивать в терминах нормированной случайной величины:

$$Y = \frac{X-\alpha}{\sigma}; \alpha = MX; \sigma = \sqrt{DX} \quad (2)$$

где  $MX$  и  $DX$  соответственно математическое ожидание и дисперсия случайной величины  $X$ . Используем метод эталонных функций [3] для вычисления плотности распределения  $f_x(x)$ , а именно, представим  $f_x(x)$  в виде

$$f_x(x) = f_0(x) \sum_{n=0}^{\infty} c_n P_n(x) \quad (3)$$

Здесь  $f_0(x)$  некоторая эталонная плотность вероятности и  $p_0(x), p_1(x), \dots$  - система ортонормированных полиномов с весом  $f_0(x)$ . Традиционные методы учета случайных сил сопротивления основаны на использовании только нормальных законов распределения. В [2,4,5] изучались случайные сопротивления (1) при  $m=3$ , где  $X_1$  - сила, обусловленная качением тягача и скольжением пачки леса,  $X_2$  - сила, возникающая вследствие неровностей пути (продольные уклоны волока) и  $X_3$  - сила, противодействующая повороту транспортной системы. Случайные силы сопротивления  $X_2$  и  $X_3$  описывались законами распределения Грама-Шарлье [3] с ненулевыми коэффициентами асимметрии. В [4-5] анализировались изменения режимов эксплуатации трелевочных тракторов, вызванных учетом указанных поправок к нормальному распределению на степень асимметрии.

Последние экспериментальные исследования, проводившиеся на полигоне-волоке Онежского тракторного завода, показывают, что значительное влияние на обобщенный закон распределения свойств трелевочного волока оказывает сила сопротивления, возникающая от боковых уклонов волока  $X_4$ .

В настоящей работе дается методика отыскания плотности распределения сумм (1) независимых случайных величин, каждая из которых имеет произвольное распределение. В качестве весовой функции выберем

$$f_0(x) = (2\pi)^{-0.5} \exp(-0.5x^2). \quad (4)$$

Тогда разложение (3) примет вид [2]

$$f(x) = f_0(x) [1 + \sum_{n=2}^{\infty} c_n (n!)^{-1} H_n(x)]. \quad (5)$$

Здесь  $H_n(x)$  - полиномы Эрмита (ортогональные с весом (4)),

$$H_n(x) = (-1)^n \sqrt{2\pi} \exp(-0.5x^2) f_0^{(n)}(x), \quad (6)$$

в частности,

$$\begin{cases} H_0(x) = 1, H_1(x) = x, H_2(x) = x^2 - 1; \\ H_3(x) = x^3 - 3x. \end{cases} \quad (7)$$

В свою очередь, коэффициенты  $C_n$  ( $n \geq 3$ ) вычисляются в терминах нормированных центральных моментов случайной величины  $X$ , в частности,

$$c_3 = \alpha_3, c_4 = \alpha_4 - 3, c_5 = \alpha_5 - 10\alpha_3, c_6 = \alpha_6 - 15\alpha_4 + 30, \quad (8)$$

где  $\alpha_n = \mu_n \sigma^{-n}$  и  $\mu_n$  – центральные моменты  $X$ .

Плотность распределения  $f_x(x)$  находится методом характеристических функций Ляпунова, т.е. с помощью преобразования Фурье в комплексной форме и его обращения [6]. А именно, вводится характеристическая функция плотности  $f_x(x)$

$$E_x(t) = M(e^{itx}) = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) e^{itx} dx. \quad (9)$$

Согласно [6], для нормированной нормальной случайной плотности распределения [4] находим

$$E_x(t) = \exp(-0,5t^2). \quad (10)$$

В свою очередь, используя соотношение [6]

$$E_{\sigma x + a}(t) = e^{iat} E_x(\sigma t) \quad (11)$$

и известный интеграл ( $\alpha$  – любые,  $\beta > 0$ )

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(\alpha x - \beta^2 x^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{\beta} \exp(0,25\alpha^2 \beta^{-2}). \quad (12)$$

для плотности  $f_{xk}(x)$  типа Грама-Шарлье [3] с параметрами  $a_k$  (математическое ожидание),  $\sigma_k$  (среднее квадратическое отклонение) и  $\alpha_k$  (третий нормированный центральный момент) находим [2]

$$E_{x_k}(t) = E(t; a_k; \sigma_k) \left[ 1 + \frac{1}{6} \alpha_k \sigma_k^3 (it)^3 \right], \quad (13)$$

где

$$E(t; a; \sigma) = \exp(itat - 0,5\sigma^2 t^2). \quad (14)$$

В силу основного свойства характеристической функции (9), примененному к сумме независимых случайных величин (1), получаем

$$E_x(t) = E_{x_1}(t) \dots E_{x_m}(t). \quad (15)$$

Формулы (13)-(15) дают

$$E_x(t) = E(t; a; \sigma) \left[ 1 + \frac{\sigma_1 \sigma_1^3 + \dots + \alpha_m \sigma_m^3}{3!} (it)^3 + \dots \right], \quad (16)$$

Выписанный член в квадратных скобках представляет собой главную часть характеристической функции искомой плотности распределения  $f_x(x)$ . Применяя обратное преобразование Фурье, получаем

$$f_x(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E_x(t) e^{-itx} dt. \quad (17)$$

Из формул (16) и (17) находим

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma} f_0\left(\frac{x-a}{\sigma}\right) \left[ 1 + \frac{\alpha}{3!} H_3\left(\frac{x-a}{\sigma}\right) \right], \quad (18)$$

где

$$\begin{cases} \alpha = \alpha_1 + \dots + \alpha_m; \\ \sigma^2 = \sigma_1^2 + \dots + \sigma_m^2; \\ \alpha = \frac{\alpha_1 \sigma_1^2 + \dots + \alpha_m \sigma_m^2}{\sigma^2} \end{cases} \quad (19)$$

Здесь  $\alpha_k$ ,  $\sigma_k$ ,  $\alpha_k$  – параметры случайных сил сопротивления  $X_k$ , входящих в соотношение (1).

Проиллюстрируем влияние составляющей  $X_4$  на обобщенный закон распределения свойств трелевочного волокна.

В примере рассмотренном в [2] свойства волокна определялись следующими коэффициентами сопротивления (безразмерными аналогами сил сопротивления):

- коэффициентом сопротивления движению трелевочной системы  $X_1 = f_c$  с  $\alpha_1 = 0,200$ ;  $\sigma_1 = 0,066$ ;  $\alpha_1 = 0$ ;

- продольным уклоном волокна  $X_2 = i$  с  $\alpha_2 = 0,003$ ;  $\sigma_2 = 0,077$ ;  $\alpha_2 = -0,020$ ;

- коэффициентом сопротивления повороту  $X_3 = f_{\pi}$  с  $\alpha_3 = 0,020$ ;  $\sigma_3 = 0,007$ ;  $\alpha_3 = 0,038$ ;

Теперь учтем  $X_4 = f_i$  с  $\alpha_4 = 0,015$ ;  $\sigma_4 = 0,053$ ;  $\alpha_4 = -0,010$ .

Следовательно, обобщенный закон сопротивления описывается формулами (18) и (19):

$$\Psi = f_c + i + f_{\pi} + f_i. \quad (20)$$

На рис. 1 представлены плотности распределения суммарного коэффициента сопротивления и четырех его составляющих.

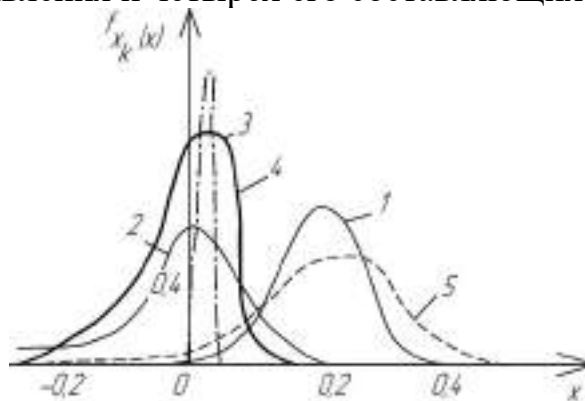


Рис.1. Плотности распределения составляющих коэффициентов сопротивления: 1 – движения трелевочной системы; 2 – продольных уклонов волокна; 3 – поворота; 4 – боковых уклонов волокна; 5 – обобщенный закон распределения

Результаты расчетов  $\psi$  при  $m = 3$  [2] и при  $m = 4$  показывают, что составляющая  $f_i$  значительно влияет на плотность обобщенного закона распределения свойств трелевочного волокна даже при его малых боковых уклонах.

*Заключение.*

Таким образом, из данных экспериментов, проведенных на полигоне-волокне ОТЗ, следует учитывать составляющую  $f_i$  в представлении (20) для реальных производственных условий.

### Библиографический список

1. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля: Дисс...канд. техн. наук. – Ленинград: ЛТА, 1986. – 198 с.
2. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Метод получения обобщенного закона распределения свойств трелевочного волока // Повышение эксплуатационной эффективности машин для лесозаготовок и лесного хозяйства: межвузовский сборник научных трудов. – Ленинград: ЛТА, 1986. – С. 11–14.
3. Пугачев В.С. Теория случайных функций. – Москва: Физматиз, 1962. – 884 с.
4. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Прогнозирование времени движения трелевочной системы на отдельных передачах. // Изв. вузов. Лесной журнал, 1986. – №5. – с. 30-33.
5. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Прогнозирование вероятности использования передаточных чисел трансмиссии трелевочного трактора. // Тракторы и сельхозмашины. 1989. – №4. – С. 17–19.
6. Чистяков В.П. Курс теории вероятностей. Москва: Агар, 1996. – 255 с.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Михайлов О.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	4681-4898
<b>e-mail</b>	kerro07@mail.ru
<b>ФИО</b>	Захаров В.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	vovaz19982@gmail.com

### Аннотация

В статье получена зависимость, из которой следует учитывать составляющую боковых уклонов волока при расчете обобщенного закона распределения параметров, определяющих свойства трелевочного волока. Экспериментальные исследования проводившиеся на полигоне-волоке Онежского тракторного завода, показывают, что значительное влияние на обобщенный закон распределения свойств трелевочного волока оказывает сила сопротивления, возникающая от боковых уклонов волока.

**Ключевые слова:** лесосечная машина, обобщенный закон распределения, трелевочный трактор, боковой уклон волока.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19



## К ВОПРОСАМ ВНЕДРЕНИЯ И ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Мосеев И.Г., Дудкин М.Е.

### *Введение.*

Происходящие в настоящее время масштабные процессы изменения функционирования как отдельных компаний так и целых отраслей экономики связаны с развитием целого ряда цифровых технологий. Не исключением является лесопромышленный комплекс. Особое значение в числе применяемых технологий принадлежит цифровым двойникам.

### *Постановка задачи.*

Цифровой двойник – это комплекс постоянно обновляемых и уточняемых в соответствии с техническим заданием динамических моделей реального физического объекта или процессов [1,2].

### *Анализ вопроса.*

Для создания цифровых двойников могут использоваться разные технологии и их сочетания, в том числе цифровое проектирование и моделирование, большие данные, искусственный интеллект, дополненная и виртуальная реальности, беспроводная связь, промышленный интернет вещей и другие.

Цифровой двойник изделия включает в себя полное его описание:

- 1) 3D-модели, создаваемые инструментами CAD;
- 2) модели систем, используемые решениями для системного проектирования сложных изделий, спецификации материалов (BOM);
- 3) 1D-, 2D- и 3D-модели для расчетов и анализа с помощью CAE-систем;
- 4) встроенное программное обеспечение, разрабатываемое и тестируемое с помощью средств ALM;
- 5) электронная часть проекта.

На рис. 1 представлены этапы создания цифрового двойника.



Рис.1. Этапы создания цифрового двойника [3]

Результатом использования указанных элементов становится компьютерная модель, обеспечивающая виртуальную валидацию и верификацию проектируемого процесса или изделия.

На базе цифрового двойника изделия создаётся эксплуатационный цифровой двойник, обеспечивающий возможность получать и анализировать данные об их реальных характеристиках прототипа в процессе эксплуатации.

Анализ первичных данных дает информацию позволяющую доводить прототип до требуемых по техническому заданию параметров конечного процесса или изделия.

В агентстве Research Dive провели анализ рынка цифровых двойников по отраслям и определили, что в 2021 году на автомобилестроение и транспорт приходилось 22,5% рынка (рис. 2).

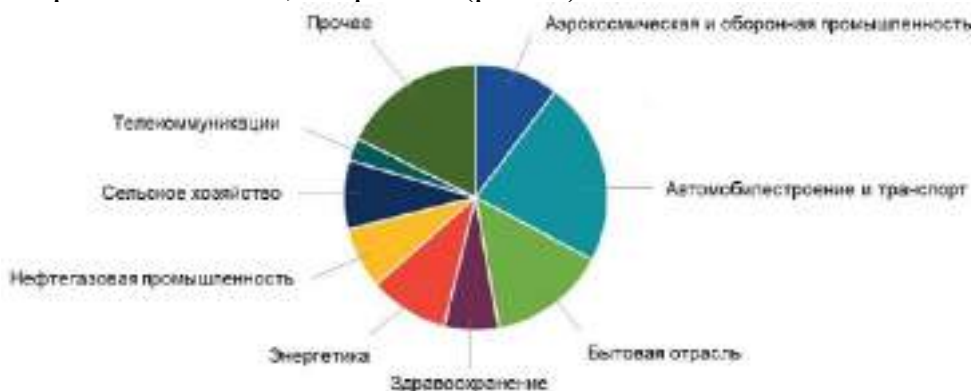


Рис. 2. Рынок цифровых двойников по отраслям, 2021 г. Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Research Dive [4]

Из представленного анализа видно, что лесопромышленный комплекс отстает от других отраслей в части внедрения технологий цифровых двойников.

В связи с этим встает вопрос сокращения отставания отрасли путем увеличения внедренческих решений. База для этого давно создана и существует, в виде разработанных математических моделей, как технологических процессов, так и лесных машин [5].

*Вывод.*

Цифровые двойники изделий должны и могут применяться в лесной промышленности, обеспечивая все преимущества технологии цифровых двойников.

Прогноз развития технологии и несомненно успешные решения применения цифровых двойников мотивируют к массовому внедрению технологии.

#### Библиографический список

1. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / под науч. ред. А.И. Боровкова. – Москва: АльянсПринт, 2020. – 401 с.
2. Building Digital Twin Congress. Authoring Digital Twin Concept [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=0S74PBdYicU> (Дата обращения 14.04.2023).

3. Цифровые двойники. ИЦ ИАС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecias.ru/ru/activities/cifrovye-dvoyniki> (Дата обращения 14.04.2023).
4. Digital Twin Market Analysis, Size, Growth rate, Market shares and Forecasts to 2030. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchdive.com/5951/digital-twin-market> (Дата обращения 14.04.2023).
5. Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин. Москва: Экология, 1995. – 257с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Мосеев И.Г.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	moseev_igor@inbox.ru
<b>ФИО</b>	Дудкин М.Е.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	moseev_igor@inbox.ru

#### **Аннотация**

В статье рассматриваются новая концепция при разработке лесных машин с применением технологии цифровых двойников.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, технология, проектирование, модель.

**УДК** 537.315

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 90.03.03

## **РАСЧЕТ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИ МЯГКОМ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ**

**Пенкин А.Н.**

### *Введение.*

Малоцикловой усталостью называют такой вид циклического напряжения, при котором конструкция испытывает упругопластические деформации. Расчеты на малоцикловую усталость при одноосном растяжении-сжатии детально разработаны и строятся обычно на основе деформационной модели повреждений [1]. В этой области накоплен

обширный экспериментальный материал, позволяющий проверять предложенные расчетные соотношения. Инженерные расчеты на малоцикловую усталость при разработаны в меньшей степени, несмотря на наличие ряда исследований [2,3].

*Цель работы.*

Целью данной работы является построение кинетического уравнения повреждений энергетического типа, с помощью которого можно прогнозировать долговечность в условиях стационарного нагружения.

*Методы исследования.*

Работа основана на применении теории механики деформированного твердого тела и математического анализа.

*Результаты исследования.*

Для определения долговечности конструктивных элементов при малоцикловом нагружении часто применяют кинетические уравнения повреждений, которые строятся на основе безразмерной меры повреждений ( $0 \leq P \leq 1$ ), интегрально отражающей стадию развития пор, микротрещин разрыхления и других явлений, приводящих в конечном итоге к образованию магистральной трещины усталости.

Для получения исходной экспериментальной информации и проверки предложенных соотношений проводились испытания трубчатых образцов, изготовленных из стали 45 на малоцикловую усталость при стационарных режимах нагружения и линейном напряжённом состоянии. Опыты проводились при комнатной температуре в условиях мягкого нагружения.

Введём безразмерную меру повреждений  $P$ , которая изменяется в процессе циклического нагружения и достигает единицы в момент разрушения. Представим полную меру повреждений материала при малоцикловом нагружении в виде суммы трёх величин:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (1)$$

где  $P_1$  – статическое повреждение материала в первом полупериоде нагружения, определяемое из выражения:

$$P_1 = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_p}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{max}$  – максимальное напряжение цикла,  $\sigma_p$  – истинное сопротивление разрыву.

Величина  $P_2$  – усталостная поврежденность, накапливающаяся в материале при циклическом нагружении, зависящая от площади петли пластического гистерезиса  $\omega$  определяется:

$$P_2 = \varphi \left( \frac{\omega}{\omega_p} \right) N, \quad (3)$$

где  $N$  – число циклов нагружения,  $\omega_p$  – площадь кривой статического разрушения,  $\omega$  – площадь петли пластического гистерезиса, построение которой подробно описано в работе [2].

Величина  $P_3$  – поврежденность, накапливающаяся в материале за счёт одностороннего накопления пластических деформаций:

$$\Pi_3 = f\left(\frac{\Omega}{\omega_p}\right) N, \quad (4)$$

где  $\Omega$  – величина работы односторонне накопленной пластической деформации за один цикл нагружения.

С учетом (2) – (4) выражение (I) представляется в следующем виде:

$$\Pi = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_p} + \varphi\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right) N + f\left(\frac{\Omega}{\omega_p}\right) N. \quad (5)$$

Из этого выражения следует уравнение кривой усталости. В момент разрушения при  $\Pi=1$  имеем:

$$\sigma_{\max} = \sigma_p \left[ 1 - \varphi\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right) N_p - f\left(\frac{\Omega}{\omega_p}\right) N_p \right]. \quad (6)$$

Последняя зависимость допускает следующую механическую интерпретацию. Разрушение наступает в тот момент, когда растягивающее напряжение, необходимое для образования магистральной трещины, вследствие накопления усталостных повреждений и повреждений за счёт одностороннего накопления пластических деформаций снижается до величины фактически действующего максимального за период цикла напряжения  $\sigma_{\max}$ . При  $N < N_p$  максимальное за период цикла напряжение ещё меньше  $\sigma_p$ , а случай  $N < N_p$  невозможен.

Функциональные параметры, входящие в кинетическое уравнение повреждений (5), определяются на основе диаграмм малоциклового деформирования с учётом циклической нестабильности и одностороннего накопления пластических деформаций, полученных расчётом путём.

Экспериментально установлено, что одностороннее накопление пластических деформаций практически отсутствует при значении коэффициента асимметрии равном  $R\sigma = -1,035$ . В этом случае разрушение происходит за счёт накопления повреждений усталости, и выражение (5) при стационарном нагружении запишется в виде:

$$\Pi = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_p} + \varphi\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right) N. \quad (7)$$

Принимая  $\Pi=1$  (при разрушении) определим функциональный параметр, отвечающий за усталостное разрушение

$$\varphi\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right) = \left(1 - \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_p}\right) \frac{1}{N_p}. \quad (8)$$

При известном функциональном параметре  $\varphi\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)$  мы можем из уравнения (5) (при  $\Pi=1$ ) определить другой функциональный параметр, отвечающий за одностороннее накопление пластических деформаций в виде следующего соотношения:

$$f\left(\frac{\Omega}{\omega_p}\right) = \left(1 - \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_p}\right) * \frac{1}{N_p} - \varphi\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right). \quad (10)$$

При известных постоянных и функциональных параметрах можно определить предполагаемую долговечность конструктивного элемента при

малоцикловом нагружении при различных коэффициентах асимметрии  $R\sigma$  нагружения по формуле:

$$N_p = \frac{1 - \sigma_{max}/\sigma_p}{\left[ \sigma \left( \frac{\omega}{\omega_p} \right) + i \left( \frac{D}{\omega_p} \right) \right]} \quad (12)$$

#### *Заключение.*

В результате проведенных исследований получено выражение для определения долговечности конструктивного элемента при мягком малоцикловом нагружении на основе уравнения повреждений, учитывающее статическую составляющую, циклические повреждения и одностороннее накопление пластических деформаций.

#### **Библиографический список**

1. Павлов П.А. Механические состояния и прочность материалов. – Ленинград: ЛГУ, 1980. – 175 с.
2. Пенкин А.Н., Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Дедедер М.А., Торочков Д.А. Исследование механизма усталостного разрушения малоуглеродистой стали // Сборник статей по материалам науч.-тех. конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2021 [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – С. 329-333.
3. Пенкин А.Н. Построение диаграмм малоциклового деформирования при расчётах на малоцикловую усталость в условиях сложного напряженного состояния // Известия вузов. Машиностроение. 1989. – №12. – С. 11-14.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Пенкин А.Н.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	anpenkin2020@mail.ru

#### **Аннотация**

В статье на основании кинетического уравнения повреждений получено уравнение учитывающее статическое нагружение, усталостную поврежденность при циклическом нагружении и поврежденность, которая накапливается в материале за счет одностороннего накопления пластических деформаций. Полученное уравнение позволяет рассчитывать долговечность конструктивного элемента при мягком малоцикловом нагружении.

**Ключевые слова:** конструктивный элемент, малоцикловая усталость, долговечность, деформации, напряжения.

УДК 539.385

Разделы рубрикатора ГРНТИ 30.19.57

## ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

Пенкин А.Н., Демиденко В.А., Вишнев Д.В., Торошин П.С.

### *Введение.*

Малоцикловой усталостью называют такой вид циклического напряжения, при котором конструкция испытывает упругопластические деформации. Расчеты на малоцикловую усталость при одноосном растяжении-сжатии детально разработаны и строятся обычно на основе деформированной модели повреждений [1-2]. В этой области накоплен обширный экспериментальный материал, позволяющий проверять предположенные расчетные соотношения.

### *Цель исследований.*

Целью работы является построение инженерной методики расчетов диаграмм малоциклового деформирования при линейном напряженном состоянии.

### *Методы исследований.*

Методы теории механики деформированного твердого тела, математический анализ.

### *Результаты исследований.*

Для достижения цели должны быть решены две самостоятельные задачи. Во-первых, должны быть составлены рациональные уравнения механических состояний материала для расчета упругопластических деформаций при сложном нагружении [1,3] с учетом деформационной анизотропии материала. Эти уравнения должны допускать учет циклической нестабильности и одностороннее накопление пластических деформаций. Во-вторых, должно быть построено кинематическое уравнение повреждений малоцикловой усталости, допускающее определение необходимых параметров материала [2].

В настоящем сообщении рассматриваются удобные в приложениях уравнения механических состояний материала, служащие для построения пути пластического деформирования по заданному пути нагружения. Расчет основан на применении структурно-механической модели гипотетического материала (рис. 1), которая учитывает деформационную анизотропию материала. Здесь  $E_1, E_3, E_4, E_6$  – коэффициенты жесткости ветвей 1, 3, 4 и 6 соответственно, а  $C_2, C_5, C_7$  – предельные сопротивления ветвей 2, 5 и 7.  $E_1$  – обычный модуль упругости материала. Все указанные параметры модели определяются из условий аппроксимации стабилизированной петли пластического гистерезиса в 5-7 цикле нагружения при любом коэффициенте асимметрии. На рис. 2 представлена такая диаграмма, полученная экспериментально при растяжении-сжатии образца из стали 45 при симметричном цикле нагружения и максимальном напряжении цикла  $\sigma_{\max}$  – 540 МПа.

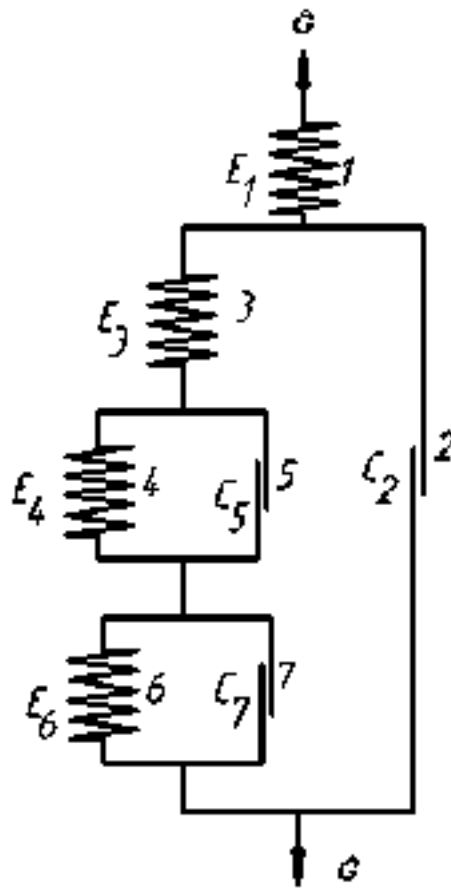


Рис. 1. Структурно-механическая модель материала

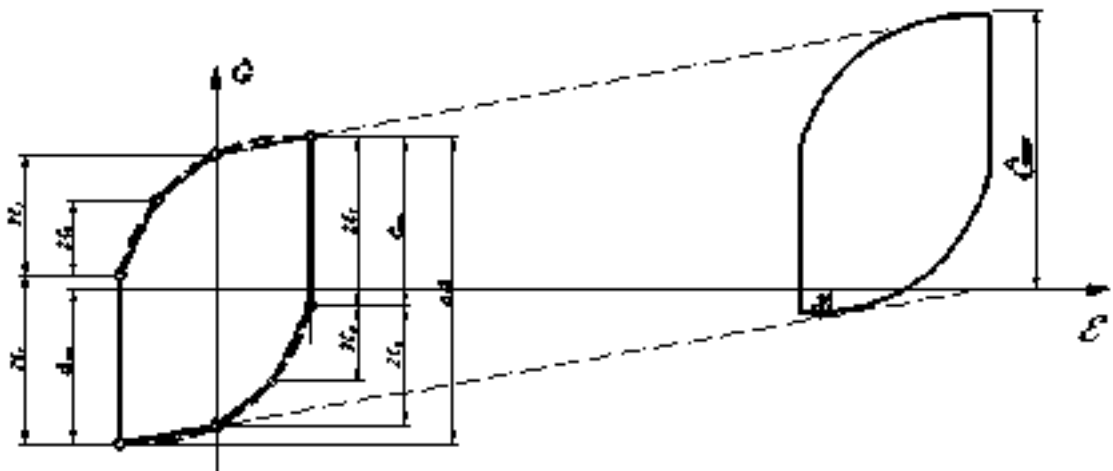


Рис. 2. Определение параметров структурной модели

При активном нагружении до уровня напряжения  $\sigma = C_2$  происходит только упругая деформация звена 1, при  $C_2 + C_5 > \sigma > C_2$  деформация определяется по выражению:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma - C_2}{E_2}, \quad (1)$$

где  $\sigma/E_1$  – упругая часть полной деформации.

При  $C_2 + C_7 > \sigma > C_2 + C_5$  (при условии  $C_7 > C_5$ ) выражение для деформации имеет вид (здесь и далее упругая часть опущена)



$$\varepsilon = \frac{\sigma - C_2}{E_3} + \frac{\sigma - C_2 - C_3}{E_4}. \quad (2)$$

И, наконец, при  $\sigma > C_2 + C_7$  работают все звенья, причем

$$\varepsilon = \frac{\sigma - C_2}{E_3} + \frac{\sigma - C_2 - C_3}{E_4} + \frac{\sigma - C_2 - C_7}{E_6}. \quad (3)$$

При разгрузке происходит сначала только обратная деформация ветви 1. Включающей звено с модулем упругости  $E_1=E$ , тогда как система остальных ветвей ведет себя, как абсолютно твердое тело, в котором, существуют внутренние остаточные деформации ветвей 3, 4, 6. В тот момент, когда напряжение уменьшится на величину  $2C_2$  начинается обратная деформация ветвей 2 и 3. Когда напряжение уменьшится на величину  $2(C_2 + C_3)$ , в обратную деформацию включаются ветви 4 и 5, и наконец, при уменьшении напряжения на величину  $2(C_2 + C_7)$ , происходит обратная деформация всей системы, состоящей из ветвей 2-7. Формулы (1)-(3) могут быть использованы для определения обратных деформаций.

При повторном нагружении на величину  $2C_2$  снова начинается деформация прямого хода, а с приложением растягивающего напряжения, равного  $2(C_2 + C_7)$ , петля пластического гистерезиса замыкается.

Предполагаемые уравнения механических состояний (1)-(3) не учитывают циклическую нестабильность и одностороннее накопление пластических деформаций. Учет этих факторов сводится к учету влияния параметров цикла и числа циклов нагружения на коэффициенты жесткости  $E_3$ ,  $E_4$ ,  $E_6$ . Если коэффициенты жесткости с числом циклов возрастают, то петли пластического гистерезиса становятся уже, и материал циклически упрочняется, а если коэффициенты жесткости с числом циклов уменьшаются, то материал разупрочняется.

Одностороннее накопление пластических деформаций происходит в том случае, когда коэффициенты жесткости являются неодинаковыми при деформировании в прямом и обратном направлении, то есть в четных и нечетных полуциклах. Для упрощения расчетных зависимостей можно допустить, что все три коэффициента  $E_3$ ,  $E_4$  и  $E_6$  изменяются с переходом от четного к нечетному полуциклу в одинаковых отношениях, зависящих от числа циклов  $N$ . Пусть для четных полуциклов:

$$E'_m = \alpha(\bar{N}) \cdot E_m. \quad (4)$$

где  $\bar{N} = N/N_p$ ,  $N_p$  – число циклов до разрушения, а  $m=3, 4, 6$ .

Для нечетных полуциклов:

$$E''_m = \alpha(\bar{N}) \cdot \gamma(\delta) \cdot E_m, \quad (5)$$

где  $\gamma(\delta)$  – коэффициент, зависящий от величины односторонне накопленной пластической деформации за один цикл. Для четных полуциклов  $\gamma\delta = 1$ , а для нечетных  $\gamma(\delta) < 1$ . Зависимости и определяются либо, а основании экспериментов, проводимых при линейном напряженном состоянии, либо с помощью известных выражений, предложенных для разупрочняющихся материалов [1,2] в виде:

$$\alpha(N) = \alpha(1)\exp[\beta(k - 1)]; \quad (6)$$

$$\alpha(\sigma) = \alpha(1)\exp[\beta(k - 1)]. \quad (7)$$

Экспериментальная проверка соотношений (6), (7), проведенная для разупрочняющейся стали 45 дала хорошие результаты.

*Заключение.*

В результате проведенных исследований проводится методика расчета петель пластического гистерезиса при малоцикловом мягком нагружении. Учет циклической нестабильности и одностороннего накопления пластических деформаций позволяет с большой точностью описывать реальный процесс малоциклового усталостного деформирования.

#### Библиографический список

1. Павлов П.А. Механические состояния и прочность материалов. – Ленинград: ЛГУ, 1980. – 175 с.
2. Пенкин А.Н., Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Дередер М.А., Торочков Д.А. Исследование механизма усталостного разрушения малоуглеродистой стали // Сборник статей по материалам науч.-тех. конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2021. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – С. 329-333.
3. Пенкин А.Н. Построение диаграмм малоциклового деформирования при расчетах на малоцикловую усталость в условиях сложного напряженного состояния // Известия вузов. Машиностроение. 1989. – №12. – С. 11-14.

#### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Пенкин А.Н.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	apenkin2020@mail.ru
<b>ФИО</b>	Торощин П.С.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	bukafeed98@gmail.com
<b>ФИО</b>	Демиденко В.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	zombieeatmybrain@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Вишнев Д.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	mr.davinson18@gamil.com

### **Аннотация**

В статье на основании структурно-механической модели гипотетического материала приводится метод построения петель пластического гистерезиса при мягком малоцикловом нагружении. Основанием для расчета являются экспериментальные исследования образцов из малоуглеродистой стали при симметричном цикле нагружения.

**Ключевые слова:** петля гистерезиса, малоцикловая усталость, циклическая нестабильность, деформации, напряжения.

УДК 539.385

Разделы рубрикатора ГРНТИ 30.19.57

## **РАСЧЕТ КРИВЫХ УСТАЛОСТИ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ**

**Пенкин А.Н., Демиденко В.А., Вишнев Д.В., Торощин П.С.**

*Введение.*

В работе предлагается метод построения кривых усталости образцов с концентраторами напряжения на основе исходной экспериментальной информации о кривой усталости для гладких образцов и эмпирической зависимости эффективного коэффициента концентрации при циклическом нагружении от числа циклов до разрушения.

*Цель исследований.*

Используя исходную экспериментальную информацию об усталости образцов без концентраторов напряжений предложить методику расчета конструкций на малоцикловую усталость с концентраторами напряжений.

*Методы исследований.*

Методы теории механики деформированного твердого тела, математический анализ.

### Результаты исследований.

Рассмотрим способ расчета для построения кривых малоциклового усталости плоских образцов с различными концентраторами напряжений по исходной экспериментальной информации о кривой усталости гладких образцов и данных статического испытания образца с каким-либо определенным видом концентратора. В последнем случае определяется эффективный коэффициент концентрации  $K_f$  по формуле:

$$K_f = (K_\sigma K_\varepsilon)^{1/2} = \left( \frac{\sigma_a \varepsilon_a}{S_a e_a} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_a$  – амплитуда действительных напряжений гладких образцов,  $S_a$  – амплитуда номинальных напряжений образцов с концентраторами,  $\varepsilon_a$  – амплитуда деформации в основании концентратора,  $e_a$  – амплитуда номинальных осредненных деформаций в опасном сечении.

Рассмотрим сначала определение величины  $S_a$  в случае, когда номинальное напряжение ниже предела текучести. В этом случае формулу (1) можно переписать в виде:

$$S_a = \frac{(\sigma_a \varepsilon_a E)^{1/2}}{K_f}. \quad (2)$$

На основании опытных данных эффективный коэффициент концентрации определяется по формуле:

$$K_f = a \lg N_p + b - c K_f' \quad (3)$$

где  $N_p$  – число циклов до разрушения,  $K_f'$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений при статическом разрыве образца,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – экспериментальные коэффициенты для стали 45  $a = 0,05$ ;  $b = 1,43$ ;  $c = 1,64$ .

С учетом выражения (3) формулу (2) для определения номинальных напряжений образцов с концентратором напряжений можно записать в виде:

$$S_a = \frac{(\sigma_a \varepsilon_a E)^{1/2}}{a \lg N_p + b - c K_f'} \quad (4)$$

Для построения кривых усталости образцов при номинальных напряжениях выше предела текучести можно воспользоваться формулой (1), подставив вместо амплитуды номинальных деформаций  $e_a$  интенсивность упругопластических деформаций  $e_i$  в зоне концентрации.

Для экспериментального изучения распределения упругопластических деформаций использовался метод делительных сеток, методика нанесения которых приведена в работе [1]. Опыты проводились как на гладких образцах, так и на образцах с различными концентраторами напряжений [2]. Ширина концентратора  $d$  оставалась постоянной, а высота изменялась от  $b = d = 10$  мм до 0,02 мм. При этом теоретический коэффициент концентрации напряжений в упругом случае составил  $K_t = 2,6$ ; 3,5; 5,4; 13,2. Испытания проводились при нулевом цикле нагружения и комнатной температуре.

По искажению элементов делительной сетки определяли интенсивность упругопластических деформаций  $e_i$ . В квазистатической области с увеличением числа циклов происходило накопление пластической деформации на контуре концентратора, и когда интенсивность деформаций в точках, расположенных на горизонтальном диаметре концентратора достигала величины предельной деформации при статическом разрыве полосы без концентратора, появлялась горизонтальная трещина. За разрушение принимали долговечность, при которой трещина достигала 20 микрон.

В [2] показаны кривые изменения предельной интенсивности упругопластических деформаций  $e_i^{np}$  от числа циклов до разрушения. Горизонтальная линия представляет собой участок квазистатического разрушения и далее происходит постепенный переход к усталостному разрушению.

На основании результатов экспериментальных исследований было установлено, что интенсивность упругопластических деформаций может быть найдена по эмпирической формуле:

$$e_i = A + B(K_t - C) \varepsilon_n, \quad (5)$$

где:  $\varepsilon_n$  – номинальная упругопластическая деформация, А, В, С – экспериментальные коэффициенты для исследуемого материала А = 0,012; В = 7; С = 6.

При известных значениях  $e_i$  можно воспользоваться формулой (1) для определения номинальных напряжений в образцах с концентраторами напряжений:

$$S_a = \frac{\sigma_a \varepsilon_a}{K_f^2 e_i} \quad (6)$$

Подставляя (5) в (6) получаем окончательное выражение для определения номинальных напряжений в образцах с концентраторами при нагружении выше предела текучести материала:

$$S_a = \frac{\sigma_a \varepsilon_a}{K_f^2 [A + B(K_t - C) \varepsilon_a]} \quad (7)$$

В [2] показаны кривые усталости гладких образцов и образцов с концентрацией напряжений. Штриховыми линиями показаны кривые усталости, построенные с помощью формулы (4) при номинальных напряжениях ниже предела текучести и с помощью формулы (7) при напряжениях выше предела текучести.

#### *Заключение*

Таким образом методика построения кривых усталости образцов с концентраторами напряжений на основе исходной экспериментальной информации о кривой усталости для гладких образцов и эмпирической зависимости эффективного коэффициента концентрации при циклическом нагружении от числа циклов до разрушения может быть использована для построения кривых усталости образцов с концентраторами напряжений по

результатам испытаний гладких образцов и по данным испытаний на разрыв образца с каким-либо одним видом концентратора.

### **Библиографический список**

1. Бородин Н.А. Метод нанесения прецизионных длительных сеток // Заводская лаборатория. 1963. – №1. – С. 25-29.
2. Сергеевичев А.В., Пенкин А.Н., Власов Е.Н., Торочков Д.А., Дедерер М.А. Малоцикловая усталость образцов с концентраторами напряжений // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. С. 325-327.

### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Пенкин А.Н.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	anpenkin2020@mail.ru

<b>ФИО</b>	Тороцин П.С.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	bukafeed98@gmail.com

<b>ФИО</b>	Демиденко В.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	zombieeatmybrain@yandex.ru

<b>ФИО</b>	Вишнев Д.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	mr.davinson18@gamil.com

### **Аннотация**

В статье на основании исходной экспериментальной информации о кривой усталости для гладких образцов и эмпирической зависимости эффективного коэффициента концентрации напряжений при циклическом нагружении от числа циклов приводятся выражения для определения интенсивности упруго-пластических деформаций и номинальных напряжений конструкций с концентраторами напряжений, что позволяет оценить долговечность конструкции.

**Ключевые слова:** концентратор напряжений, малоцикловая усталость, долговечность, деформации, напряжения.

**УДК 539.385**

**Разделы рубриката ГРНТИ 30.19.57**

## **ИСПЫТАНИЕ СИСТЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИСТОВЫХ РЕССОР**

**Силина В.И., Чураков А.В., Шушков П.Н.**

### *Введение.*

Подвеска играет немаловажную роль в конструкции автомобиля — именно от ее работы зависит плавность перемещения машины по дорогам. А поскольку дороги бывают не очень хорошего качества, или их вообще нет, нагрузка на подвеску возрастает в несколько раз. Рессорная подвеска отлично продемонстрировала себя как раз-таки в тяжелых условиях эксплуатации автомобилей, особенно на лесозаготовительных машинах. Поэтому вопрос испытания листовых рессор, не теряет своей актуальности, так как от этого зависят основные эксплуатационные характеристики машины. А с уходом большинства западных компаний с российского рынка, выбор оборудования для испытания листовых рессор является проблемой.

### *Цель работы.*

Определить необходимые параметры для исследования листовых рессор, и подобрать подходящее для этого оборудование.

### *Метод исследования.*

Согласно ГОСТ 33556-2015 «Рессоры листовые автомобильных транспортных средств. Технические требования и методы испытаний» листовая рессора – это упругий элемент подвески, состоящий из стальных листов в сборе, имеющих одинаковую ширину и различную длину.

Рессоры производятся различной формы, числом листов и нагрузкой, чтобы колеса преодолевали отвалы и неровности пути, при этом смягчая возможные удары и толчки.

ГОСТ 33556-2015 регламентирует основные параметры и размеры рессор, которые указывают в конструкторской документации, утвержденной в установленном порядке:

- контрольная нагрузка (рекомендуется равной статической);
- нагрузка при осадке, или деформация при осадке;
- стрела прогиба под контрольной нагрузкой;
- жесткость рессоры при контрольной нагрузке;
- длина рессоры;
- длина переднего конца рессоры (для несимметричных рессор);
- длина заднего конца рессоры (для несимметричных рессор);
- твердость листов после термообработки НВ.

Правильность сборки, комплектность, отсутствие механических повреждений, качество лакокрасочного покрытия, а также наличие клейм и маркировки контролируют визуально, качество лакокрасочного покрытия - визуально, сравнением с контрольным образцом, утвержденным в установленном порядке, или в соответствии с ГОСТ 7593. Основные параметры рессор представлены на рис. 1.

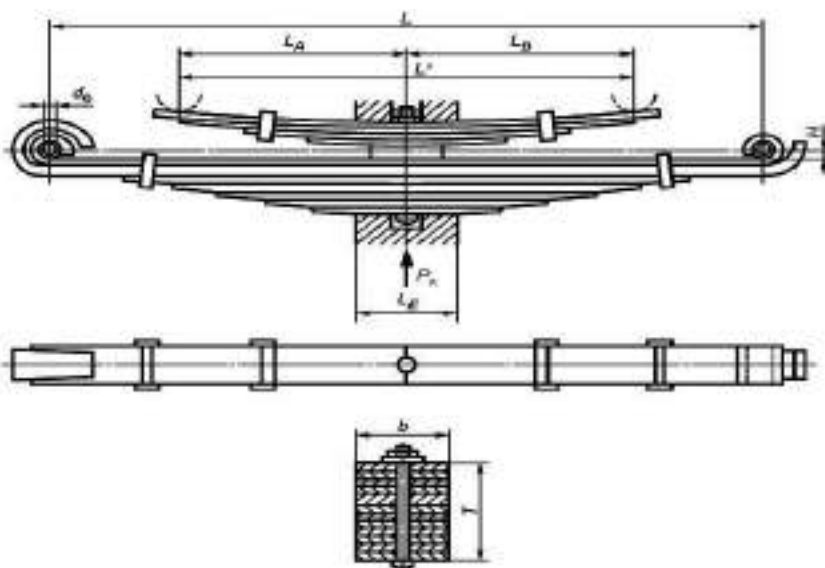


Рис. 1. Основные параметры рессор

Листовые рессоры подвергаются следующим видам контроля и испытаний:

- приемке службой технического контроля;
- стендовым определительным и периодическим ресурсным испытаниям.

Правильность сборки, комплектность, отсутствие механических повреждений, качество лакокрасочного покрытия, а также наличие клейм и маркировки контролируют визуально, качество лакокрасочного покрытия - визуально, сравнением с контрольным образцом, утвержденным в установленном порядке, или в соответствии с ГОСТ 7593.

Жесткость рессоры определяют отношением приращения нагрузки по средней линии характеристики при прогибе  $\pm 25$  мм от положения, соответствующего контрольной нагрузке, к значению этого прогиба (рис. 2).



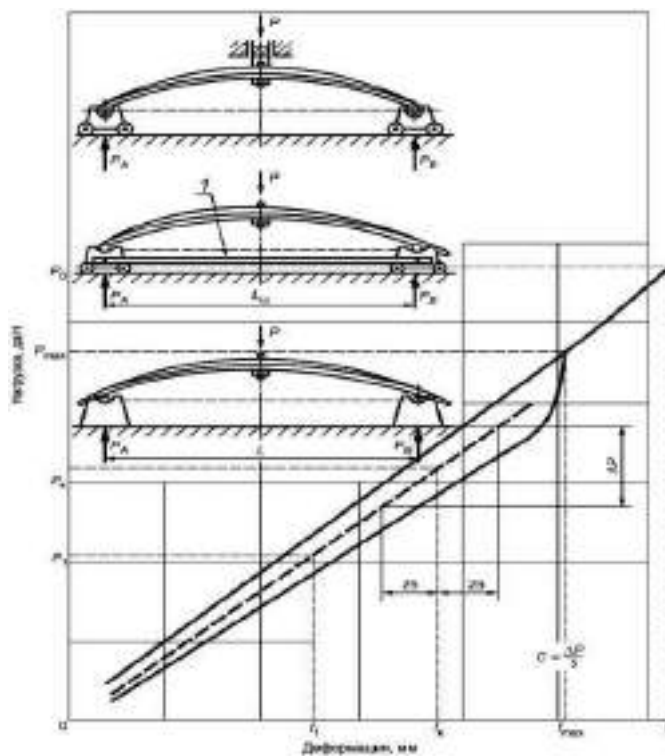


Рис. 2. Определение жесткости рессоры:  
 1 – штанга; P – нагрузка, даН; C – жесткость

Стрелу выгиба рессоры под контрольной нагрузкой проверяют на специально оборудованных стендах, при этом следует соблюдать следующие требования:

- рессору устанавливают так, чтобы направление действия нагрузки было перпендикулярно к коренному листу в выпрямленном состоянии;
- опоры концов рессоры должны обеспечивать их свободное перемещение в горизонтальном направлении при прогибе рессоры;
- ушки рессоры должны свободно проворачиваться на своих опорах;
- рессору устанавливают в свободном состоянии без заделки стремлянками, но стянутой центровым болтом или специальной струбциной;
- нагрузка на рессору должна быть приложена по центру жесткого крепления рессоры.

Ход стенда  $S$  определяют из условий, что амплитуда изменения напряжений в заделке  $\sigma_a$  при испытаниях многолистных рессор равна  $\pm 3000 \text{ даН}\cdot\text{см}^{-2}$ . Многолистные рессоры, напряжения которых при статической нагрузке менее  $3000 \text{ даН}\cdot\text{см}^{-2}$ , испытывают при пульсирующем цикле с амплитудой  $3000 \text{ даН}\cdot\text{см}^{-2}$ . При этом статическая нагрузка равна нулю.

При испытаниях малолистных рессор допускается амплитуда напряжений  $\pm 4500 \text{ даН}\cdot\text{см}^{-2}$ .

Для рессор, напряжение которых при статической нагрузке более  $6000 \text{ даН}\cdot\text{см}^{-2}$ , амплитуду напряжений при испытаниях допускается уменьшать по согласованию с предприятием - разработчиком АТС.

Ход стенда  $S$  вычисляют по формуле:

$$S = \frac{2 \times \sigma_a}{\sigma_y}, \quad (1)$$

где  $\sigma_a$  – амплитуда изменения напряжения, даН·см<sup>-2</sup>.

Изменение напряжения при прогибе рессоры на 1 см, даН·см<sup>-2</sup>:

$$\sigma_y = \frac{C_3}{K}, \quad (2)$$

где  $C_3$  – жесткость рессоры в заделке при статической нагрузке, даН·см<sup>-2</sup>;  $K$  – коэффициент, зависящий от конструкции рессоры.

Длина рессоры с учетом заделки, см;

$$L = L_p \times \sqrt{\frac{C}{C_3}}. \quad (3)$$

Длина переднего конца рессоры, см:

$$L_A = L_{Ap} - \frac{L_p - l}{2}. \quad (4)$$

Длина заднего конца рессоры, см;

$$L_B = L_{Bp} - \frac{L_p - l}{2}, \quad (5)$$

где  $L_p, L_{Ap}, L_{Bp}$  – расчетные длины без учета заделки рессоры, ее переднего и заднего концов, см.

*Результаты исследования.*

В качестве системы исследования рассматриваем сервогидравлическая напольная машина LFV-50 от компании Walter+Vai, и испытательную машину FU DLC 50 кН от компании «ТОЧПРИБОР».

Walter+Vai предлагает системы серии LFV для усталостных испытаний листовых рессор в статическом и динамическом режимах нагружения испытаний. Эти испытательные машины отличаются оптимизированной конструкцией силовой рамы, соответствующими гидравлическими аксессуарами для максимально возможной точности управления, простым в использовании прикладным программным обеспечением и органично интегрированными принадлежностями для испытаний листовых рессор.

Испытательная машина LFV-50 в напольном двухколонном исполнении с высокой продольной и поперечной жесткостью и точной геометрией рамы нагружения. Предназначена для статических и динамических испытаний на растяжение, сжатие, изгиб, длительную прочность/ползучесть/релаксацию напряжений, МЦУ и МнЦУ с переходом нагрузки «через 0», циклическую трещиностойкость, механику разрушения, различных материалов, компонентов и готовых изделий.

Сервогидравлическая напольная машина LFV-50 может проводить такие виды испытаний как; растяжение, сжатие, изгиб, срез, отслаивание, двухосевые испытания на растяжение/сжатие и вращение, длительная прочность, ползучесть, релаксация напряжений, малоцикловая усталость. С максимальной нагрузкой 50кН, и точностью измерения 0,5%.

Испытательная машина FU DLC 50 кН (рис. 3) предназначена для проведения механических испытаний материалов на растяжение, сжатие, изгиб, осадку, сплющивание, остаточную деформацию, отслаивание,

расслоение, скалывание, раздирание и других в пределах технических возможностей машины, с максимальной нагрузкой 50кН и точностью измерения 0,5%

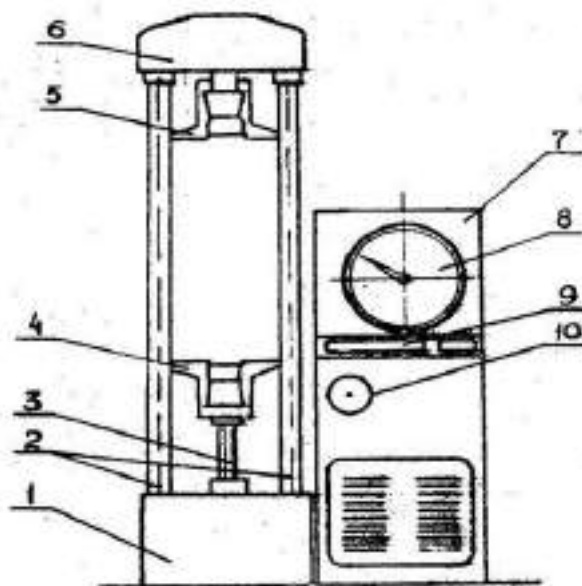


Рис. 3. Схема испытательной машины:

1 – собственно машина; 2 – винт грузовой; 3 – нижний захват (активный); 4 – образец; 5 – верхний захват (пассивный); 6 – силоизмерительный датчик; 7 – пульт управления с электроприводной аппаратурой; 8 – индикатор нагрузок; 9 – рукоятки управления; 10 – диаграммный механизм

Испытание рессор на отсутствие остаточной деформации под пробной нагрузкой должно производиться в такой последовательности: рессора дважды плавно нагружается на прессе с последующей разгрузкой; замеряется высота рессоры в свободном состоянии; выполняется третье обжатие рессоры и повторный замер высоты в свободном состоянии. Рессора считается выдержавшей испытание, если высота ее при повторном замере будет оставаться неизменной.

#### *Заключение.*

Проведенный сравнительный анализ показал целесообразность использования сервогидравлической напольной машины LFV-50 для испытания листовых рессор, так как имеет больший ряд преимуществ, которыми не обладает испытательная машина FU DLC 50 кН:

- модульная конструкция, открытая для дальнейшей модернизации;
- компактная и эргономичная модель;
- высокая точность испытаний;
- возможность испытаний в соляном растворе;
- высокий запас жесткости рамы нагружения;
- большой выбор пакетов программного обеспечения под разнообразные задачи пользователя;

- возможность проведения сложных двух осевых испытаний на растяжение/сжатие и вращение с синхронизацией управления по обеим осям нагружения при соответствующем оснащении;
- гарантированная надежность и долговечность.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 33556-2015 Рессоры листовые автомобильных транспортных средств. Технические требования и методы испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 23 с.
2. Рессоры Испытание / Энциклопедия по машиностроению XXL. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/187333/> (Дата обращения 12.04.2023).
3. Универсальные испытательные машины (разрывные машины) / Испытательная машина FU DLC 50 кН. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://tochpribor-nw.ru/production/bursting/elektromekhanicheskie/dvt-fu-dlc-50/> (Дата обращения 12.04.2023).
4. Новости / Универсальные испытательные машины серии LFM от ком-пании Walter+Bai с боковыми испытательными зонами. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://www.melytec.ru/news/universalnye-ispytatelnye-mashiny-serii-lfm-ot-kompanii-walter-bai-s-bokovymi-ispytatelnymi-zonami-/](https://www.melytec.ru/news/universalnye-ispytatelnye-mashiny-serii-lfm-ot-kompanii-walter-bai-s-bokovymi-ispytatelnymi-zonami/) (Дата обращения 12.04.2023).
5. Большая Энциклопедия Нефти и Газа / Испытание - рессора. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.ngpedia.ru/id68310p1.html> (Дата обращения 12.04.2023).

#### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Силина В.И.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	n.i.k.i2003@mail.ru
<b>ФИО</b>	Шушков П.Н.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	shushkovpavelnikolayevich@gmail.com
<b>ФИО</b>	Чураков А.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	9526-9599
<b>e-mail</b>	sheff_2.01@mail.ru

## Аннотация

В последнее время актуализировались вопросы, связанные с повышением качества листовых рессор. В статье дается обзор понятию листовых рессор. Излагаются важнейшие требования и параметры листовых рессор. Рассматриваются несколько видов исследовательского оборудования.

**Ключевые слова:** параметры, виды контроля, испытательные машины, растяжение, сжатие.

УДК 539.385

Разделы рубрикатора ГРНТИ 90.27.28

## АПРОБАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ЗАСНЕЖЕННОЙ ЛЕСОСЕКЕ

Тарадин Г.С., Вишнев Д.В.

### *Введение*

В работах [1-4] приводятся математические зависимости и модели, которые описывают физико-механические свойства взаимодействия опорной поверхности с движителем и процесс сжатия снега. Получены уравнения позволяющие определить фактическую глубину колеи, сопротивления перемещению, сцепление движителя с опорной поверхностью. Также в работах [1-4] представлен расчет фактического давления на заснеженную поверхность и учет цикличности приложения нагрузки.

### *Цель работы.*

Используя математические модели [1-4], получить конкретные зависимости для колесного форвардера 8x8, с различными вариантами ходовой системы.

### *Методы исследования.*

Методы теории движения колесных лесосечных машин

### *Результаты исследований.*

Разработанная математическая модель взаимодействия движителя с заснеженной опорной поверхностью учитывает основные параметры снега и движителя при расчете колееобразования и тягово-сцепных свойств лесной машины.

Входными параметрами математической модели, характеризующими снег, являются начальная плотность снега  $\rho_0$  и толщина снежного покрова  $H$ . В зависимости от  $\rho_0$  определяется модуль деформации снега до воздействия движителя  $E_0$  и предельное давление движителя вблизи потери несущей способности  $p_{z0}$  [1-4]

Входными параметрами движителя являются ширина  $B$ , радиус колеса  $R$ , приведенная нагрузка на колесо  $G_w$ , скорость машины  $v$ , шаг грунтозацепов  $t_2$ , для колесного движителя дополнительно задается межосевое расстояние

А. При заданных значениях параметров  $B$ ,  $R$ ,  $G_w$ ,  $v$ ,  $A$ , рассчитывается длина пятна контакта  $L$  и номинальное давление на опорную поверхность  $q$ , а также коэффициент учета длительности воздействия  $k_d$  [1-4]

Результаты расчетов при  $v = 1,4$  м/с,  $t_z = 0,14$  м представлены на рис. 1-6. Расчеты выполнены для колесного форвардера 8x8 без съемных средств повышения проходимости и для форвардера, оснащенного моногусеницами. Диапазон давления движителя на опорную поверхность варьировался от 0 до 0,1 МПа, что позволяет распространить результаты на приведенную нагрузку до 0,06 МПа (тяжелый колесный форвардер при полной загрузке кузова).

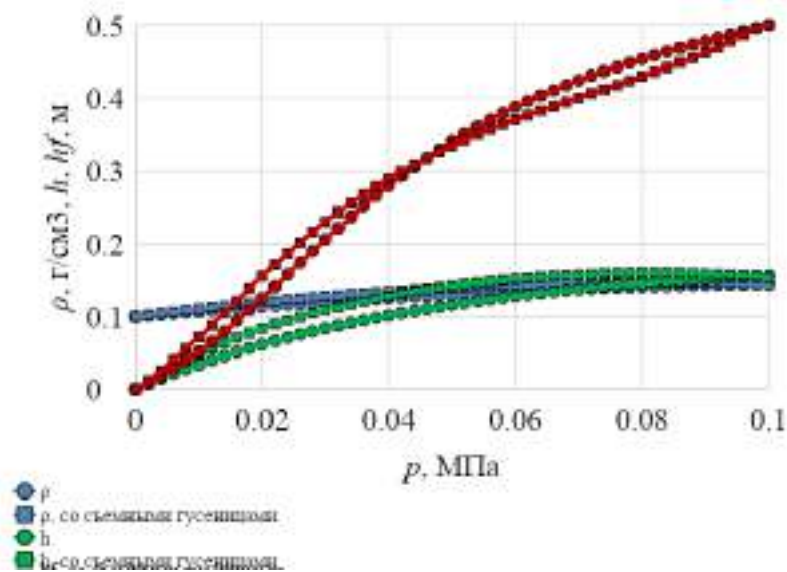


Рис. 1. Сжатие рыхлого снега и глубина колеи под воздействием движителя ( $B = 0,7$  м,  $L = 0,8$  м для колесного движителя,  $L = 2,12$  для колесно-гусеничного движителя,  $\rho_0 = 0,1$  г/см³,  $H = 0,5$  м)

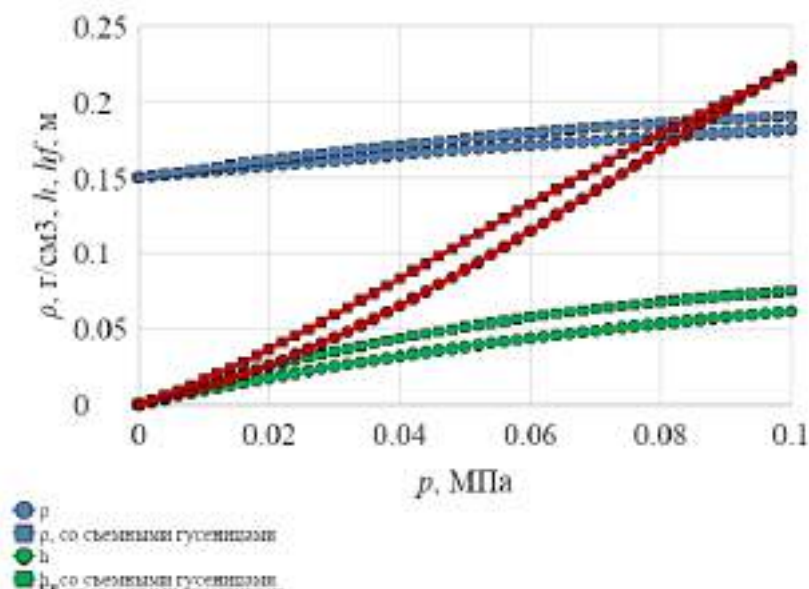


Рис. 2. Сжатие снега средней плотности и глубина колеи под воздействием движителя ( $B = 0,7$  м,  $L = 0,8$  м для колесного движителя,  $L = 2,12$  для колесно-гусеничного движителя,  $\rho_0 = 0,15$  г/см³,  $H = 0,35$  м)

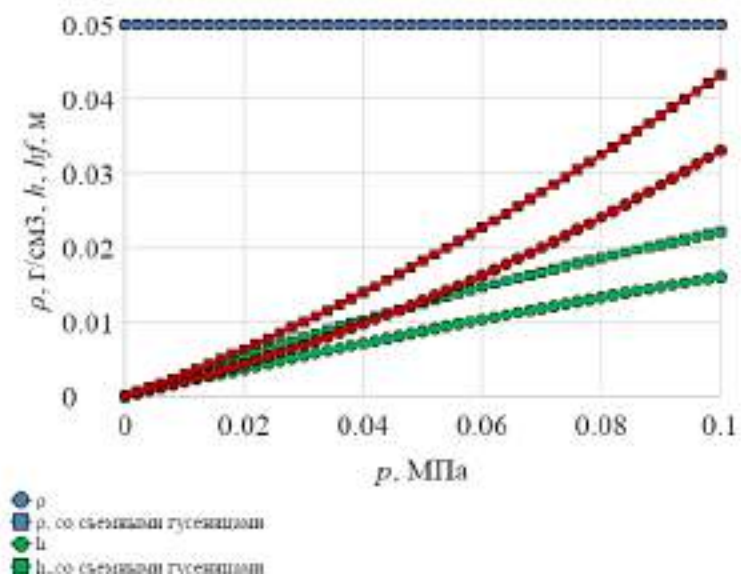


Рис. 3. Сжатие плотного снега и глубина колеи под воздействием движителя ( $B = 0,7$  м,  $L = 0,8$  м для колесного движителя,  $L = 2,12$  для колесно-гусеничного движителя,  $\rho_0 = 0,25$  г/см<sup>3</sup>,  $H = 0,25$  м)

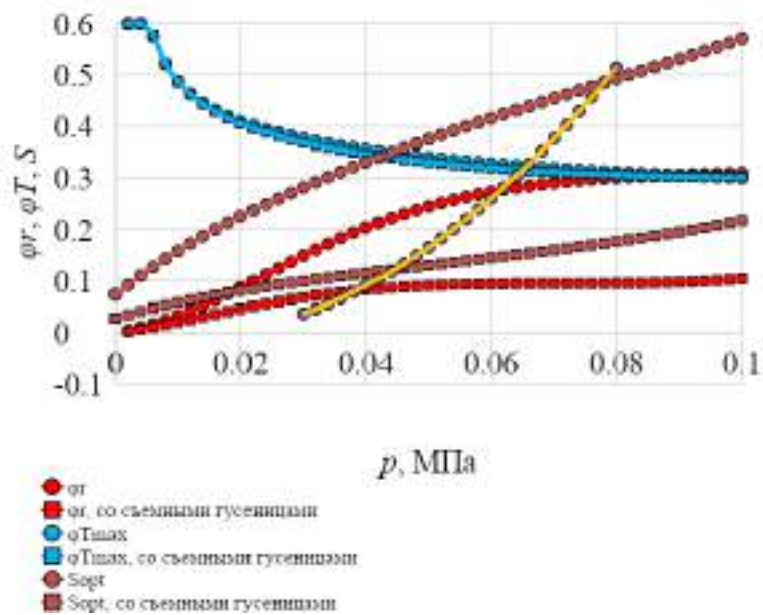


Рис. 4. Тягово-сцепные свойства движителя при работе на рыхлом снегу ( $B = 0,7$  м,  $L = 0,8$  м для колесного движителя,  $L = 2,12$  для колесно-гусеничного движителя,  $\rho_0 = 0,1$  г/см<sup>3</sup>,  $H = 0,5$  м)

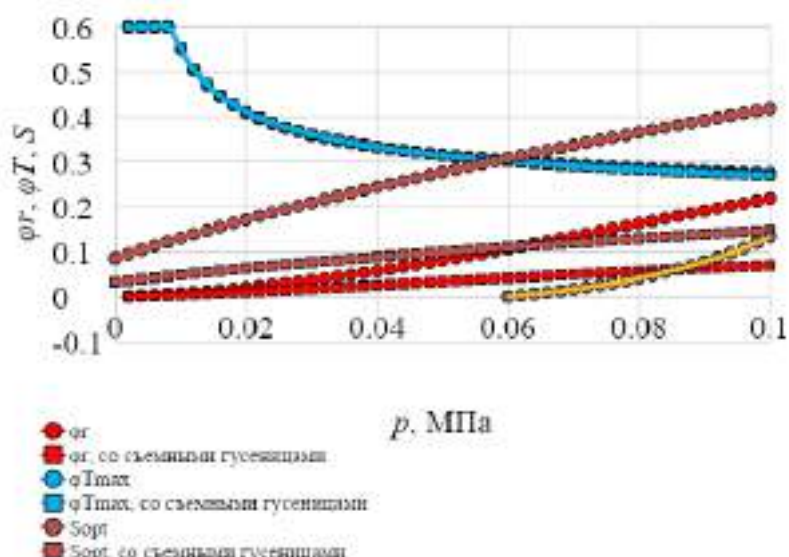


Рис. 5. Тягово-сцепные свойства движителя при работе на снегу средней плотности ( $B = 0,7$  м,  $L = 0,8$  м для колесного движителя,  $L = 2,12$  для колесно-гусеничного движителя,  $\rho_0 = 0,15$  г/см<sup>3</sup>,  $H = 0,35$  м)

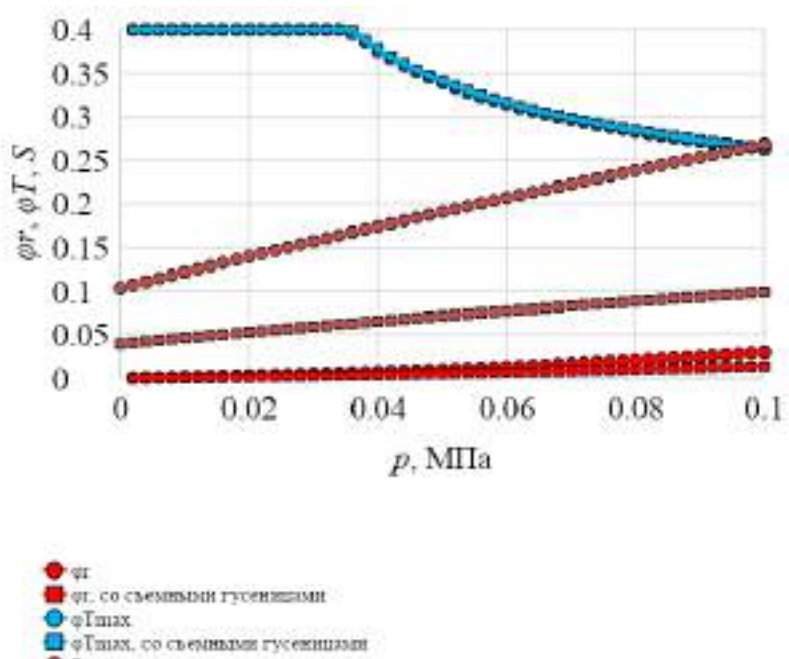


Рис. 6. Тягово-сцепные свойства движителя при работе на снегу высокой плотности ( $B = 0,7$  м,  $L = 0,8$  м для колесного движителя,  $L = 2,12$  для колесно-гусеничного движителя,  $\rho_0 = 0,25$  г/см<sup>3</sup>,  $H = 0,25$  м)

Анализ графиков показывает, что глубина колеи, образующейся при движении форвардера по рыхлому снегу, при давлении 0,04-0,08 МПа составляет 60-80 % от толщины снежного покрова, уплотнение снега составляет 20-30%. В том же диапазоне давления при работе на снегу средней плотности глубина колеи составит 30-40 % от толщины снежного слоя, а уплотнение будет находиться в пределах 10 %. Расчетное значение глубины колеи при работе на плотной снежной поверхности не превышает 15 % толщины слоя снега, уплотнение незначительно и находится в пределах 5 %.



### *Заключение.*

Анализ расчетных данных показывает, что при работе на рыхлом снегу коэффициент сопротивления движению колесного форвардера составляет 0,2-0,3, увеличиваясь по мере возрастания давления движителя на опорную поверхность. Максимальный коэффициент сцепления движителя находится в пределах 0,3-0,35, причем коэффициент буксования возрастает от 0,1 до 0,6 в диапазоне давления 0,04-0,08 МПа. При давлении 0,08 МПа и выше колесный движитель, не оснащенный съемными средствами повышения проходимости, теряет опорную проходимость на рыхлом снегу. Оснащение машины моногусеницами позволяет снизить коэффициент сопротивления движению до 0,1-0,15, коэффициент сцепления составит 0,3-0,35 при буксовании в пределах 10-20 %.

При работе на снегу средней плотности коэффициент сопротивления движению составляет 0,1-0,2. Максимальный коэффициент сцепления движителя находится в пределах 0,3-0,35 при буксовании 25-35 %. Опорная проходимость обеспечивается при буксовании 10 %. Оснащение колесной машины моногусеницами позволяет снизить коэффициент сопротивления движению до 0,05-0,1, при этом максимальный коэффициент сцепления составит 0,3-0,35 при буксовании в пределах 10-15 %. Опорная проходимость машины будет обеспечена и без буксования.

На плотном снегу потеря опорной проходимости в исследованном диапазоне давления не происходит. Максимальный коэффициент сцепления составляет 0,3-0,4 при коэффициенте сопротивления движению до 0,1 как для машин, оснащенных моногусеницами, так и для машин без съемных средств повышения проходимости. Буксование, при котором обеспечивается максимальное сцепление с опорной поверхностью, не превышает 10 % для машин с моногусеницами и 25 % для машин без них. Опорная проходимость машины обеспечена и без буксования.

### **Библиографический список**

1. Тарадин Г.С. Исследование колеобразования и тягово-сцепных свойств движителей колесных лесных машин при работе на заснеженных лесосеках: дисс...канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – 115 с.
2. Тарадин Г.С., Котенев Е.В. Расчет коэффициента динамичности воздействия движителя лесной машины на снег // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – С. 78-84.
3. Хитров Е.Г., Тарадин Г.С., Андронов А.В., Котенев Е.В., Пушков Ю.Л. Теоретическое исследование глубины колеи и уплотнения снега под воздействием движителя лесной машины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2019. – № 227. – С. 236-248.
4. Хитров Е.Г., Андронов А.В., Тарадин Г.С., Котенев Е.В. Расчет тягово-сцепных свойств движителя лесной машины при работе на заснеженной опорной поверхности // Resources and Technology. 2019. – Т. 16. – № 2. – С. 36-58.

### Сведения об авторах

**ФИО** Тарадин Г.С.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия  
**SPIN-код** 5247- 6595  
**e-mail** grisha190@mail.ru

**ФИО** Вишневецкий Д.В.  
**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** mr.davinson18@gmail.com

### Аннотация

В работе приводятся результаты реализации математических моделей колесного движителя на заснеженной лесосеке. Расчеты выполнены для колесного форвардера 8х8 без съемных средств повышения проходимости и для форвардера, оснащенного моногусеницами. Результаты исследований могут быть использованы при создании новых и модернизации существующих колесных лесосечных машин.

**Ключевые слова:** математическая модель, колесный движитель, форвардер 8х8, проходимость, моногусеница.

**УДК** 630\*3

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.15.19

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ЗАСНЕЖЕННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ЛЕСОСЕЧНЫМИ МАШИНАМИ

**Тарадин Г.С., Демиденко В.А.**

### *Введение.*

При моделировании взаимодействия колесных движителей лесосечных машин с заснеженными поверхностями имеет важное значение расчет фактического давления на эту поверхность с учетом цикличности приложения нагрузки. До настоящего времени взаимодействие движителей лесных машин с опорными поверхностями рассматривалось преимущественно при постоянных значениях механических свойств грунтов.

*Цель работы.*

Получить фактические значения давления колесного движителя лесосечных машин на рыхлый снег и на снег средней плотности.

*Методы исследования.*

Методы теории движения гусеничных и колесных машин по бездорожью.

*Результаты исследования.*

Номинальное давление движителя на опорную поверхность  $q$  рассчитаем с учетом рекомендаций [1]. Для колесного движителя:

$$q = \frac{G_w}{BL} = \frac{G_w}{BR}, \quad (1)$$

где  $G_w$  – приведенная нагрузка на колесо (частное веса машины и общего числа колес),  $R$  – радиус колеса.

Для колесно-гусеничного движителя [1]:

$$q = \frac{2G_w}{BL} = \frac{2G_w}{B(1,25R + A)}, \quad (2)$$

где  $A$  – межосевое расстояние.

Для учета многократного воздействия движителя на заснеженную поверхность при последовательном проходе колес по следу воспользуемся следующим подходом: будем использовать значение давления  $p$  с учетом поправочного коэффициента на длительность воздействия нагрузки [2], [3]:

$$p = q \cdot k_d, \quad (3)$$

где  $k_d$  – повышающий коэффициент, учитывающий суммарное время воздействия машины на снег.

Коэффициент  $k_d$  представляет собой соотношение мгновенной деформации опорной поверхности  $\varepsilon_0$  и ее действительное значение  $\varepsilon$ , определяемое с учетом времени воздействия и реологической модели опорной поверхности:

$$k_d = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}. \quad (4)$$

Значение  $\varepsilon_0$  определим по формуле:

Известно, что поведение снега при уплотнении описывается реологической моделью Гогенемзера-Прагера. Тогда значение  $\varepsilon$  найдем из решения дифференциального уравнения:

$$\sigma + \frac{\eta}{E + E_\partial} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{EE_\partial}{E + E_\partial} \varepsilon + \frac{E\eta}{E + E_\partial} \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (6)$$

где  $\eta$  – вязкость снега,  $E_\partial$  – модуль длительной деформации,  $t$  – время воздействия.

При  $\sigma = \text{const}$   $\varepsilon(0) = \varepsilon_0$  получим решение уравнения (6):

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \frac{\sigma}{E_0} \left( 1 - \exp\left(-\frac{E_0 t}{\eta}\right) \right). \quad (7)$$

Тогда коэффициент  $k_d$  по формуле (2):

$$k_d = 1 + \frac{E}{E_0} \left( 1 - \exp\left(-\frac{E_0 t}{\eta}\right) \right). \quad (8)$$

Суммарное время воздействия машины на грунт определим по уравнению[4]:

$$t = n \frac{L}{v}, \quad (9)$$

где  $v$ —скорость поступательного движения машины,  $n$  – число последовательных проходов движителя по следу (для форвардера 8х8  $n = 4$ ,  $L = R$ ; для форвардера 8х8, оснащенного моногусеницами,  $n = 2$ ,  $L = 1,25R + A$ ).

Ориентируясь на [1], примем зависимость  $\eta$ [МПа·с] от  $\rho$ [г/см<sup>3</sup>]:

$$\eta = \frac{1}{\rho}. \quad (10)$$

Согласно [1], соотношение  $\eta$  и  $E_0$  следующее:

$$\frac{\eta}{E_0} = \frac{1}{2\varphi}. \quad (11)$$

Тогда  $E_0$ [МПа] определим в зависимости от  $\rho$ [г/см<sup>3</sup>],  $\varphi$  [°] по формуле:

$$E_0 = \frac{2\varphi}{\rho}. \quad (12)$$

С учетом формул [1], коэффициент  $k_d$  зависит от  $\rho$ ,  $t$ , зависимость проиллюстрирована на рис. 1.

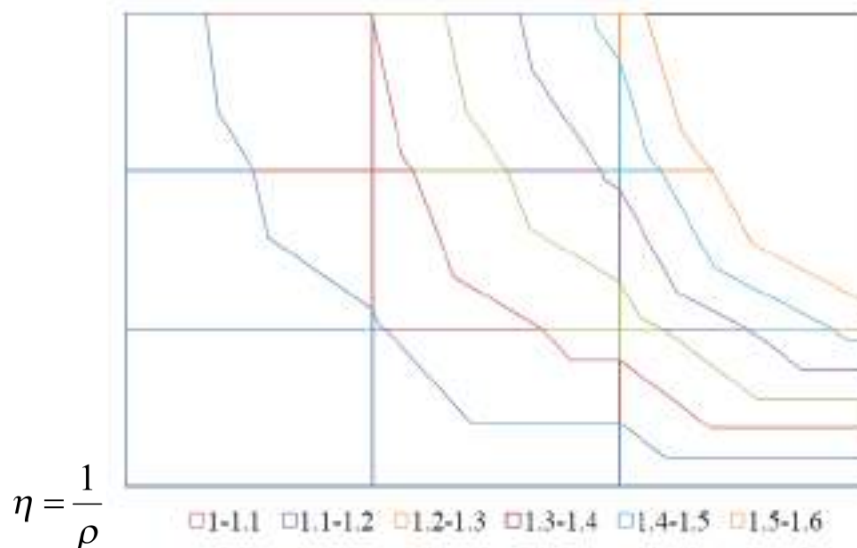


Рис. 1. Зависимость повышающего коэффициента к номинальному давлению от плотности снега и длительности воздействия

Результаты расчетов показывают, что при расчете показателей воздействия движителя на рыхлый снег фактическое давление движителя следует принимать на 5-7 % выше номинального, при расчете воздействия на снег средней плотности фактическое давление выше номинального на 15-20 %.

#### *Заключение.*

По результатам вычислений с использованием реологической модели снега Гогенемзера-Прагера установлено, что для учета цикличности и времени воздействия движителя на заснеженную опорную поверхность, фактическое давление движителя следует принимать на 5-7 % выше номинального при расчете показателей воздействия движителя на рыхлый снег; при расчете воздействия на снег средней плотности фактическое давление следует принимать выше номинального на 15-20 %.

Глубина колеи, образующейся при движении форвардера по рыхлому снегу, при давлении 0,04-0,08 МПа составляет 60-80 % от толщины снежного покрова, уплотнение снега составляет 20-30%. В том же диапазоне давления при работе на снегу средней плотности глубина колеи составит 30-40 % от толщины снежного слоя, а уплотнение будет находиться в пределах 10 %. Расчетное значение глубины колеи при работе на плотной снежной поверхности не превышает 15 % толщины слоя снега, уплотнение незначительно и находится в пределах 5 %.

#### **Библиографический список**

1. Тарадин Г.С. Исследование колееобразования и тягово-сцепных свойств движителей колесных лесных машин при работе на заснеженных лесосеках: дисс...канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – 115 с.
2. Бабков В.Ф., Безруков М.В. Основы грунтоведения и механики грунтов. Москва: Высшая школа, 1976. – 328 с.
3. Хахина А.М. Оценка коэффициента динамичности нагрузки на лесной почвогрунт. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практики, 2015. – Т. 3. – № 2-2 (13-2). – С. 361-364.
4. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. –Москва: Машиностроение, 1981. – 232 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Тарадин Г.С.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	5247-6595
<b>e-mail</b>	grisha190@mail.ru
<b>ФИО</b>	Демиденко В.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный

**Адрес организации** лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,  
Россия  
**SPIN-код** Отсутствует  
**e-mail** zombieetmybrain@yandex.ru

### **Аннотация**

Статья посвящена расчету фактического давления на заснеженную поверхность и учету цикличность приложения нагрузки лесосечных машин. Получены фактические значения давления колесного движителя лесосечных машин на рыхлый снег и на снег средней плотности. По результатам вычислений с использованием реологической модели снега Гогенемзера-Прагера установлено, что для учета цикличности и времени воздействия движителя на заснеженную опорную поверхность, фактическое давление движителя следует принимать на 5-7 % выше номинального при расчете показателей воздействия движителя на рыхлый снег; при расчете воздействия на снег средней плотности фактическое давление следует принимать выше номинального на 15-20 %.

**Ключевые слова:** колесный движитель, лесосека, снежный массив, математическая модель, заснеженная поверхность.

**УДК** 630\*3

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.15.19

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ СНЕГА КОЛЕСНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ ЛЕСОСЕЧНОЙ МАШИНЫ**

**Тарадин Г.С., Торощин П.С.**

### *Введение.*

До настоящего времени взаимодействие движителей машин с опорными поверхностями рассматривалось преимущественно при постоянных значениях механических свойств грунтов. Моделирование взаимодействия движителей лесозаготовительных машин с заснеженными поверхностями имеет важную особенность – под воздействием движителей снег уплотняется, при этом существенно изменяются его физико-механические свойства, причем это изменение происходит непосредственно в процессе образования колеи. В процессе колееобразования изменяется его модуль деформации, то есть массив упрочняется [1].

### *Цель работы.*

Определение корректной математической модели взаимодействия колесного движителя со снежным покровом на лесосеке.

*Методы исследования.*

Методы теории движения колесных лесосечных машин по заснеженной лесосеке, математический анализ.

*Результаты исследования.*

Рассмотрим вначале одноосное сжатие упрочняющейся среды под воздействием нормального напряжения  $\sigma$ . В геометрической интерпретации диаграммы «напряжение-сжатие» модуль деформации представляет собой тангенс угла наклона касательной к графику напряжения  $\sigma$  от деформации  $\varepsilon$  [2]. При криволинейном графике  $\sigma(\varepsilon)$  определим «мгновенный» модуль  $E$  так:

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – нормальное напряжение;  $\varepsilon$  – относительная деформация.

Относительная деформация  $\varepsilon$  связана с плотностью среды  $\rho$  формулой:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \varepsilon}, \quad (2)$$

где  $\rho_0$  – начальная плотность среды до воздействия напряжения  $\sigma$ .

Тогда перепишем уравнение  $E = a_{E\rho} \rho^{b_E}$  следующим образом:

$$E = a_{E\rho} \left( \frac{\rho_0}{1 - \varepsilon} \right)^{b_E}. \quad (3)$$

Выразив модуль деформации  $E$  из уравнения (1), с учетом формулы (3) получим:

$$E_0 \left( \frac{1}{1 - \varepsilon} \right)^{b_E} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}, \quad (4)$$

где  $E_0$  – модуль деформации снега по формуле (3) при  $\rho = \rho_0$ , то есть до воздействия движителя.

Перепишем уравнение (4):

$$\frac{d\varepsilon}{d\sigma} = \frac{(1 - \varepsilon)^{b_E}}{E_0}. \quad (5)$$

Решение дифференциального уравнения (5) при начальном условии  $\varepsilon(0) = 0$  следующее:

$$\varepsilon = 1 - \left( \frac{E_0}{\sigma(b_E - 1) + E_0} \right)^{\frac{1}{b_E - 1}} \quad (6)$$

Пример результатов расчетов по формуле (6) представлен на рис. 1, там же приведен график относительной деформации  $\varepsilon$  при постоянном значении модуля деформации  $E = \text{const}$ . Расчет выполнен для уплотнения рыхлого снега с начальной плотностью  $\rho_0 = 0,1$  г/см<sup>3</sup>.

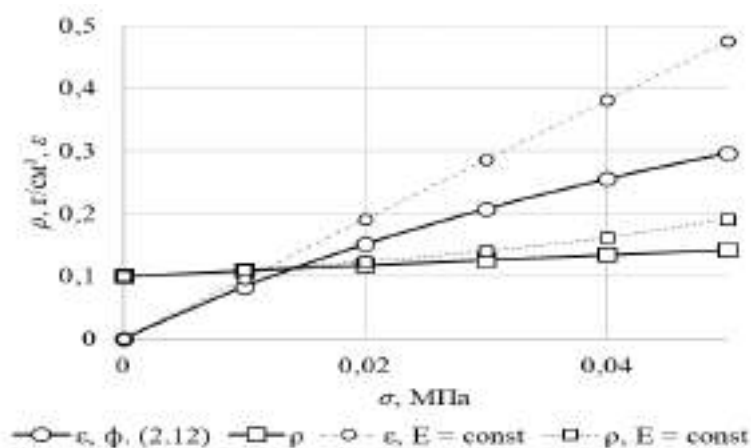


Рис. 1. Результаты расчета относительной деформации и плотности снега при переменном и постоянном модуле деформации

Как видим, значения плотности снега под воздействием движителя и относительной деформации массива, полученные с использованием уравнения (6) ниже, чем аналогичные значения, полученные при расчете с использованием постоянного значения модуля деформации. Различия в рассмотренном примере составляют до 40 %.

Далее перейдем от одноосного сжатия среды к решению задачи о вдавливании штампа-двигителя в деформируемое полупространство. Для этого определим деформацию опорной поверхности под воздействием движителя с учетом затухания напряжения по глубине снежного массива. Обратимся к схеме, представленной на рис. 2.

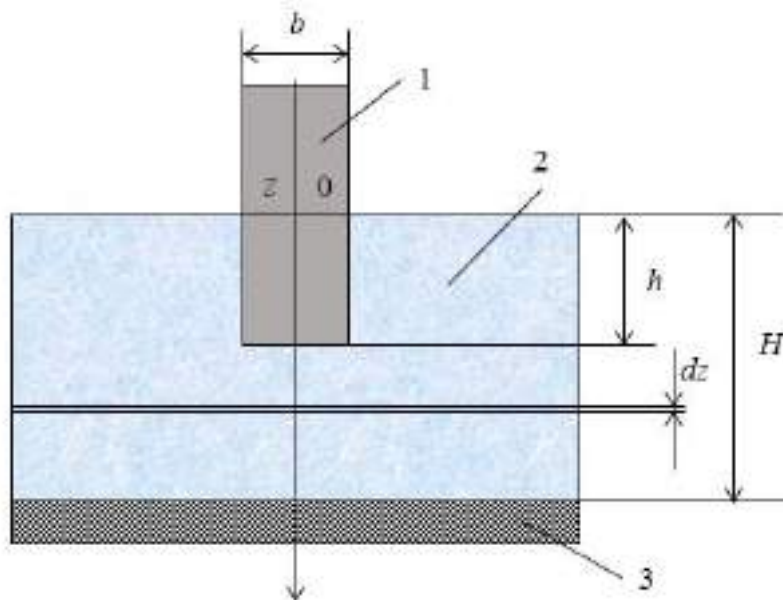


Рис. 2 – Схема к расчету деформации снежного массива под воздействием движителя: 1 – движитель, 2 – массив снега, 3 – жесткое основание (мерзлый грунт)

Сжатие элементарного слоя снежного массива определим по уравнению [2], [3]:



$$dh = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} dz, \quad (7)$$

где  $z$  – вертикальная координата, отсчитываемая вниз от поверхности пятна контакта движителя с опорной поверхностью.

При этом деформация сжатия всего снежного массива находится как интеграл относительных деформаций сжатия элементарных его слоев [2], [3]:

$$h = \int_0^{H-h} \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} dz. \quad (8)$$

Используем уравнение для напряжения  $\sigma$ , возникающего под воздействием движителя и распространяющегося по глубине массива, полученное на базе решения задачи Буссинеска [2], [3]:

$$\sigma = \frac{Jp}{1 + \left(\frac{z}{aB}\right)^2}, \quad (9)$$

где  $J$  – коэффициент учета геометрических параметров пятна контакта движителя с опорной поверхностью;  $p$  – давление движителя по поверхности пятна контакта;  $a$  – коэффициент учета толщины деформируемого массива (в нашем случае – высоты снежного покрова);  $B$  – ширина пятна контакта движителя с опорной поверхностью.

Параметр  $a$  рассчитывается по формуле [2], [3]:

$$a = 0,64 \frac{B + H}{H}. \quad (10)$$

Параметр  $J$  найдем по формуле [2], [3]:

$$J = \frac{0,03B + L}{0,6B + 0,43L}, \quad (11)$$

где  $L$  – длина пятна контакта движителя с опорной поверхностью.

Непосредственная попытка взятия определенного интеграла по (8) с учетом (6), (9) приводит к сложностям математического характера. Для облегчения решения и упрощения последующих выкладок представим подынтегральную функцию в уравнении (8) в виде полинома Тейлора:

$$\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} = \left( \frac{(b_E - 1)\sigma + E_0}{E_0} \right)^{\frac{1}{b_E - 1}} - 1 = f \approx \sum_{n=1}^k \frac{f^n}{n!} \sigma^n \approx \sum_{n=1}^k \zeta_n \sigma^n, \quad (12)$$

где  $f^n$  – производная функции  $f$  порядка  $n$  по  $\sigma$  в точке 0, коэффициенты  $\zeta_n$  при  $\sigma^n$ :

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= \frac{1}{E_0}, \\ \zeta_2 &= -\frac{b_E - 2}{2E_0^2}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\zeta_3 = \frac{2b_E^2 - 7b_E + 6}{3E_0^3},$$

$$\zeta_4 = -\frac{6b_E^3 - 29b_E^2 + 46b_E - 24}{4E_0^4},$$

Коэффициенты  $\zeta_n$  не зависят от  $z$ , тогда запишем уравнение (8) следующим образом:

$$h \approx \sum_{n=1}^k \zeta_n \int_0^{H-h} \sigma^n dz. \quad (14)$$

Воспользуемся известной формулой из справочного материала для взятия неопределенного интеграла рациональной дроби :

$$\int \frac{1}{(1+x^2)^n} dx = \frac{x}{2n-1} \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(2n-1)(2n-3)(2n-5)\dots(2n-2j+1)}{2^j(n-1)(n-2)\dots(n-j)(1+x^2)^{n-j}} + \frac{(2n-3)!!}{2^{n-1}(n-1)!} \operatorname{arctg} x$$

Тогда определенные интегралы от степеней  $n$  напряжения  $\sigma$  по формуле (9):

$$\lambda_1 = JpaB \operatorname{arctg} \left( \frac{H-h}{aB} \right),$$

$$\lambda_2 = \frac{J^2 p^2 a^2 B^2 (H-h)}{2(a^2 B^2 + (H-h)^2)} + \frac{J^2 p^2 aB}{2} \operatorname{arctg} \left( \frac{H-h}{aB} \right), \quad (15)$$

$$\lambda_3 = \frac{J^3 p^3 a^4 B^4 (H-h)}{4(a^2 B^2 + (H-h)^2)^2} + \frac{3J^3 p^3 a^2 B^2 (H-h)}{8(a^2 B^2 + (H-h)^2)} + \frac{3J^3 p^3 aB}{8} \operatorname{arctg} \left( \frac{H-h}{aB} \right),$$

$$\lambda_4 = \frac{J^4 p^4 a^6 B^6 (H-h)}{6(a^2 B^2 + (H-h)^2)^3} + \frac{5J^4 p^4 a^4 B^4 (H-h)}{24(a^2 B^2 + (H-h)^2)^2} + \frac{5J^4 p^4 a^2 B^2 (H-h)}{16(a^2 B^2 + (H-h)^2)} + \frac{5J^4 p^4 aB}{16} \operatorname{arctg} \left( \frac{H-h}{aB} \right)$$

Представим уравнение для определения сжатия массива:

$$h \approx \sum_{n=1}^k \zeta_n \lambda_n. \quad (16)$$

Расчеты при варьировании  $B = 0,4 \dots 0,8$  м,  $L = 0,8 \dots 2,1$  м,  $H = 0,2 - 1$  м,  $h = 0 \dots H$ ,  $E$  и  $b_E$  по данным [1] показывают, что в уравнении (15) можно ограничиться  $k = 2$  практически без потери точности, тогда:

$$h = \zeta_1 \lambda_1 + \zeta_2 \lambda_2 =$$

$$= \frac{JpaB}{E_0} \operatorname{arctg} \left( \frac{H-h}{aB} \right) + \frac{J^2 p^2 aB}{4E_0^2} \left( \frac{aB(H-h)}{a^2 B^2 + (H-h)^2} + \operatorname{arctg} \left( \frac{H-h}{aB} \right) \right). \quad (17)$$

Более того, в тех же диапазонах варьирования:

$$\frac{aB(H-h)}{a^2 B^2 + (H-h)^2} \approx \frac{aB}{H} \operatorname{arctg} \left( \frac{H-h}{aB} \right), \quad (18)$$

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{H-h}{aB}\right) \approx \frac{3}{4}\left(\frac{H-h}{aB}\right). \quad (19)$$

С учетом (18) получим из (17) с учетом (13), (15) получим:

$$h = \frac{3}{4} \frac{Jp}{E_0} (H-h) - \frac{3}{16} \frac{J^2 p^2 (b_E - 2)(aB + H)}{E_0^2 H} (H-h), \quad (20)$$

или иначе:

$$\frac{h}{H-h} = \frac{3}{4} \frac{J}{E_0} \left( 1 - \frac{Jp(b_E - 2)(aB + H)}{4E_0 H} \right) p, \quad (21)$$

$$h = \frac{(1 - \chi p) p C}{1 + (1 - \chi p) p C} H, \quad (22)$$

где  $C$  – жесткость массива с учетом геометрии пятна контакта;  $\xi$  – безразмерная функция, отражающая снижение деформации сжатия за счет упрочнения массива при уплотнении;  $\chi$  – коэффициент упрочнения:

$$C = \frac{3}{4} \frac{J}{E_0}, \quad (23)$$

$$\chi = \frac{1}{4} \frac{J}{E_0} \frac{(aB + H)}{H} (b_E - 2). \quad (24)$$

### *Заключение.*

Полученное уравнение (24) позволяет определить сжатие деформируемого снежного массива под воздействием колесного движителя лесосечных машин. Следует однако отметить, что общая деформация массива состоит не только из сжатия, но и из сдвига слоев снега, что будет учтено в следующих работах.

### **Библиографический список**

1. Тарадин Г.С. Исследование колееобразования и тягово-сцепных свойств движителей колесных лесных машин при работе на заснеженных лесосеках: дисс...канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – 115 с.
2. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. – Москва: Машиностроение, 1981. – 232 с.
3. Ларин В.В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дисс...д-ра техн. наук. – Москва: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2007. – 6078 с.

### **Сведения об авторах**

**ФИО**

Тарадин Г.С.

**Организация**

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,  
Россия

**Адрес организации**

<b>SPIN-код</b>	5247- 6595
<b>e-mail</b>	grisha190@mail.ru
<b>ФИО</b>	Торощин П.С.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	bukafeed98@gmail.com

#### **Аннотация**

В статье приводятся теоретические основы сжатия снега под воздействием колесного движителя. В результате исследований получена корректорная математическая модель взаимодействия колесного движителя со снежным покровом на лесосеке. Уравнение позволяет определить сжатие деформируемого снежного массива под воздействием колесного движителя.

**Ключевые слова:** колесный движитель, трелевочный трактор, лесосека, снежный массив, математическая модель.

**УДК** 630\*3

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.15.19

## СКЛЕИВАНИЕ ПАРКЕТНЫХ ЩИТОВ В ПРЕССАХ ПРОХОДНОГО ТИПА

Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Козлова И.К.

### *Введение.*

Для индустриального производства паркетных покрытий, а именно паркетных щитов (ПЩ), крупной отрасли деревообрабатывающей промышленности, необходимо создание их новых конструкций, изготовление которых снижает или исключает ручные операции и позволяет использование автоматических устройств и линий, обслуживаемых малым числом операторов, роль которых сводится к наблюдению за работой оборудования. При этом следует изготавливать ПЩ с уменьшенной, по отношению к существующей, материалоемкостью при сохранении нормативных эксплуатационных свойств продукции.

ПЩ по ГОСТ 862.4-87 представляет собой клеенную конструкцию с лицевым покрытием из планок, уложенных квадратами в шахматном порядке на подложку в виде одного слоя реек в рамочной обвязке.

### *Цель работы.*

Целью работы является разработка конструкций паркетного щита с высокой монтажной прочностью.

### *Результаты исследований.*

Проведенные нами исследования [1] показывают, что наиболее целесообразным является изготовление и применение щитов с размерами в плане 600×600 мм. Такой формат щитов наиболее полно соответствует архитектурно-строительной сетке 6×6 м, такие щиты могут быть установлены на двух лагах, что экономически более выгодно, чем использование трех лаг при устройстве полов из щитов с размерами в плане 800×800 мм. Набор лицевого покрытия может быть осуществлен с помощью предлагаемых устройств, работающих в автоматическом режиме [2].

Подложка щита в виде реек в рамочной обвязке имеет высокую монтажную и эксплуатационную прочность при относительно невысокой материалоемкости. Однако такая конструкция является не технологичной и сложной с точки зрения механизации и автоматизации [3]. Другие известные конструкции паркетных щитов с однослойным основанием из реек предполагают их изготовление в позиционных прессах дискретного действия, что представляет определенные технические трудности при организации автоматических линий, ориентированных, как правило, на оборудование проходного типа.

Такая технология подразумевает получение непрерывной ленты, которая в последующем может быть разделена на паркетные щиты

определенного формата. Получение непрерывной ленты на прессах проходного типа возможно только в том случае, когда сама конструкция паркетного щита будет отвечать условиям их непрерывного изготовления. Рассмотрим конструкции предлагаемых паркетных щитов, удовлетворяющих условиям их непрерывного изготовления.

*Паркетный щит с наклонным расположением реек основания.* Аналогом предлагаемой конструкции ПЩ [4] является конструкция паркетной доски с лицевым покрытием из паркетных планок и реечным основанием, в которой рейки основания скрепляются между собой наклеиваемыми на них паркетными планками, располагающимися перпендикулярно продольным осям реек основания. Такая конструкция позволяет достаточно простыми средствами создать механизированное производство паркетных досок непрерывным способом.

В паркетных щитах с лицевым покрытием из паркетных планок, уложенных квадратами в шахматном порядке, скрепление реек основания паркетными планками не будет обеспечиваться, если боковые стыки между рейками основания будут расположены вблизи стыков между квадратами лицевого покрытия такого же направления. Но скрепление реек паркетными планками может быть достигнуто при любом взаимном расположении вышеуказанных стыков, если рейки основания будут развернуты относительно лицевого покрытия на некоторый угол.

Как показали эксперименты [5], при данной конструкции щита прочности клеевого шва достаточно, чтобы обеспечить эксплуатационную, а также монтажную прочность паркетного щита, т.е. прочность, необходимую при механической обработке, отделке, транспортировке паркетных щитов и монтаже пола.

Общий вид ПЩ предлагаемой конструкции показан на рис.1. Паркетный щит состоит из паркетных планок, уложенных квадратами в шахматном порядке (лицевое покрытие) 1 и реек основания 2, повернутых относительно лицевого покрытия на угол  $\alpha$ .

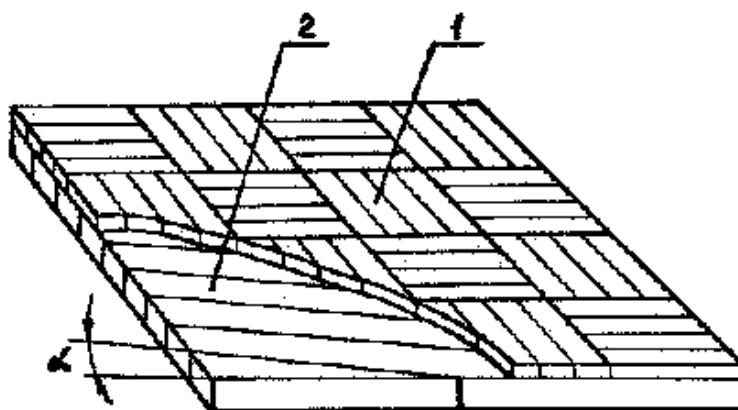


Рис. 1. Паркетный щит с наклонным расположением реек основания

*Паркетный щит с рейками основания на шпонках.* Паркетный щит с лицевым покрытием из паркетных планок, уложенных квадратами в шахматном

порядке и однослойным реечным основанием, скрепленном шпонками так же представляет собой конструкцию, удовлетворяющую условиям автоматизированного процесса склеивания в прессах проходного типа. Эта конструкция представлена на рис. 2.

Паркетный щит состоит из лицевого покрытия 1, реек основания 2, большой 3 и малой 4 шпонок. Рейки основания набираются поперечной щетью (большой осью перпендикулярно направлению подачи). В боковых кромках реечного основания выбираются мелкий и глубокий паз. Мелкий паз предназначен для закладки большой шпонки, а глубокий – для малой шпонки. Большая шпонка имеет сечение  $8 \times 30$  мм, а малая -  $6 \times 20$  мм. Длина шпонок должна составлять 500 – 600 мм.

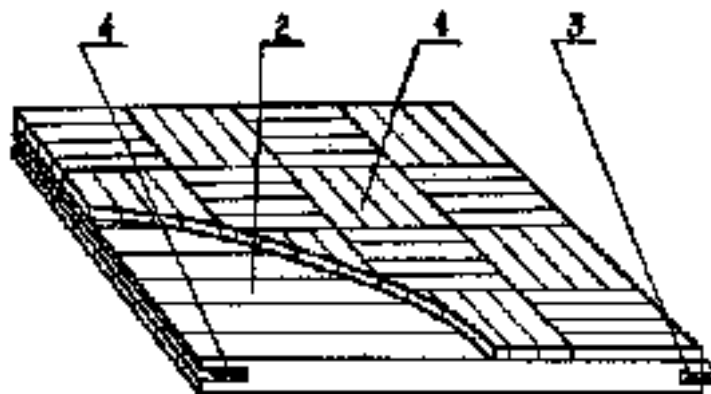


Рис.2. Паркетный щит с поперечным расположением реек на шпонках

В выбранные пазы набора реечного основания вводится клей и загоняются шпонки. На верхнюю поверхность ковра реечного основания наносится клей и укладывается набор лицевого покрытия. Сформированная лента паркетного щита подается в пресс непрерывного действия, на выходе из которого готовая лента делится на форматы.

При механической обработке готовых паркетных щитов по контуру на боковых сторонах получается паз шириной 7 мм и глубиной 10 мм и гребень высотой 7 мм и толщиной 7 мм.

Шпонки значительно увеличивают монтажную прочность паркетного щита и являются сборочными элементами при монтаже пола.

Еще более повысить монтажную прочность паркетного щита с рейками основания на шпонках можно за счет наклонного расположения реек по отношению к набору лицевого покрытия. Конструкция такого щита приведена на рис. 3, где 1 – лицевое покрытие; 2 – рейки основания; 3,4 – малая и большая шпонки.

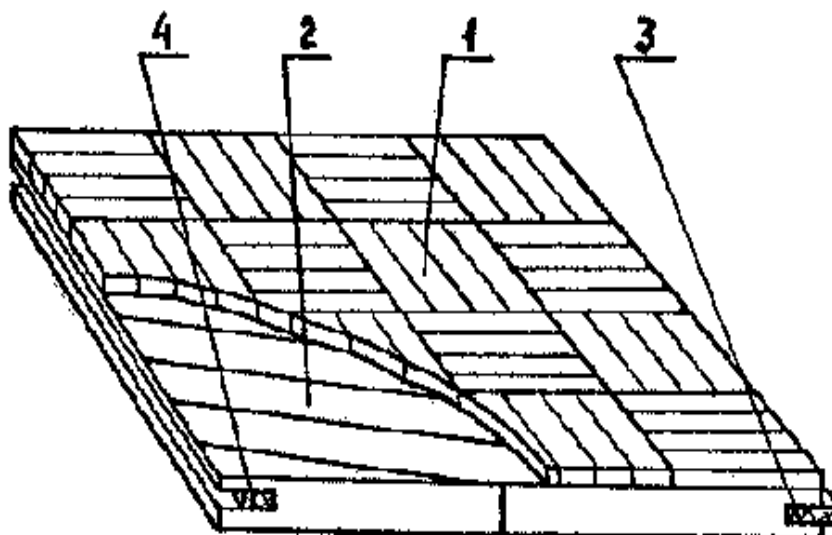


Рис. 3. Паркетный щит с наклонным расположением реек на шпонках

*Паркетный щит с рейками основания на продольных лагах.* На рис.4 представлена конструкция паркетного щита с однослойным реечным основанием, удовлетворяющая условиям автоматизированного производства

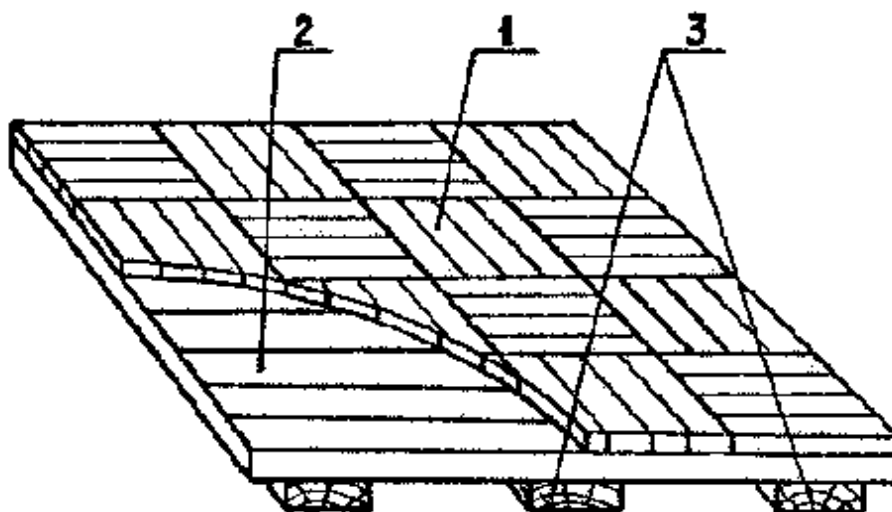


Рис 4. Паркетный щит с рейками на продольных лагах на прессах непрерывного действия

Паркетный щит состоит из лицевого покрытия 1, набранного из паркетных планок, уложенных квадратами в шахматном порядке, реек основания 2, набранных поперечно или наклонно и продольных лаг 3.

Данный щит уже не является паркетным щитом с однослойным основанием, а скорее представляет собой промежуточную ступень между щитами с однослойным и двухслойным основанием, но тем не менее несущим элементом конструкции будет лишь один слой реек основания.

*Заключение.*



Технология формирования такого щита включает следующие операции: сначала по продольным каналам вразбежку подаются лаги и на них наносится клей, затем укладывается поперечной щетью (или наклонно) набор реек основания, на верхнюю сторону которых наносится клей и укладывается набор лицевого покрытия. Собранная лента подается в пресс непрерывного действия, на выходе из пресса готовая лента делится на форматы.

Высокая монтажная прочность такой конструкции паркетного щита обеспечивается, в основном, за счет склеивания набора реек основания с лагами. Количество лаг зависит от ширины готового щита.

#### **Библиографический список**

1. Бирман А.Р. Исследование процесса формирования лицевого слоя паркета и разработка специального оборудования: автореферат дисс...канд. тех наук. – Санкт-Петербург: СПбЛТА, 1980. – 20 с.
2. Бирман А.Р. Производство облицовочных деревянных покрытий из низкосортной древесины. – Санкт-Петербург: СПбЛТА, 2001. – 124 с.
3. Данилов В.В., Стрженева Т.Н. Техническое перевооружение производства паркетных щитов на Сявском ЛПХ // Механическая обработка древесины: экспресс-информация. – Москва: ВНИПИЭИлеспром, 1988. – Вып.1. – с.2-4.
4. Авт. свид. СССР № 923822. Паркетный щит. Ерошкин А.Н., Ефимов Ю.П., Бирман А.Р., Подосенова Е.А. и др..Опуб.1980. Бюл. №16.
5. Бирман АР. Теоретическое и экспериментальное обоснование технологии и параметров оборудования для облицовочных деревянных покрытий. – Санкт-Петербург: СПбЛТА, 2001. –156 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Бирман А.Р.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	3247-9904
<b>e-mail</b>	birman1947@mail.ru
<b>ФИО</b>	Белоногова Н.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8883-9771
<b>e-mail</b>	pmig@spbftu.ru
<b>ФИО</b>	Козлова И.К.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

**организации**

**SPIN-код**

**e-mail**

Отсутствует

tlzp@spbftu.ru

### **Аннотация**

Представлены конструкции паркетного щита с высокой монтажной прочностью – паркетный щит с наклонным расположением реек основания. Паркетный щит с рейками основания на шпонках. Паркетный щит с рейками основания на продольных лагах. Описана технология формирования паркетного щита.

**Ключевые слова:** паркетный щит, склеивание, прочность, рейка основания, шпонка, лаги.

**УДК** 674.816

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.35.99

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ ПАРКЕТНЫХ ЩИТОВ**

**Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Козлова И.К., Ковалева О.Н.**

### *Введение.*

При склеивании планок лицевого покрытия с основанием паркетного щита с использованием жестких плит прессового оборудования значительное влияние на прочность склеивания оказывает разная толщина, в пределах допуска на изготовления, планок лицевого покрытия.

Для достижения передачи нормативного давления на все планки предлагается снабжать плиты пресса упругими прокладками, параметры которых могут быть установлены с учетом нижеприведенных зависимостей.

### *Цель работы.*

Обоснование технологических параметров процесса склеивания паркетных щитов с учетом передачи давления на склеиваемые планки.

### *Методика исследований.*

В работе использованы основные положения теории упругости для описания передачи давления на разнотолщинные планки паркетных щитов, а также результаты экспериментальных исследований.

### *Результаты работы.*

При анализе процесса склеивания деталей из древесины нами предлагается метод определения давления прессования основанный на учете разнотолщинности деталей при склеивании в прессах с жесткими плитами.

Номинальное давление  $P_{ном}$  для технологического режима склеивания подложки и лицевого покрытия паркетных щитов (ПЩ) может быть приближенно определено по формуле:

$$P_{ном} = P_{онт} + \frac{E_{np} \cdot C}{2 \cdot h_{cp}}, \quad (1)$$

где  $P_{онт}$  – минимальное давление, при котором обеспечивается качественное клеевое соединение;  $E_{np}$  – приведенный модуль упругости склеиваемых деталей;  $C$  – суммарная разнотолщинность наклеиваемых на подложку деталей лицевого покрытия;  $h_{cp}$  – средняя толщина деталей лицевого покрытия.

Минимальное давление, необходимое для склеивания деревянных деталей обычно принимается равным 0,7...1,0 МПа [1]. Модуль упругости при сжатии поперек волокон в радиальном направлении для древесины хвойных пород ориентировочно можно принять  $E_{np}=500$  МПа.

Для определения величин усилия прессования рассмотрим, как типовой, процесс склеивания щитового паркета по ГОСТ 862.4-87, который устанавливает отклонение планок лицевого покрытия по толщине  $\pm 0,2$  мм, что определяет величину допустимой максимальной разнотолщинности  $C = 0,4$  мм.

Принимая толщины подложки 24 мм и планки 8 мм, по формуле (1) получим  $P_{ном}=3,825$  МПа.

Приведенный ориентировочный расчет справедлив для случая, когда половина планок лицевого покрытия имеет положительное, а другая половина - отрицательное отклонение по толщине. Практически вероятность отклонения по толщине при изготовлении планок превышают нормативные значения в 2...2,5 раза [2].

Достижение рассчитанных значений  $P_{ном}$  на современных прессах не представляет технических трудностей. Качественное склеивание подложки и планок лицевого покрытия осуществляется за счет создания номинального давления в любой точке на плоскости ПЩ, что достигается путем деформации склеиваемых деталей под действием нагрузки.

В рассматриваемом примере паркетные планки из древесины твердых лиственных пород (бук) имеют модуль упругости несколько выше, чем рейки основания (хвойные породы). Тогда деформациям под нагрузкой будут, в основном, подвергаться именно элементы основания, расположенные под «высокими» планками лицевого покрытия.

В процессе последующей выдержки ПЩ и их эксплуатации внутренние напряжения, созданные при склеивании, будут постепенно выравниваться (явления распрессовки) и прочность клеевого соединения может снизиться. То есть, метод склеивания в жестких плитах позиционного пресса может, в конечном итоге, дать отрицательный результат по качеству склеивания продукции.

Для обеспечения относительной равномерности передачи давления при неизбежной разнотолщинности паркетных планок могут быть использованы различные способы отдельной подачи давления на каждый склеиваемый элемент (пневмодиафрагмы, многосекционные плиты и т. д.). Однако

осуществить раздельную подачу давления достаточно сложно. Известные технические решения в этой области в значительной мере усложняют конструкции плит гидравлических прессов.

Для решения обозначенной проблемы нужно искать новые, более рациональные пути, одним из которых является применение клеевых композиций, позволяющих осуществлять качественное склеивание при давлениях значительно меньших, чем принятые при существующих технологиях.

Проведенные исследования [3] показывают, что при использовании клеевой композиции на основе поливинилацетатной дисперсии (ПВАД) для склеивания ПЩ достаточно давления, не превышающего 0,01 МПа. Другим преимуществом клеевой композиции на основе ПВАД является снижение периода выдержки под давлением.

Снижение давления при склеивании до 0,01 МПа позволяет использовать для выравнивания давлений упругие прокладки между плитами и ПЩ из материалов с малым модулем упругости.

Как указывалось выше, разнотолщинность планок лицевого покрытия ПЩ неизбежна. Однако, зная фактическое отклонение размеров групп планок по толщине в процентах от площади лицевого покрытия и деформации упругих прокладок, можно определить общее давление прессования, необходимое для прочного склеивания по формуле:

$$P = \sum P_i \cdot F_i, \quad (2)$$

где  $P$  – общее давление прессующего устройства;  $P_i$  – давление на группу элементов, имеющих одинаковую или допустимо близкую толщину;  $F_i$  – площадь соответствующих элементов (планок).

Давление на группу элементов  $P_i$  зависит от минимального давления, разнотолщинности планок, толщины и модуля упругости прокладки [3].

Схема расположения групп планок по возрастающей толщине представлена на рис. 1, при этом разнотолщинность определяется следующим образом:

$$\Delta h_1 = h_1 - h_{min}; \quad \Delta h_2 = h_2 - h_{min}; \quad \dots \quad \Delta h_n = h_n - h_{min}, \quad (3)$$

где  $h_1, h_2, \dots, h_n$  – толщина склеиваемых планок;  $h_{min}$  – минимальная толщина склеиваемых планок.

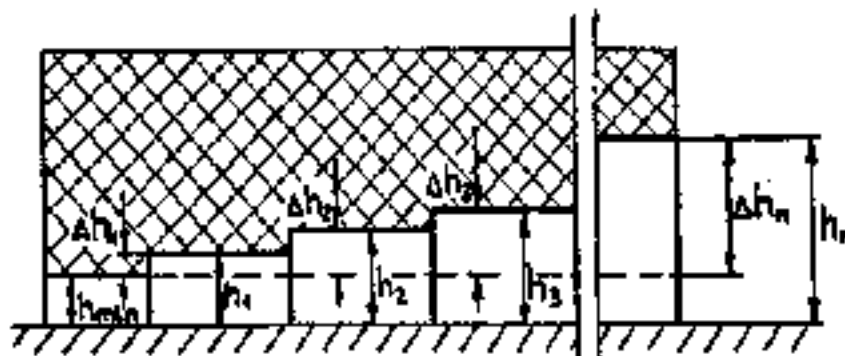


Рис. 1. Схема расположения групп планок по возрастающей толщине

Давление на группу планок  $P_i$ , имеющих одинаковую толщину, определим по формуле:

$$P_i = a \cdot \Delta h, \quad (4)$$

где  $a$  – коэффициент, учитывающий геометрические и упругие характеристики прокладки.

Тогда общее давление прессующего устройства можно определить по формуле:

$$P = \frac{F_{щ} (P_{min} \cdot F_{hmin} + P_1 \cdot F_{h1} + P_2 \cdot F_{h2} + \dots + P_n \cdot F_{hn})}{100}, \quad (5)$$

где  $F_{щ}$  – площадь щита;  $P_1, P_2, \dots, P_n$  – давление на группу элементов, имеющих одинаковую толщину;  $F_{min}, F_{h1}, \dots, F_{hn}$  – площадь группы наклеиваемых планок, %.

Для расчета среднего давления формула (5) примет вид:

$$P = P_{min} \cdot F'_{min} + P_1 \cdot F'_{h1} + P_2 \cdot F'_{h2} + \dots + P_n \cdot F'_{hn}, \quad (6)$$

где  $F'_{min}, F'_{h1}, \dots, F'_{hn}$  – площадь (в долях) группы планок, имеющих одинаковую толщину.

Используя формулы (5) и (6) можно определить общее и удельное давление для конкретных размеров склеиваемых ПЩ. Результаты расчета общего, среднего и максимального давления прессования, с учетом упругих и геометрических параметров прокладок, для ПЩ с размерами в плане 0,6×0,6 м и планками лицевого покрытия с размерами 150×30×6 мм представлены в таблице 1, по данным которой построены зависимости давления от толщины упругой прокладки  $h$  (рис. 2).

Таблица 1 – Сводные данные расчетного давления

Размеры планок и щита, мм	Отклонение планок по толщине, мм	Толщина упругой прокладки, мм	Среднее расчетное (удельное) давление, МПа	Максимальное давление (удельное), МПа	Давление на щит, Н
150×30×6 600×600	±0,2	4	0,0245	0,037	8820
		8	0,0181	0,026	6516
		12	0,0160	0,021	5760
		20	0,0130	0,016	4680
	±0,3	4	0,0310	0,051	11160
		8	0,0209	0,034	7524
		12	0,0180	0,024	6480
		20	0,0148	0,019	5328
	±0,4	4	0,0321	0,056	11556
		8	0,0250	0,042	9000
		12	0,0210	0,031	7560
		20	0,0160	0,022	5760
±0,5	4	0,0436	0,071	15696	
	8	0,0290	0,050	10440	
	12	0,0233	0,035	8388	
	20	0,0165	0,025	5940	

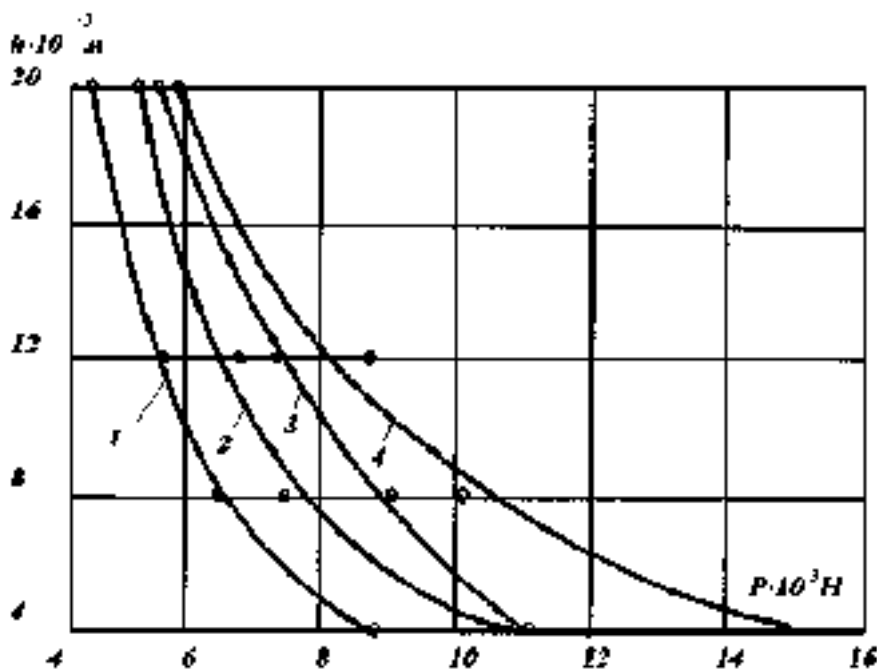


Рис. 2. Зависимость давления от толщины упругой прокладки:  
 1 – при толщине прокладки 4 мм; 2 – при толщине 8 мм;  
 3 – при толщине 12 мм; 4 – при толщине 20 мм

#### Заключение.

Анализ табличных данных позволяет сделать заключение о возможности применения для склеивания ПЩ клеевых композиций на основе ПВАД и клеильного оборудования, описание которого приводится в [4].

Нетрудно заметить, что с увеличением толщины упругой прокладки (или с уменьшением модуля упругости материала прокладки) общее усилие прессования снижается. Однако использование очень толстых прокладок из слишком податливой резины нежелательно, ввиду повышенного износа материала прокладки. Оптимальным следует признать использование прокладок толщиной 10...15 мм с модулем упругости материала прокладки  $E = 0,2...0,5$  МПа.

#### Библиографический список

1. Буглай Б.М., Гончаров Н.А. Технология изделий из древесины: учебник для вузов. – Москва: Лесная промышленность, 1985. – 480 с.
2. Соловов А.М. Состояние производства паркетных изделий в СССР // Деревообработка. – Москва: ВНИПИЭИлеспром, 1989. – Вып. 7. – С. 34.
3. Бирман АР. Теоретическое и экспериментальное обоснование технологии и параметров оборудования для облицовочных деревянных покрытий. – Санкт-Петербург: СПбЛТА, 2001. – 156 с.
4. Авт. свид. СССР, Пресс для склеивания паркетного щита с лицевым покрытием / А.Р. Бирман, Р.И. Гудцев, А.Н. Ерошкин, Ю.П. Ефимов; опублик. 23.09.83. – Бюл. 35. – С.3.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Бирман А.Р.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	3247-9904
<b>e-mail</b>	birman1947@mail.ru
<b>ФИО</b>	Белоногова Н.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8883-9771
<b>e-mail</b>	pmig@spbftu.ru
<b>ФИО</b>	Козлова И.К.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	tlzp@spbftu.ru
<b>ФИО</b>	Ковалева О.Н.
<b>Организация</b>	Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного
<b>Адрес организации</b>	194064, К-64, Тихорецкий проспект, д.3, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	tlzp@spbftu.ru

### Аннотация

Представлены аналитические зависимости процесса формирования паркетных щитов в прессах с жесткими плитами, с учетом разнотолщинности склеиваемых деталей. Установлена зависимость давления от толщины упругой прокладки, рекомендована толщина и упругость упругой прокладки для обеспечения равномерного давления склеивания разнотолщинных деревянных планок.

**Ключевые слова:** паркетный щит, склеивание, разнотолщинность, давление, поливинилацетатная дисперсия.

УДК 674.816

Разделы рубриката ГРНТИ 66.35.99

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ДВУХСЛОЙНЫХ ПАРКЕТНЫХ ЩИТОВ С НАКЛОННЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ РЕЕК ПОДЛОЖКИ

Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Козлова И.К., Фролов И.С.

## *Введение.*

В двухслойных паркетных щитах по ГОСТ 862.4-87 с лицевым покрытием из планок, уложенных квадратами в шахматном порядке, скрепление реек подложки планками за счет склеивания не обеспечивается, так как кромки реек подложки могут совпадать со стыками квадратов лицевого покрытия. Но скрепление будет достигнуто, если рейки подложки развернуть относительно лицевого покрытия на некоторый угол  $\alpha$ . Общий вид щита предлагаемой конструкции приведен [1].

Учитывая это, необходимо выбрать такие углы разворота реек подложки, при которых прочность щитов лежит в нормативных пределах.

При определении угла наклона реек необходимо знать способ и условия монтажа щитов. Так, в случае использования щитов для напольных покрытий, устанавливаемых на лагах, щит работает как пластина на двух или трех опорах и рейки подложки испытывают деформацию изгиба.

## *Цель работы.*

Целью работы является определение прочностных характеристик паркетных щитов с однослойным основанием из реек, развернутых на некоторый угол относительно планок лицевого покрытия.

## *Методология и результаты исследования.*

При исследовании введем понятие монтажной прочности щита, обеспечивающей его целостность при механической обработке, транспортировке и монтаже. Монтажную прочность можно косвенно оценивать площадью разрушенного клеевого шва под действием нагрузок.

Ранее проведенные исследования [2] показывают, что минимальная площадь  $S_{min}$  скрепления лицевого покрытия и реек подложки образуется при условии пересечения кромок реек подложки с центром щита и середины стыка планок в периферийных квадратах. Этот случай для 16-ти квадратного лицевого покрытия изображен на рис. 1. Указанное условие выполняется только при определенных значениях угла наклона реек подложки, которые назовем критическими углами  $\alpha_{кр}$  [3].

Минимальная площадь  $S_{min}$  может быть определена при любом значении  $\alpha$  по формуле:

$$S_{min} = \frac{1}{4} \cdot l^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha (n^2 - 4 \cdot n + 6), \quad (1)$$

где  $l$  – длина планки лицевого покрытия;  $n$  – число квадратов по стороне щита.



При установлении значения угла наклона реек основания  $\alpha$  следует избегать его критических значений, которые могут быть определены по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{кри}} = \frac{2 \cdot K}{(n-1) \cdot m} \quad (2)$$

где  $K=1,2,3\dots$  – номер стыка планок периферийного квадрата, считая от оси симметрии щита;  $m$  – число планок в квадрате.

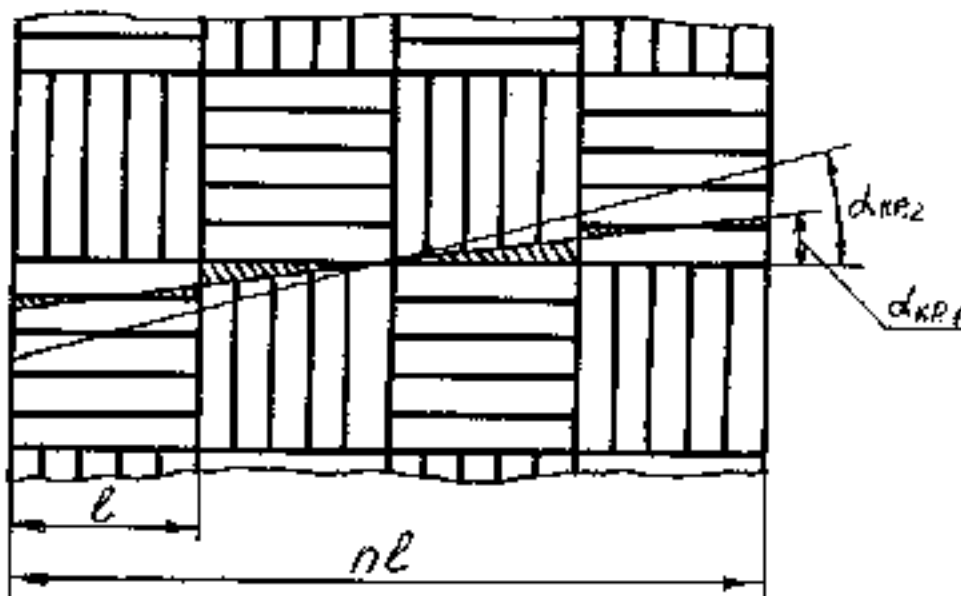


Рис. 1. Сечения с минимальной площадью скрепления

Критические значения углов наклона реек подложки, определенные по формуле (2), при  $n=6$  (для 36-ти квадратного щита) имеют следующие величины:  $\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}1}=2/25$ ,  $\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}2}=4/25$ ,  $\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}3}=6/25$ ,  $\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}4}=8/25$ ,  $\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}5}=2/5$ .

Известные прочностные расчеты клеевых щитовых конструкций позволяют сделать вывод о том, что наиболее опасными являются напряжения изгиба. Поэтому для оценки монтажной прочности щитов, примем расчетную схему установки щита на две опоры  $A$  и  $B$  с нагрузкой  $P$  посередине пролета. Формулы для расчета прочности сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные формулы для оценки монтажной прочности щитовых конструкций при изгибе

Параметры	Без учета веса щита	С учетом веса щита
Реакции опор	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$	$R_A' = R_B' = \frac{q \cdot L + P}{2}$
Максимальный изгибающий момент	$M_{\text{max}} = \frac{P \cdot L}{4}$	$M_{\text{max}}' = \frac{(q \cdot L + 2 \cdot P) \cdot L}{8}$
Максимальная поперечная сила	$Q_{\text{max}} = \frac{P}{2}$	$Q_{\text{max}}' = \frac{q \cdot L + P}{2}$

Обозначения в табл. 1:  $P$  – нагружающее усилие;  $q$  – распределенная нагрузка от веса щита;  $L$ – расстояние между опорами (пролет).

При статическом изгибе щита с наклонным расположением реек подложки всю нагрузку будет воспринимать только набор планок лицевого покрытия, так как рейки основания между собой не связаны. Планки лицевого покрытия будут испытывать деформации растяжения-сжатия (рис. 2), причем верхние слои будут сжиматься, а нижние – растягиваться. Но так как и планки лицевого покрытия между собой не связаны, то на растяжение будет работать клеевой шов.

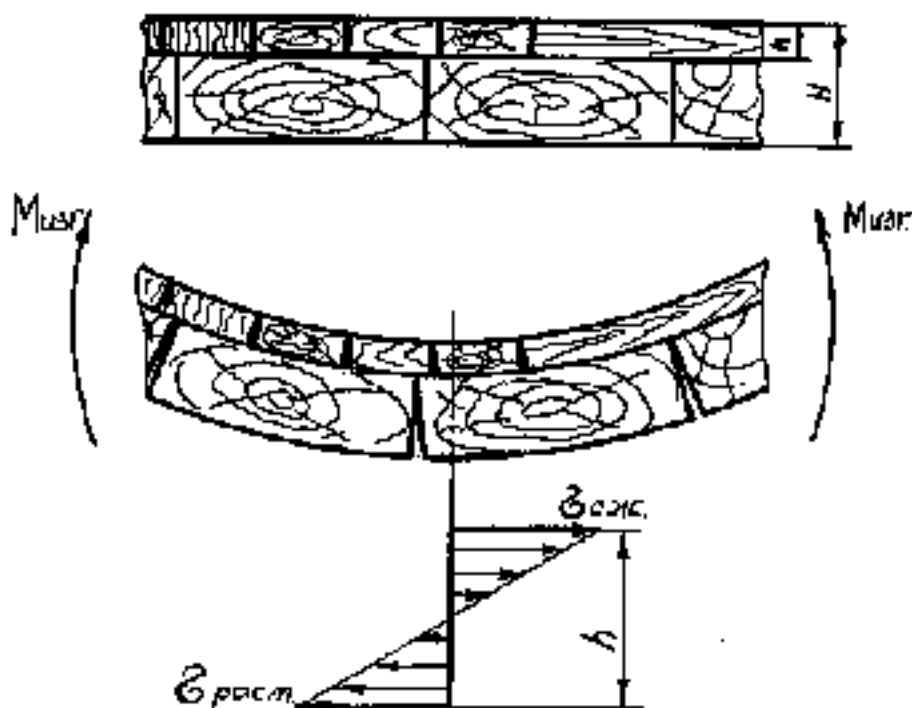


Рис. 2. Деформация элемента щита и напряжения в сечении

На практике, вследствие затекания клея между рейками подложки и между планками лицевого покрытия, и те и другие будут связаны. Эта связь дает неопределенный, но положительный запас прочности конструкции в целом.

Для упрощения расчетов будем считать, что основную часть усилий будут воспринимать граничные слои планок и реек, расположенные в области клеевого шва. Тогда максимальные нормальные напряжения в поперечном сечении щита:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_z}, \quad (3)$$

где  $M_{max}$  – максимальный изгибающий момент;  $W_z$ – момент сопротивления сечения лицевого покрытия щита.

Нормальные напряжения в граничных слоях в области клеевого слоя при разрушении будут приближаться к значениям предела прочности древесины в тангенциальном направлении, т. е.  $\sigma_{max} \approx \sigma_6$ .

Момент сопротивления сечения лицевого покрытия щита будет равен:

$$W_z = \frac{L_{щ} \cdot h^2}{6}, \quad (4)$$

где  $L_{щ}$  – длина (ширина) щита;  $h$  – толщина (высота) планки.

Тогда уравнение (4) можно записать в следующем виде:

$$M_{max} = \sigma_6 \cdot \frac{L_{щ} \cdot h^2}{6}. \quad (5)$$

Значения изгибающих моментов возьмем из таблицы.

а). С учетом веса щита

$$\frac{(q \cdot L + 2 \cdot P')}{8} = \sigma_6 \cdot \frac{L_{щ} \cdot h^2}{6}. \quad (6)$$

Откуда

$$P' = \frac{2}{3} \sigma_6 \cdot \frac{L_{щ}}{L} \cdot h^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L. \quad (7)$$

Так как  $q \cdot L = G$ , не что иное, как вес щита, то

$$P' = \frac{2}{3} \cdot \sigma_6 \cdot \frac{L_{щ}}{L} \cdot h^2 - \frac{1}{2} \cdot G. \quad (8)$$

б). Без учета веса щита:

$$\frac{P \cdot L}{4} = \sigma_6 \cdot \frac{L_{щ} \cdot h^2}{L}, \quad (9)$$

откуда

$$P = \frac{2}{3} \cdot \sigma_6 \cdot \frac{L_{щ}}{L} \cdot h^2. \quad (10)$$

Сравнивая выражения (8) и (10) можно заметить, что разрушающая нагрузка, при ее приложении в центре щита, с учетом и без учета силы веса самого щита различается на величину, равную половине веса щита.

По данным Уголева Б.Н. предел прочности в тангентальном направлении для древесины сосны составляет примерно 1/20 от предела прочности при растяжении вдоль волокон [4]. Тогда монтажная прочность щита данной конструкции может быть оценена приведенной силой (приложенной в центре щита), минимальное значение которой составляет, с учетом веса щита, примерно 200 Н.

Учитывая, что при склеивании щитов неизбежно затекание клея между планками лицевого покрытия и рейками подложки, действительная монтажная прочность щитов будет несколько выше.

Минимальный расчетный угол наклона реек может быть определен из условия:

$$\sin \alpha_{min} = \frac{2 \cdot b}{L_p}, \quad (11)$$

где:  $b$  – ширина планки;  $L_p$  – длина реек подложки.

Величина  $L_p$  может быть получена из зависимости:

$$L_p = L + \Delta = L + 2 \cdot L_{щ} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (12)$$

где  $\Delta$  – величина увеличения длины реек подложки по отношению к длине стороны щита при расположении реек под углом наклона  $\alpha$ .

Формула (11) определяет граничные условия, при которых длины подрезаемых при механической обработке щита по контуру первой и последней реек подложки равняются оптимальной величине  $l/2$ .

*Вывод.*

Полученные аналитические зависимости позволяют определить рациональные значения угла разворота реек основания паркетного щита относительно планок лицевого покрытия. Предлагаемое техническое решение по изменению конструкции паркетного щита позволяет упростить процесс его формирования и снизить его себестоимость.

#### Библиографический список

1. Угрюмов С.А., Бирман А.Р., Тамби А.А., Белоногова Н.А. Паркетный щит. Пат. № 2769690, заявка №2021115480, опуб. 05.04.2022 г.
2. Бирман А.Р. Теоретическое и экспериментальное обоснование технологии и параметров оборудования для производства облицовочных деревянных покрытий. – Санкт-Петербург: СПбЛТА, 2001. –156 с.
3. Угрюмов С.А., Бирман А.Р., Тамби А.А., Белоногова Н.А. Совершенствование конструкции клееного щитового паркета с увеличением его монтажной прочности // Клеи. Герметики. Технологии. – М.: Наука и технологии, 2021. – № 8. – С.28-32.
4. Уголев Б.Н. Испытания древесины и древесных материалов. – Москва: Лесная промышленность, 1965. –222 с.

#### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Бирман А.Р.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	3247-9904
<b>e-mail</b>	birman1947@mail.ru
<b>ФИО</b>	Белоногова Н.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8883-9771
<b>e-mail</b>	pmig@spbftu.ru

**ФИО** Козлова И.К.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
**Адрес** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-  
**организации** Петербург, Россия  
**SPIN-код** Отсутствует  
**e-mail** tlzp@spbftu.ru

**ФИО** Фролов И.С.  
**Организация** Военная академия связи имени Маршала  
Советского Союза С.М. Буденного  
**Адрес** 194064, К-64, Тихорецкий проспект, д.3,  
**организации** Санкт-Петербург, Россия  
**SPIN-код** Отсутствует  
**e-mail** tlzp@spbftu.ru

### **Аннотация**

Представлены аналитические зависимости для расчета прочностных характеристик паркетных щитов, выполненных в виде двухслойной клееной конструкции, рейки основания которой развернуты на некоторый угол по отношению к планкам лицевого покрытия. Полученные зависимости позволяют определить рациональную величину угла разворота реек основания при сохранении эксплуатационных требования, предъявляемых к двухслойным паркетным щитам.

**Ключевые слова:** паркетный щит, склеивание, планка лицевого покрытия, нагрузка, деформация.

**УДК** 674.816

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.35.99.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОКОРКИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОРОЛИТА**

**Горелик М.Д., Угрюмов С.А.**

### *Введение.*

В настоящее время в любом технологическом процессе переработки древесины неизбежно образуются древесные отходы в различных видах (опилки, обрезки, отбраковки, щепы, кора и т.д.) [1]. Перерабатывающие предприятия заинтересованы в повышении степени использования сырья и эффективной переработке образующихся отходов, поскольку при этом сокращаются общие производственные затраты. В деревообработке известны

различные методы вторичного использования древесных отходов с выработкой качественной и востребованной продукции, что позволяет расширить ассортимент выпускаемой продукции, улучшить экономические показатели работы предприятий и сделать производство более конкурентоспособным.

На крупных деревообрабатывающих предприятиях чаще всего древесное сырье подлежит окорке, при этом на складах сырья неизбежно образуются большие запасы коры и производственникам приходится решать, что делать с этими отходами. На каждом предприятии при выборе способа утилизации или переработки коры идут по своему пути, который зависит от множества факторов, главный из которых – экономический.

#### *Цель работы.*

Целью работы является обоснование экономически выгодного направления переработки отходов окорки на деревоперерабатывающих предприятиях с выпуском материалов с высокой добавочной стоимостью.

#### *Методы исследований.*

В работе применены аналитические методы исследования с обзором литературных данных, патентных решений, а также отчетных открытых данных деревоперерабатывающего предприятия.

#### *Результаты исследований.*

Простейший путь утилизации коры – вывоз ее в отвалы, использовать для подсыпки грунтовых дорог, в сельском хозяйстве для мульчирования почвы [2]. Однако этот вариант не приносит существенной прибыли, а зачастую, наоборот, связан с наличием затрат на вывоз отходов.

Переработка коры на удобрение путем измельчения ее в корорубках и молотковых мельницах с последующей выдержкой до получения гумуса позволяет получать прибыль от реализации, однако эта прибыль не велика [3].

Чаще всего кору используют в качестве топлива для сжигания в топках производственных котельных и получения теплоносителя для производственных нужд [4]. Однако кора является низкосортным топливом с высоким содержанием влаги, золы и низкими сыпучими свойствами. Перед сжиганием требуется ее специальная подготовка, включающая измельчение и обезвоживание (подсушку). Отходы окорки, могут использоваться для получения топливных брикетов, в этом случае экономический эффект от реализации продукции возрастает.

Наиболее эффективными считаются химические методы переработки коры с получением ценных экстрактивных веществ, биологически активных веществ, дубильных, красящих и прочих ценных продуктов, а также методы переработки в плитные конструкционные и теплоизоляционные материалы [5,6].

В качестве примера рассмотрим использование отходов окорки, применительно к производству MDF плит на ОАО «Лесплитинвест». Среднегодовой объем потребления древесного сырья на предприятии

составляет 175...200 тыс.м<sup>3</sup>, из этого объема отходы коры составляют 7,5-13%, то есть 15...22,5 тыс.м<sup>3</sup>. Приблизительно половина этого объема в дальнейшем направляется в котельную для сжигания и производства теплоэнергии для производственных нужд. Неиспользованную кору складировать в кучах с последующей вывозкой в отвалы. Целесообразным является организация участка по переработке неиспользованной части коры и изготовления конструкционных королитовых плит на основе минеральных вяжущих.

Технологический процесс производства королитовых плит схож с процессом производства арболита [7]. В качестве связующего выступают минеральные вяжущие – гипс или портландцемент. Технология изготовления королита предусматривает измельчение коры, сушку и смешивание ее со связующим с добавлением регуляторов схватывания, формирование и уплотнение полученной массы, выдержку для схватывания минерального вяжущего, распалубку и технологическую выдержку для набора прочности.

Гипсовые растворы в сравнении с портландцементными менее восприимчивы к повышенному содержанию воды, поэтому их разбавление меньше влияет на физико-механические свойства плит. Несмотря на то что стоимость цемента меньше стоимости гипса, первый проигрывает по расходу при формировании материалов приблизительно в два раза, поэтому с экономической точки зрения использование гипса является более выгодным. Гипсовые вяжущие применяются как в чистом виде, так и в смеси с молотыми природными неорганическими добавками, или же с молотым доменным гранулированным шлаком [8].

По своему назначению королит делится на два вида: теплоизоляционный (с плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup>) и конструкционный (с плотностью выше 550 кг/м<sup>3</sup>).

Физико-механические свойства королита вполне отвечают требованиям строительной индустрии. Так, королитовые плиты плотностью до 700 кг/м<sup>3</sup>, имеют предел прочности при сжатии 17 кг/см<sup>2</sup>, а при изгибе 2...3,5 кг/см<sup>2</sup>. Конечная влажность королитовых плит равна 10%. Коэффициент теплопроводности – 0,14...0,16 Вт/(м×°С).

Оптимальные размеры теплоизоляционных королитовых плит составляют 680×750×50 мм, конструктивных плит – 800×800×50 мм. Плиты из королита можно использовать в различных строительных конструкциях, например, в качестве звукопоглощающей прокладки в междуэтажном перекрытии и в стеновой однослойной панели.

Производство королитных плит осуществляется многопозиционным способом на конвейерах с жесткими металлическими поддонами, в которых основные его агрегаты и связывающая их система транспортных средств расположены по замкнутому контуру. Основным агрегатом этой системы, определяющим производительность цеха, является прессовая установка. В функции прессы входят следующие операции:

- прессование пакета (формы) плит, установленных в силовой тележке до конечных размеров по толщине;
- запираение (замыкание) силовой тележки с помощью специального замыкающего устройства;
- размыкание тележки после термообработки или выдержки.

Согласование работы линии оборудования, входящего в ее состав, производят путем расчета ритма главного конвейера. Рассчитанные производственные параметры представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сводные показатели производства королита

Наименование показателя	Един. изм.	Значения
Длительность цикла прессования	мин	1,21
Часовая производительность прессы	кг/ч	3,3
Ритм конвейера	сек	24,2
Расход коры:		
- на 1 м <sup>3</sup> плит	кг	182,88
	м <sup>3</sup>	0,267
- часовой расход сырья	м <sup>3</sup>	0,881
- сменный расход сырья	м <sup>3</sup>	7,049
- суточный расход сырья	м <sup>3</sup>	21,146
- годовой расход сырья	м <sup>3</sup>	5340,0
Расход вяжущего:		
- часовой	кг	676,17
- годовой	тонн	4098,0
Расход химических добавок:		
замедлитель		
- часовой	кг	0,861
- годовой	тонн	5,22
антисептик		
- часовой	кг	32,287
- годовой	тонн	195,68
Годовой расход воды для получения гипсового теста	м <sup>3</sup>	2670

При расчетном годовом выпуске королитных плит в объеме 20 тыс. м<sup>3</sup> сумма капитальных вложений составит 14,67 млн. руб., прибыль от реализации продукции составит 8,74 млн. руб. (с учетом налога на прибыль 6,99 млн. руб.). Срок окупаемости капитальных вложений на оборудование и предпусковые расходы составляет **1,7 года**.

*Заключение.*

Организация переработки отходов окорки с получением королита позволяет повысить степень использования сырья на предприятии с выпуском востребованного строительного материала.



### Библиографический список

1. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. – Москва: МГУЛ, 2006. – 262 с.
2. Девятловская А.Н., Журавлёва Л.Н., Девятловский Н.В. Утилизация древесной коры деревоперерабатывающих предприятий // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2010. – № 27. – С. 51-54.
3. Веприкова Е.В., Кузнецова С.А., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н. Получение органоминеральных удобрений на основе древесной коры (обзор) // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия, 2016. – Т. 9. – № 4. – С. 414-429.
4. Рыжов Б.А. Использование коры в качестве вторичного энергетического ресурса // Международная молодежная научная конференция «XXII Туполевские чтения (Школа молодых ученых)»: материалы конференции. – Казань: КНИТУ, 2015. – С. 204-209.
5. Чиждова М.А., Чиждов А.П. Древесные отходы в реальную прибыль // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Братск: БГТУ, 2010. – № 25. – С. 208-210.
6. Пряничникова А.В., Звягинцев В.Ю. Древесные отходы как сырье для конструкционных и теплоизоляционных материалов // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск: СибГУ, 2021. – С. 161-163.
7. Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины. – Москва: МГУЛ, 2004. – 234 с.
8. Пинджоян М.Л. Королит – новый строительный материал // Лесная промышленность, 1969. – № 10. – С. 13-14.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Горелик М.Д.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	markgor24@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Угрюмов С.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	6246-6269
<b>e-mail</b>	ugr-s@yandex.ru

### Аннотация

Представлен краткий обзор способов переработки и утилизации отходов окорки древесины на деревоперерабатывающих предприятиях. Предложена организация участка по переработке неиспользованной части коры и изготовления конструкционных королитовых плит на основе минеральных вяжущих на промышленном предприятии. Выполнен пооперационный расчет сырья и материалов, необходимого технологического оборудования, инвестиций и срока окупаемости

**Ключевые слова:** древесная кора, отходы, королит, минеральное вяжущее, гипс, инвестиции срок окупаемости.

УДК 674.816.2

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.35.99.

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ САУ КАК КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА СУШКИ ШПОНА

Долгов К.А., Марков В.А.

### *Введение*

Листовые материалы (мягкие плиты, шпон) сушат в роликовых сушилках. Агентом сушки служит горячий воздух или пар, совершающий, многократную циркуляцию по агрегату. Листовой материал перемещается вращающимися роликами вдоль сушилки, отдает влагу и выходит из сушилки с требуемой влажностью. Регулируемыми величинами здесь являются влажность материала на выходе из сушилки, температура и влажность воздуха в сушилке, а входными - влажность материала на входе в сушилку, скорость перемещения материала по сушилке, расход пара, интенсивность циркуляции субтильного агента.

### *Цель работы.*

Целью работы является определение чувствительности САУ, для оценки качества сушки, в связи с этим нам нужно выполнить следующие задачи: определить передаточные функции сушилки и электродвигателя, составить схему САУ и найти ее чувствительность.

### *Методы исследований.*

В работе использован математический анализ чувствительности САУ.

### *Результаты исследований.*

Естественно передаточная функция сушильной камеры более сложная чем мы рассматриваем и будет состоять из передаточных функций различных ее элементов и систем. Таких как система контроля влажности, температуры и т.д. И в результате мы получим весьма сложную и громоздкую структурную схему объекта управления. Нам для поставленной перед нами задачи достаточно рассмотреть упрощенный вариант структурной схемы сушильной камеры. Она будет включать в себя передаточную функцию сушилки и электродвигателя вентилятора. Общей передаточной функции упрощенного объекта будет достаточно для достижения поставленной перед нами задачи [1]. На рис. 1 представлена структурная схема объекта управления.

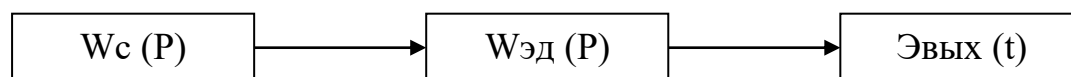


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

Передаточная функция сушилки:

$$W_c(p) = \frac{K_1}{(T_1 p + 1)} \quad (1)$$

Передаточная функция электродвигателя:

$$W_{эд}(p) = \frac{K_2}{(T_2 p + 1)} \quad (2)$$

Общая передаточная функция:

$$W_{об}(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент усиления;  $T_1$  – постоянная времени механической части объекта,  $T_1=0,28$  с;  $T_2$  – постоянная времени электродвигателя,  $T_2=0,1$  с.

Зная заранее вид функции чувствительности САУ, можно определить запас устойчивости и надежности САУ, а также появится возможность предсказать работоспособность существующих систем.

Параметры системы автоматического управления, то есть коэффициенты усиления и постоянные времени, зависят от физических параметров элементов, входящих в систему (сопротивления, емкости, индуктивности и т. п.). Величины этих физических параметров, во-первых, могут иметь разброс вследствие допусков на изготовление (технологический разброс). Во-вторых, в зависимости от условий эксплуатации и в процессе работы системы они по разным причинам могут изменяться со временем (эксплуатационное изменение).

Функции чувствительности используются для количественной оценки отклонения передаточной функции системы от номинальной при изменении параметров того или иного элемента системы. Для проектировщиков систем управления особый интерес представляет чувствительность передаточной функции САУ к изменению параметров объекта управления.

Пусть есть структурная схема САУ с обратной связью, для простоты объединим цепочку управления с объектом управления и обозначим передаточной функцией (рис. 2).

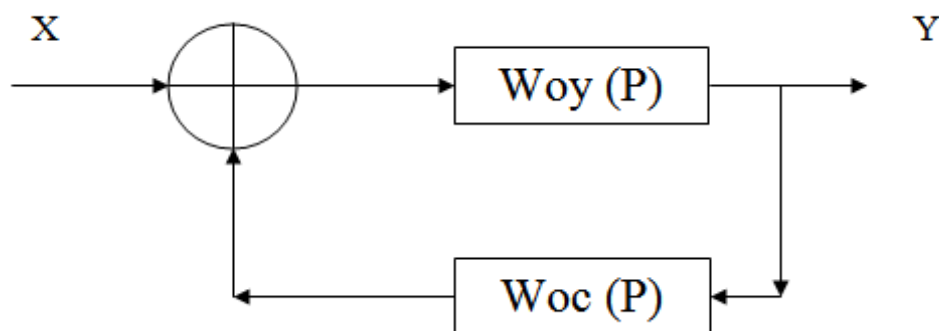


Рис. 2. Структурная схема САУ с обратной связью

$$W_{oy}(p) = \frac{y}{\varepsilon} W_{oc}(p) = \frac{\varepsilon}{y} \quad (4)$$

Чувствительность САУ с обратной связью относительно вариации

объекта управления определяется по формуле:

$$S = \frac{(d(y/x)/(y/x))}{(d(z/x)/z/x)} \quad (5)$$

$$S = \frac{d\left(\frac{W_{oy}}{1+W_{oy}W_{oc}}\right) / \left(\frac{W_{oy}}{1+W_{oy}W_{oc}}\right)}{dW_{oy}/W_{oy}} = \frac{d\Phi/\Phi}{dW_{oy}/W_{oy}} \quad (6)$$

где  $W_{oy} / W_{oy}$  – бесконечное изменение, ведущее к изменению, так же малому  $d\Phi/\Phi$ .

Сделаем преобразование в формуле и после вычисления производных получим:

$$S = \frac{1}{W_{oy}W_{oc}+1}, \quad (7)$$

что в свое время показал Гарольд Блек [2]:

$$S = \frac{1}{F}, \quad (8)$$

где  $F$  – возвратная разность:

$$F = 1 + W_{oy}W_{oc} . \quad (9)$$

Из формулы видно, что чем больше  $W_{oy} W_{oc}$ , тем чувствительность САУ к изменениям внутри объекта управления меньше.

Аналогичный результат можно получить и для чувствительности САУ к изменению в обратной связи. На практике это выражается в повышении коэффициента усиления.

Формула рассматриваемая зависимость применима для параметров, которые меняются в пределах  $\pm 30\%$ , для больших вариаций, которые трудно назвать малыми используются понятие чувствительность Горовица [2].

*Заключение.*

В общем виде можно показать влияние любого, либо всех параметров (усиления, колебательности, запаздывания, постоянных времени) на поведение САУ. В какой-то степени введение функции чувствительности делает задачу похожую на систему с переменными параметрами.

### Библиографический список

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – Санкт-Петербург: Профессия. 2003. – 752с.
2. Чернорудский И.Г. Методы оптимизации в теории управления. – Санкт-Петербург Питер, 2004. – 256 с.

### Сведения об авторах

**ФИО**

**Организация**

Долгов К.А.

Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени  
С.М. Кирова

<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	kirill_dolgov01@mail.ru
<b>ФИО</b>	Марков В.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	1503-7932
<b>e-mail</b>	mactor85@mail.ru

### **Аннотация**

Регулируемыми величинами при сушке древесины являются влажность материала на выходе из сушилки, температура и влажность воздуха в сушилке. Функции чувствительности используются для количественной оценки отклонения передаточной функции системы от номинальной при изменении параметров того или иного элемента системы. В общем виде можно показать влияние любого, либо всех параметров на поведение САУ (системы автоматизированного управления). В какой-то степени введение функции чувствительности делает эту задачу похожую на систему с переменными факторами, решение которой поможет установить оптимальные значения параметров технологического процесса сушки.

**Ключевые слова:** сушка, деревообработка, чувствительность, автоматизм, система, функции.

**УДК** 674.047.3

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.29.17, 28.29.03

## **ЭФФЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ КОРЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

**Угрюмов С.А., Козловская К.А.**

*Введение.*

Доля коры варьируется от дерева к дереву и составляет около 6-25% от объема ствола. Химический состав коры очень похож на состав древесины, но содержание минералов в коре выше (около 4%). Целлюлозы в коре довольно мало, но присутствуют водорастворимые экстрактивные вещества (до 30% ухвойных пород). Кора березы(береста) содержит до 40% суберина –

пробкового вещества с низкой водо- и газопроницаемостью, и теплопроводностью [1].

На предприятиях лесопромышленного комплекса, где почти все сырье подлежит окорке, всегда образуются большие запасы коры и производственникам приходится решать, что делать с этими отходами. Решение проблемы утилизации коры в настоящее время является важным экологическим и экономическим вопросом.

#### *Цель работы.*

Целью работы является анализ известных методов переработки и утилизации коры, образующихся на предприятиях лесопромышленного комплекса, выбор предпочтительных способов переработки коры с экономической и технологической точек зрения.

#### *Методы исследований.*

В работе использован аналитический и патентный обзор химических методов переработки и утилизации коры.

#### *Результаты исследований.*

Известен метод получения органических удобрений из древесной коры [2], заключающийся в измельчении коры и смешивания ее с минеральными и(или) органическими добавками, дальнейшего формирования из смеси бурта с воздушными каналами, аэрацией бурта и биохимической переработкой смеси до гумуса, отличающийся тем, что образование воздушных каналов в бурте осуществляют укладкой стержней на его основание параллельно друг другу с дальнейшим периодическим извлечением их наружу на 70% длины стержней по мере засыпки последующей партией компостной смеси в направлении стержней. Данная технология позволяет получать органические удобрения из доступного сырья – древесной коры.

К достоинствам данного метода подработки древесной коры можно отнести то, что удобрения, полученные данным способом, могут быть натуральными и безопасными для окружающей среды, а процесс переработки не требует сложного оборудования и может осуществляться на месте сбора сырья.

Среди недостатков данного метода можно отметить то, что некоторые компоненты древесной коры, такие как танины, могут негативно влиять на рост растений. А также в процессе переработки древесной коры могут образовываться опасные химические соединения, такие как диоксины и фураны.

Одним из методов подработки древесной коры является способ получения эфирного масла из коры хвойных растений [3]. Данный метод заключается в перегонке эфирных масел с водяным паром при температуре 90-100°C и давлении 0,07...0,15 МПа в течение 8...10 ч. В качестве растительного сырья используют измельченную до размеров 1...2 см кору ели аянской, пихты белокорой, лиственницы даурской, сосны кедровой корейской

- отходов деревьев от рубок главного и промежуточного пользования, а также от переработки древесины. Данная технология позволяет получать эфирные масла из растительного сырья, которые могут быть использованы в лесной, фармацевтической, химической, медицинской и других отраслях промышленности.

Этот способ получения эфирного масла из коры хвойных растений является натуральным и экологически чистым. Еще одним из достоинств данного метода будет то, что методика обработки коры позволяет получать эфирное масло с высокой степенью очистки и сохранением всех полезных свойств растительного сырья. А процесс экстракции проводится с использованием высоких температур, что позволяет добиться максимального извлечения эфирных масел. Так же данный способ позволяет получать эфирное масло из различных видов хвойных растений, что расширяет возможности для производства и применения данного продукта.

Среди недостатков данного метода можно отметить следующее: данный процесс требует больших энергетических затрат. Извлечение эфирных масел из растительного сырья может быть затруднено при обработке труднодоступных частей растения. Некоторые специфические ароматические свойства эфирного масла могут быть утеряны.

Известен метод получения дубильного экстракта при переработке отходов окорки древесины [4], он включает экстракцию дубильных веществ из коры, преимущественно, еловой горячей водой при температуре 80...90°C и гидромодуле 8:1 в гидродинамическом аппарате в течение 20 мин. Данный способ касается получения дубильного экстракта при переработке отходов окорки древесины и может быть использован в целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей и лесохимической промышленности.

Среди плюсов данного способа можно отметить получение дубильного вещества высокого качества, а также используемые компоненты натуральны и не вызывают вредных эффектов для окружающей среды и здоровья человека. К минусам данного метода можно отнести трудоемкость и высокие требования к квалификации работников, что может повлиять на стоимость производства.

Так же был рассмотрен метод подработки коры ели [5], данный метод заключается в измельчении коры, экстракции неполярным растворителем, обработку остатка коры водно-спиртовой смесью с выделением дубильного экстракта и переработку оставшейся коры в активный уголь, отличающийся тем, что экстракцией неполярным растворителем выделяют хвойный воск, а остаток коры обрабатывают однократно водно-спиртовой смесью, содержащей 1 мас.% гидроксида натрия с получением дубильного экстракта.

Среди достоинств данного метода можно выделить доступность сырья (кора ели); получаемое вещество имеет широкий спектр применения в

медицине и косметике. К недостаткам можно отнести дороговизну производства из-за необходимости использования высокотехнологичных методов извлечения вещества. А также использование больших объемов коры ели может оказать отрицательное влияние на экологическую среду.

Известен способ переработки коры березы [6], который заключается в ее измельчение, экстракцию растворителем с последующим выделением смеси тритерпеноидов, отличающийся тем, что переработку коры проводят без предварительного разделения на бересту и луб, экстракцию тритерпеноидов проводят неполярным растворителем и выделенную смесь тритерпеноидов обрабатывают 20-25%-ной водной щелочью в течение 1,5-2,0 ч с получением бетулина, затем твердый остаток коры экстрагируют водно-спиртощелочной смесью с концентрацией гидроксида натрия 1,5%, концентрацией этанола 15-20% при температуре 75-80°C в течение 1,0-1,5 ч с получением дубильного экстракта, а остаток коры превращают в углеродные сорбенты карбонизацией в реакторе с кипящим слоем. Техническим результатом изобретения является переработка коры березы в бетулин, дубильный экстракт и углеродные сорбенты без предварительного разделения ее на бересту и луб.

К достоинствам данного метода можно отнести то, что данный способ позволяет полностью утилизировать многотоннажные отходы березовой коры. Данный способ дает возможность перерабатывать кору без предварительного разделения на бересту и луб. К недостатку способа переработки коры березы, описанного в патенте, можно отнести требование специального оборудования и определенных навыков выполнения процедур.

Известен метод переработки экстракта коры пихты [7], он включает в том что при переработке экстракта коры пихты экстракт фильтруют, обрабатывают его водным раствором щелочи, отделяют нейтральную часть экстракта и после отгонки из нее растворителя окисляют кислородом воздуха в присутствии катализатора - ацетата трехвалентного переходного металла (железа, кобальта или хрома) при температуре 100-120°C с последующей отгонкой продукта в вакууме с отбором фракции.

К достоинством данного способа относится получение продукта с оригинальным древесно-смолистым запахом (парфюмерная оценка - 4,5 балла), который может найти применение в парфюмерно-косметической промышленности, а также для использования в качестве компонентов отдушек в товарах бытовой химии.

#### *Заключение.*

Проведенный аналитический обзор показал, что способов утилизации древесной коры достаточное количество. К наиболее перспективному направлению переработки древесной коры, обрабатываемой на предприятиях лесопромышленного комплекса, можно отнести способ получения эфирного масла. Переработка древесной коры в эфирное масло позволяет получить



ценный продукт и получать высокую прибыль от реализации готовой продукции. Это экологически чистый и экономически выгодный процесс. Переработка древесной коры в эфирное масло является перспективным направлением для развития лесной отрасли с выпуском востребованного продукта для производства ароматических и косметических средств, медицинской и фармацевтической промышленности.

#### **Библиографический список**

1. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. – М.: Академия, 2004. – 272 с.
2. Патент RU 2249583 Способ получения органических удобрений из древесной коры / Н.А. Туев, Л.В. Свирин, А.А. Бровцев, Н.Н. Трошин, Ф.С. Ульмасов, А.Н. Волков; заявитель и патентообладатель Н.А. Туев, Л.В. Свирин, А.А. Бровцев, Н.Н. Трошин, Ф.С. Ульмасов, А.Н. Волков. - №2001102513/12; заявл. 29.01.2001; опубл. 10.04.2005, Бюл. №10. – 7 с.
3. Патент RU 2223776 Способ получения эфирного масла из коры хвойных растений / Ю.Г. Тагильцев, Р.Д. Колесникова, А.М. Орлов; заявитель и патентообладатель Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства. - №2001127991/15; заявл. 15.10.2001; опубл. 20.02.2004. – 5 с.
4. Патент RU 2220206 Способ получения дубильного экстракта / С.Г. Ермаков, Ф.Х. Хакимова, О.А. Носкова, О.В. Леконцева; заявитель и патентообладатель Пермский государственный технический университет. - №2003108151/12; заявл. 24.03.2003; опубл. 27.12.2003. – 5 с.
5. Патент RU 2333232 Способ переработки коры ели / В.А. Левданский, А.И. Бутылкина, Б.Н. Кузнецов; заявитель и патентообладатель Институт химии и химической технологии СО РАН (ИХХТ СО РАН). - №2007114719/04; заявл. 18.04.2007; опубл. 10.09.2008, Бюл. №25. – 5 с.
6. Патент RU 2352350 Способ переработки коры березы / В.А. Левданский, А.В. Левданский, Б.Н. Кузнецов; заявитель и патентообладатель Институт химии и химической технологии СО РАН (ИХХТ СО РАН). - №2008102254/15; заявл. 21.01.2008; опубл. 20.04.2009, Бюл. №25. – 6 с.
7. Патент RU 2103338 Способ переработки экстракта коры пихты/ Г.В. Ляндрес, В.А. Ралдугин, А.Я. Шпаков, М.А. Игумнова, Н.Я. Бушуева; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "ЭЛХА". - №95107552/13; заявл. 04.05.1995; опубл. 27.01.1998. – 5 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Угрюмов С.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	6246-6269
<b>e-mail</b>	ugr-s@yandex.ru

<b>ФИО</b>	Козловская К.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	karina.kozlovskaja@bk.ru

### **Аннотация**

В данной статье проведен анализ известных методов переработки и утилизации коры, образующихся на предприятиях лесопромышленного комплекса, выбор предпочтительных способов переработки коры с экономической и технологической точек зрения.

**Ключевые слова:** кора, переработка, утилизация, экстракт, эфирное масло,  
УДК 674.02

**Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99**

## **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЛОПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ**

**Федосеева М.А., Елисеев И.В.**

### *Введение.*

Самым «узким» участком деревообрабатывающей промышленности являются линии сортировки. Принятием решений о сорте продукции занимается рабочий-сортировщик. Высокий процент брака (неверно классифицируемых продуктов деревообработки) является следствием человеческого фактора. Сложность решения этой проблемы – в большом разнообразии пороков древесины, трудности их формализации и различных способах их оценивания, а также в ограниченности времени подготовки производства и в меняющихся условиях производства: освещенности, влажности древесины и засорении оптической системы видеодатчиков вследствие повышенной запыленности на производстве.

### *Цель работы.*

Целью данной статьи является исследование новых моделей управления качеством продуктов деревообработки на основе методов машинного обучения, и их реализация в системе управления качеством. Определен оптимальный набор средств получения информации о состоянии поверхности древесины для фотографического метода дефектоскопии, необходимой для корректного принятия решения о ее сорте.

### Методология и результаты исследований.

Российская Федерация занимает одно из лидирующих мест по количеству запасов древесины. Но при этом Россия производит деловой древесины меньше, чем развитые страны, и экспортирует, в основном, круглый лес. Крайне важно модернизировать и улучшать лесобрабатывающую отрасль промышленности, ведь на неё приходится немалая часть прибыли страны. Наибольшей частью по объему производства валовой продукции обладает деревообрабатывающая промышленность, которую можно условно разделить на лесопильно-строгальное производство, производство клееной слоистой древесины и древесноволокнистых плит (ДВП), столярно-механическое производство и производство по использованию вторичного сырья и неделовой древесины. Исходным сырьем для деревообрабатывающих производств является древесина в виде круглых лесных сортиментов, которые в дальнейшем раскраиваются (распиливаются). Основной продукцией после раскроя является пилопродукция (основные виды изображены на рис. 1[1]), а сопутствующей – технологическая щепка.[4]

Пилопродукция – продукция из древесины, полученная в результате продольного деления бревен и продольного и поперечного деления полученных частей. Пилопродукцию можно разделить на 4 группы: пиломатериалы, заготовки, шпалы и обапол. Пиломатериалы – пилопродукция установленных размеров и качества, имеющая, как минимум, две плоскопараллельные пласти. Получаемые пиломатериалы классифицируются по множеству признаков. Основные принципы классификации рассмотрены в табл. 1.

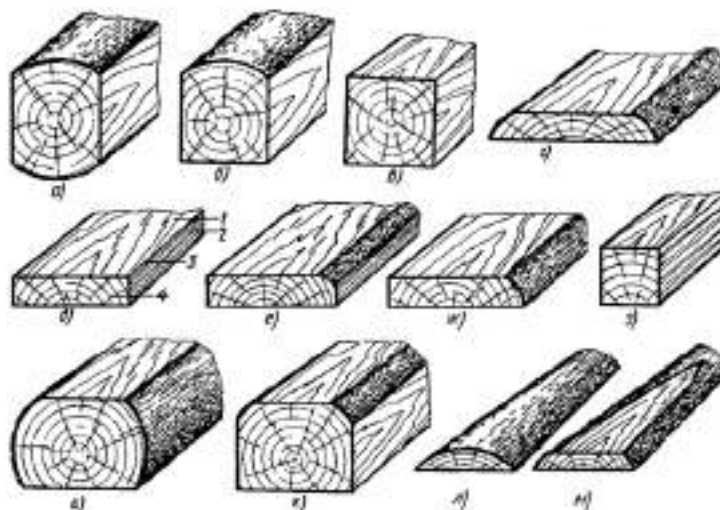


Рис. 1. Основные виды пилопродукции: а – двухкантный брус, б – трехкантный брус, в – четырехкантный брус, г – необрезная доска, д – обрезная доска, е – односторонне-обрезная доска с тупым обзолом, ж – односторонне-обрезная доска с острым обзолом, з – брусок, и – шпала необрезная, к – шпала обрезная, л – обапол горбыльный, м – обапол дощатый; элементы доски: 1 – плоть, 2 – кромок, 3 – ребро, 4 – торец.

Таблица 1 – Основные принципы классификации пиломатериалов

По породе	хвойные (сосна, ель, лиственница, пихта и др.) и лиственные (делятся на мягкие лиственные (береза, осина, липа, тополь и др.) и твердые лиственные (дуб, ясень, орех, бук и др.))
По назначению	экспортные (северной и черноморской сортировки) и внутреннего потребления (общего и специального назначения)
По характеру обработки	обрезные, односторонне-обрезные и необрезные
По размерам и геометрической форме поперечного сечения	пластины (в виде сегментов), четвертины (в виде секторов), брусья, доски, бруски и обалол
По расположению в бревне	сердцевинные (выпиленные из центральной части бревна и включающие сердцевину), центральные (каждый из двух смежных пиломатериалов выпилен из центральной части бревна или бруса и расположен симметрично оси бревна) и боковые (выпиленные из боковой части бревна) доски и брусья
По расположению пластей относительно направления годичных слоев	пиломатериалы радиальной, тангенциальной (тангентальной) и смешанной распиловки
По качеству древесины, точности размеров и чистоте поверхности	сорта

Для оценки и управления качества пиломатериалов на предприятии производят операцию, называемую сортировкой пиломатериалов. Сортировка пиломатериалов – это разделение пиломатериалов на группы (классы) по показателям качества и размерам. Также распределение производится по породе, степени обработки и назначению пиломатериала. Пиломатериалы, рассортированные путем внешнего осмотра, основанного на учете размеров, количества, характера и местоположения пороков называются пиломатериалами визуальной сортировки. После визуальной оценки пиломатериала его определяют на место, отведенное для каждого сорта.

Значение оценки и управления качества пиломатериалов велико. От них зависят: дальнейшее использование пиломатериалов, рациональное использование пиломатериалов (количество отходов), трудовые затраты на переработку пиломатериалов, качество сушки и рациональное использование мощности сушильных камер, учет эффективности работы лесопильного цеха.

Управлением качества пиломатериалов занимается один или несколько рабочих-сортировщиков, работающих последовательно. Их производительность сильно ограничена тем, что каждому рабочему необходимо осмотреть пиломатериал с одной стороны, принять решение о сорте данной пласти, перевернуть его, осмотреть пиломатериал с другой стороны, принять решение о сорте второй пласти и нажать кнопку соответствующего сорта на пульте управления. Или если принимается решение о необходимости обрезки какого-либо порока, то рабочий должен

вместо нажатия кнопки с сортом нанести метку, по которой пиломатериал будет обрезаться. Порой решение затруднено тем, что рабочий должен быстро и при этом правильно принять решение о том, что выгоднее: оставить доску большего размера, но низшего сорта или обрезать доску, сделав ее выше сортом. Так, на торцовочных столах и немеханизированных сортировочных конвейерах, где рабочий использует в работе только мелок для нанесения меток и крюк для переворота досок скорость оценки качества составляет 6-7 досок в минуту. При использовании современных линий торцовки и сортировки пиломатериалов, где уже используются автоматические механизмы для переворачивания досок, скорость сортировки может быть увеличена как минимум в полтора-два раза.[4]

Таким образом, эффективность работы оператора зависит от следующих факторов: степени механизации и автоматизации линии, уровня знания ГОСТов и ТУ для пиломатериалов, опыта работы, усталости.

Пороки древесины разнообразны и многочисленны (пороки древесины – это недостатки отдельных участков древесины, снижающие ее качество (нарушение целостности тканей и клеточных оболочек, правильности ее строения и повреждения древесины, изменения внешнего вида древесины) и ограничивающие возможность ее применения. Пороками являются и естественно встречающиеся в древесине образования (сучки, кора, сердцевина и т.д.), и патологические или не патологические образования (гнили, червоточины, окраски и т.д.)). Труд рабочего, контролирующего качество древесины, сложен. Именно поэтому управление качеством пиломатериалов – очень ответственная и трудоемкая операция, проводимая на многих предприятиях визуальную и вручную. Для качественной оценки пиломатериалов требуются специалисты высокого класса.

Существует большое число различных видов и разновидностей пороков. При этом единицы и методика измерения каждой разновидности изменяется от ГОСТа к ГОСТу, от ТУ к ТУ. Например, в ГОСТ 2695-83 для измерения сучка может быть использован как его наименьший диаметр, так и его ширина (расстояние между касательным и к контуру сучка, проведенными параллельно продольной оси сортимента), измерение может вестись как в миллиметрах, так и долях размеров пиломатериалов[4]. Причем рабочему приходится визуальную оценивать эти размеры. Но в мире уже имеются технические системы, которые предназначены для задач обнаружения и измерения пороков, которые в той или иной мере упрощают работу человека. С задачей обнаружения и измерения пороков справляются современные приборы и средства, основанные на различных методах дефектоскопии.

Дефектоскопия древесины – совокупность неразрушающих методов контроля качества древесины, использующихся для исследования физических свойств древесины (обнаружения изменения окраски, неоднородности поверхности или структуры древесины) с целью выявления дефектов материала, установления их местонахождения и размеров. Дефектоскопия основывается на различных физических методах обнаружения дефектов.

Фотоэлектронная (фотоэлектрическая), люминесцентная, ультразвуковая, гамма-фотографическая дефектоскопия – наиболее известные применяемые методы автоматического обнаружения пороков. Все предложенные методы, кроме фотографического, не могут дать информации о размерах дефектов (максимальная информация, которую возможно получить – это протяженность дефекта). Эти методы хороши для определения наличия и/или месторасположения дефекта. При получении фотоснимков флуоресцирующей древесины или просвеченной гамма-излучением необходимость распознавания снимков остается.

Наиболее перспективным является метод, основанный на фотографировании изображения. На основании него можно судить, к какому типу и виду отнести дефект, измерить все возможные геометрические размеры (кроме глубины), определить расположение сучков относительно друг друга [4].

После получения фотографического снимка поверхности древесины (или кадра из видео потока) могут понадобиться операции по улучшению качества изображения. Для выравнивания освещения можно использовать специальные алгоритмы, такие как выравнивание неравномерной освещенности фона. Смысл этого алгоритма состоит в применении операции размывания. Чтобы выровнять контрастность, цветность и яркость изображения, существует большое число методов улучшения гистограмм. Наиболее популярные из них: линейное контрастирование, выделение диапазона яркостей, преобразование изображения в негатив, степенные преобразования, логарифмическое преобразование, эквализация (выравнивание) гистограммы и т.д. Вдобавок к вариативности освещения, на пиломатериалах могут присутствовать щепки и опилки, которые, в сущности, являются шумами, затрудняющими распознавание пороков. Также не исключено и влияние шумов видеодатчика и ошибок в канале передачи на качество снимка. Для подобных ситуаций разработаны методы фильтрации изображений. Они делятся на методы пространственной фильтрации изображений (линейной или нелинейной) и частотной фильтрации изображений.

Самым главным шагом в обработке изображения является его сегментация и подготовка к ней. Сегментация является операцией нахождения границ объектов относительно фона и друг друга [5]. Исходным изображением для сегментации обычно является бинарное изображение, где обычно фону присваивается значение «0», а располагающимся на нем объектам – значение «1». Такое изображение легче всего получить методом бинаризации Отса (Оцу), где пиксели меньше заданного порога относились к фону, а больше заданного порога – к объектам.

После сегментации изображений можно перейти к распознаванию выделенных пороков, используя геометрические, цветовые и текстурные признаки. Они позволяют сформировать поле признаков, достаточное для распознавания всех видов пороков. По этим признакам будет формироваться

выборка, необходимая для задачи классификации и распознавания после обучения.

Поскольку большое количество признаков, методов измерения, величин измерения и учета количества, а также дополнительных правил, регламентированных в ГОСТ (для обучения каждому из 4-х ГОСТов получено 56 различных классифицирующих признаков сорта только для одной группы пороков), не дает создать систему обучения и классификации, подобную рабочему-сортировщику. Во всех стандартах и требованиях не прослеживается какая-либо четкая логика, поэтому стоит рассмотреть способы классификации пороков для формирования оптимального поля признаков классификации меньшего размера.

Классификация Матвеева-Мотина более всего применима к таксационным задачам [2], а классификации Брауна-Паншина-Форсайта, Вагенфюра и Вакина-Полубояринова-Соловьева являются более обобщенными классификациям и по ГОСТ 2140-81.

Древесина имеет химические свойства, физические свойства (в которые входят внешний вид, влажность, плотность, проницаемость жидкостями и газами, тепловые свойства, электрические свойства, звуковые свойства и свойства древесины, проявляющиеся при воздействии излучений) и механические свойства (в которые входят прочность при сжатии, прочность при растяжении, прочность при статическом изгибе, прочность при сдвиге, деформативность, эксплуатационные и технологические свойства), на которые влияют пороки. Древесина пиломатериала для каждого сорта должна обладать определенным диапазоном значений физико-механических и геометрических свойств. На основе изменения физико-механических свойств возможно создание обучающей выборки для классификации по сортам.

Геометрические данные можно получить, исходя из информации, получаемой с лазерных датчиков размеров. С помощью них можно измерить размеры пиломатериала, отклонение от прямолинейности, отклонение поверхности от плоскости, также глубину некоторых дефектов и целостность древесины. Определение шероховатости при высоком разрешении лазерного сканера можно также возложить на лазерные датчики размеров или вычислять ее на основе сегментированного фотографического снимка по текстурным признакам. Также по сегментированным снимкам можно производить определение характеристик внешнего вида порока, его размеров, а после распознавания и идентификации можно определить наличие ухудшение некоторых свойств, таких как водопоглощение. Остается только определить, как некоторые разновидности пороков влияют на механические свойства. Зависимости изменения механических свойств от имеющихся пороков можно найти в [3], а также в [6] и в специальной литературе по конструкционным и физико-механическим свойствам древесины.

Самыми быстрыми в обучении и распознавании являются турнирный, дихотомический классификатор и классификатор «Каждый за себя». Но по качеству обучения и распознавания дихотомический классификатор не очень

надежен: при совершении ошибки в делении велика вероятность большого процента неверных классификаций. Классификатор «Каждый за себя» также не отличается высокой точностью. Напротив, классификатор «Турнир на выбывание» иногда выдавал меньший процент ошибок, чем «Каждый против всех» и «Каждый против каждого» [7], что делает его наиболее подходящим из всех мультиклассовых распознавателей.

Обобщенный алгоритм системы управления, в который входят, как реализованные модели принятия решений, так и модуль захвата, сегментации и распознавания изображений представлен на рис. 2.

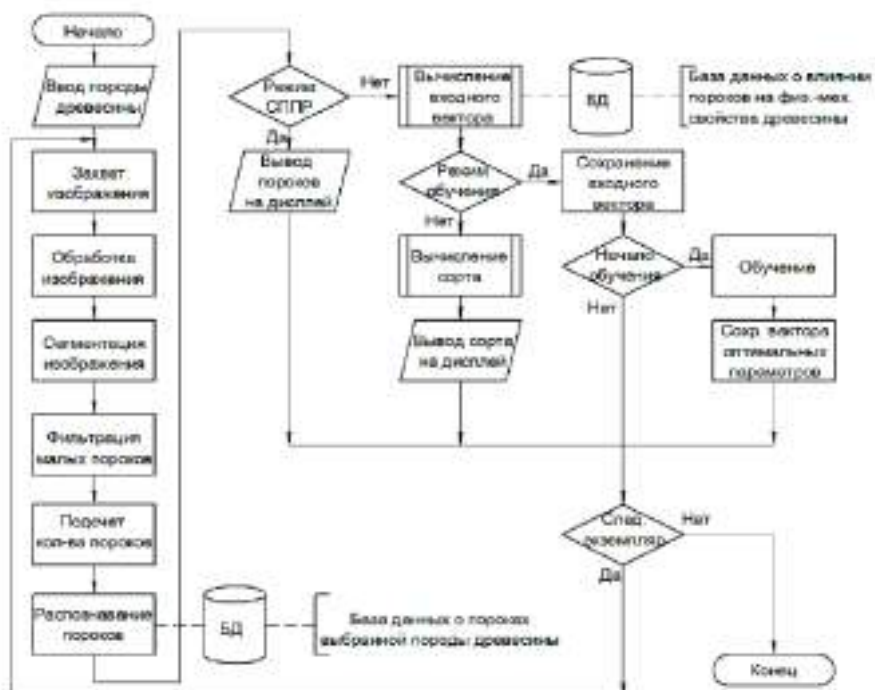


Рис. 2. Обобщенный алгоритм системы управления качеством.

### Заключение.

По результатам математического моделирования подтверждена возможность снижения риска выпуска некачественной продукции. Повышение доли корректно классифицируемых по сортам изделий составляет 10%.

### Библиографический список

1. ГОСТ 18288-87. Производство лесопильное. Термины и определения.
2. Вакин А.Т., Полубояринов О.И., Соловьев В.А. Пороки древесины. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесная промышленность, 2010. 112 с.
3. Волынский В.Н. Взаимосвязь и изменчивость физико-механических свойств древесины. 2-е изд. Архангельск: АГТУ, 2019. 196 с.
4. Илющенко В.В. Модели принятия решений в задаче управления качеством продукции деревообрабатывающего производства. Санкт-Петербург: промышленность, 2012. 161 с.
5. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 2011. 400 с.
6. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: Академия. 2011. 272 с.



7. Мерков А.Б. Введение в методы статистического обучения. М.: Эдиториал УРСС, 2020. 256 с.

	<b>Сведения об авторах</b>
<b>ФИО</b>	Федосеева М.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	manyusya.f@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Елисеев И.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	4541-3386
<b>e-mail</b>	yeliseyef@yandex.ru

#### **Аннотация**

Целью данной статьи является рассмотрение новых моделей управления качеством продуктов деревообработки на основе методов машинного обучения, и их реализация в системе управления качеством. Определен оптимальный набор средств получения информации о состоянии поверхности древесины для фотографического метода дефектоскопии, необходимой для корректного принятия решения о ее сорте.

**Ключевые слова:** качество, сегментация, пиломатериалы, сорт, порок, распознавание.

**УДК** 60.608

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 28.19.31

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОРОКОВ СТРОЕНИЯ**

**Федяев Ар.А., Санжара Е.А., Сомов А.Б.**

*Введение.*

При использовании древесины в качестве ограждающих конструкций таких как стен, дверей, окон и др., один из важных параметров — это использование материала высшего сорта так как наличие любых пороков или

дефектов может привести к ослаблению конструкции, а также потери заявленных свойств [1].

Во избежание использования древесины с пороками их вырезаются и детали сращивание на зубчатый шип, но не всегда есть возможность такое соединение выполнить. Использование соединений влечёт за собой применение клея, что делает данную конструкцию менее экологичной и влечёт за собой дополнительные затраты.

При использовании древесины с пороками важно знать, насколько они могут повлиять на свойства ограждающей конструкции, как с прочностных, так и эксплуатационных характеристик. Одним из наиболее распространенных пороков древесины является наличие сучков. Оценка тепловых свойств в зависимости от наличия пороков представляется актуальным.

#### *Цель работы.*

Исследование изменения плотности теплового потока в образцах одной породы при наличии пороков.

#### *Задачи работы.*

- определить значения плотности теплового потока, проходящего через одну породу древесины с наличием пороков и без них;
- произвести анализ полученных результатов с построением графической зависимости.

#### *Методы исследования.*

Исследования проводятся с помощью измерителя плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03/3 (1) «Поток». В качестве исследуемого образца были взяты бруски с размерами 60x40x40 мм, пример которых представлен на рис. 1.



Рис. 1. Примеры образцов для исследования

#### *Результаты исследования.*

Для исследования были взяты парные образцы различной плотности 550, 580, 610 кг/м<sup>3</sup>, один образец из пары имеет пороки такие как сучки, а второй полностью без дефектов, и измерены прибором плотности тепловых потоков. Полученные значения были занесены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения плотности теплового потока в образцах с наличием дефектов и без них

	С дефектами	Без дефектов	Разница %
Плотность 550	88,6	79,8	10
Плотность 580	83,1	82,5	1
Плотность 610	90,9	84,3	7
Среднее	87,5	82,2	6

Из табл. 1 видно, что в диапазоне плотности 550 - 610 кг/м<sup>3</sup> плотность теплового потока для образцов с пороками составила в среднем 87,5 Вт/м<sup>2</sup> и без пороков 82,2 Вт/м<sup>2</sup> соответственно, что говорит о разнице по плотности теплового потока в среднем около 6 %. Данная разница может значительно сказаться на тепловых свойствах конструкции в процессе эксплуатации.

На основании значений таблицы была построена диаграмма (рис. 2).

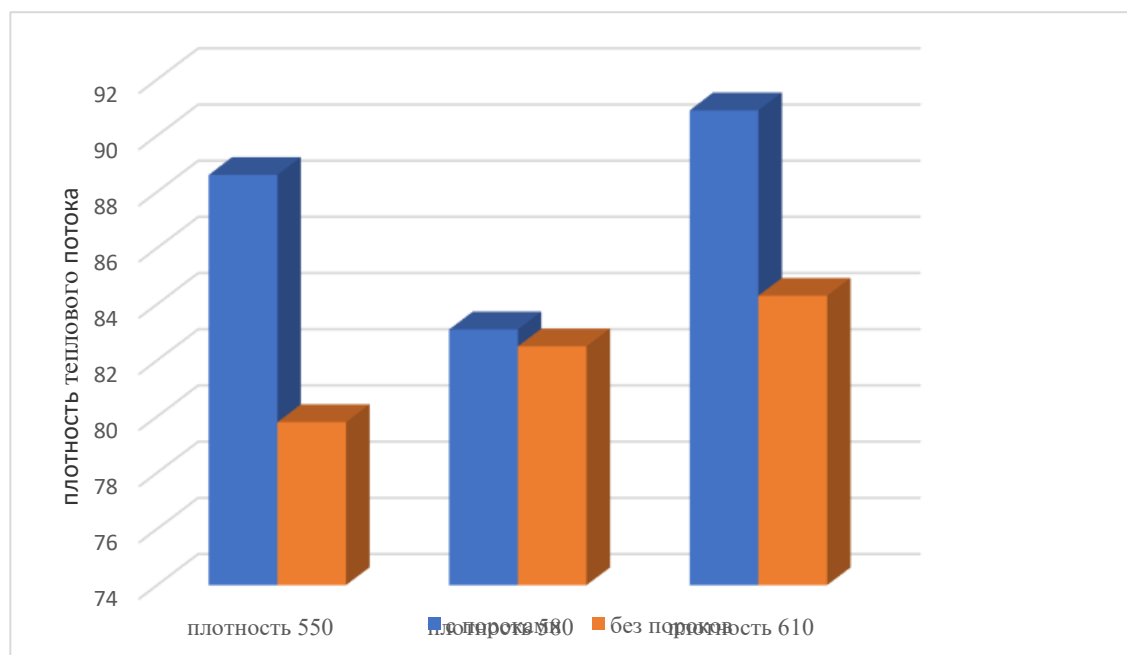


Рис. 2. Изменение плотности теплового потока в зависимости от наличия пороков

В представленной диаграмме видна разница между образцами с наличием пороков и без них. Наличие пороков в древесине таких как сучки, смоляные кармашки, трещины и др., значительно сказываются на тепловых свойствах древесины. Так же исходя из графика без пороков можно сделать предположение что с увеличением плотности древесины плотность теплового потока повышается, тем самым тепловые свойства конструкции ухудшаются. Представленные исследования определяют необходимость дальнейшего изучения влияния особенностей строения древесины на ее тепловые свойства.

### *Заключение.*

Наличие в древесине таких пороков как сучки, смоляные кармашки и другие могут значительно повлиять на её эксплуатационные свойства, так как плотность пороков выше и теплообмен наружной и внутренней поверхности увеличивается. В пределах исследования разница между образцами с пороками и без них составила около 6%.

### **Библиографический список**

1. Федяев А.А., Чубинский А.Н. Неразрушающие методы контроля свойств продукции из древесины. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – 118 с.
2. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник. – Москва: Академия, 2004. – 272 с.
3. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Варанкина Г.С., Федяев А.А., Чубинский М.А., Швец В.Л., Чаузов К.В. Физические методы испытаний древесины. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2015. – 125 с.
4. Дорохин М.В., Здравейшев А.В., Кузнецов Ю.М. Изменение коэффициента теплопроводности методом стационарного теплового потока. – Нижний Новгород: НГУ, 2019. – 45с.

### **Сведения об авторах**

**ФИО** Федяев Артур Александрович  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия  
**SPIN-код** 8169-9209  
**e-mail** art\_fedyaev@mail.ru

**ФИО** Санжара Е.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** asasadfghjkl123455@gmail.com

**ФИО** Сомов А.Б.  
**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** andreyleo19.98@gmail.com

## Аннотация

В статье представлены данные сравнения образцов одной породы древесины с пороками и без них. Результаты измерения составили в среднем  $87,5 \text{ Вт/м}^2$  с пороками и  $82,2 \text{ Вт/м}^2$  без пороков соответственно. Наличие пороков в древесине таких как сучки, смоляные кармашки, трещины и др., значительно сказываются на тепловых свойствах древесины. С увеличением плотности древесины плотность теплового потока повышается, тем самым снижая тепловые свойства конструкции в целом.

**Ключевые слова:** плотность теплового потока, теплопроводность, пороки древесины.

УДК 691

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.05

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ РАЗНЫХ ПОРОД

Федяев Ар.А., Санжара Е.А., Сомов А.Б.

### *Введение.*

Обоснование выбора ограждающих конструкций представляет интерес как с точки зрения экономических, прочностных и иных характеристик, так и эксплуатационных свойств. От выбора материала зависит энергоэффективность ограждающей конструкции, которая напрямую влияет на стоимость объекта, а также на затраты в отопительный период. Одним из материалов, широко применяемом в качестве ограждающих конструкций, является древесина, преимуществом которой является низкая стоимость и теплопроводность, экологичность и др. Древесина имеет разные свойства как в различных породах, так и в пределах одной породы так как является анизотропным материалом [1]. В среднем плотность сосны  $420...493 \text{ кг/м}^3$ , плотность бука  $613...716 \text{ кг/м}^3$  [2]. В зависимости от плотности материала, структуры и строения будет зависеть и его теплопроводность, что представляет интерес изучения прохождения тепла через древесину разных пород.

### *Цель работы.*

Исследование изменения плотности теплового потока в образцах разных пород древесины.

### *Задачи работы.*

Определить плотность теплового потока, проходящего через породы древесины бука и сосны;

### *Методы исследования.*

Для проведения измерений плотности теплового потока был изготовлен утеплённый закрытый короб из ЛДСтП. Внутри короба располагался обогреватель, подключенный к автотрансформатору через термостат. В крышке короба было сделано отверстие, в которое устанавливались образцы и

осуществлялся их прогрев. С помощью установленных на образце датчиков измеритель тепловых потоков сохранял показания с интервалом в 1 мин. Исследования проводятся с помощью измерителя плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03/3 «Поток». Сравнение результатов проведено по показателю плотности теплового потока. Для исследования были взяты образцы двух пород с одинаковыми размерами.

*Результаты исследования.*

Для исследования были взяты образцы пород бука и сосны с одинаковыми размерами и измерены прибором плотности тепловых при одинаковых условиях в течение 60 мин., прибор фиксировал измерения каждую минуту, результаты измерений представлены на рис. 1, 2.

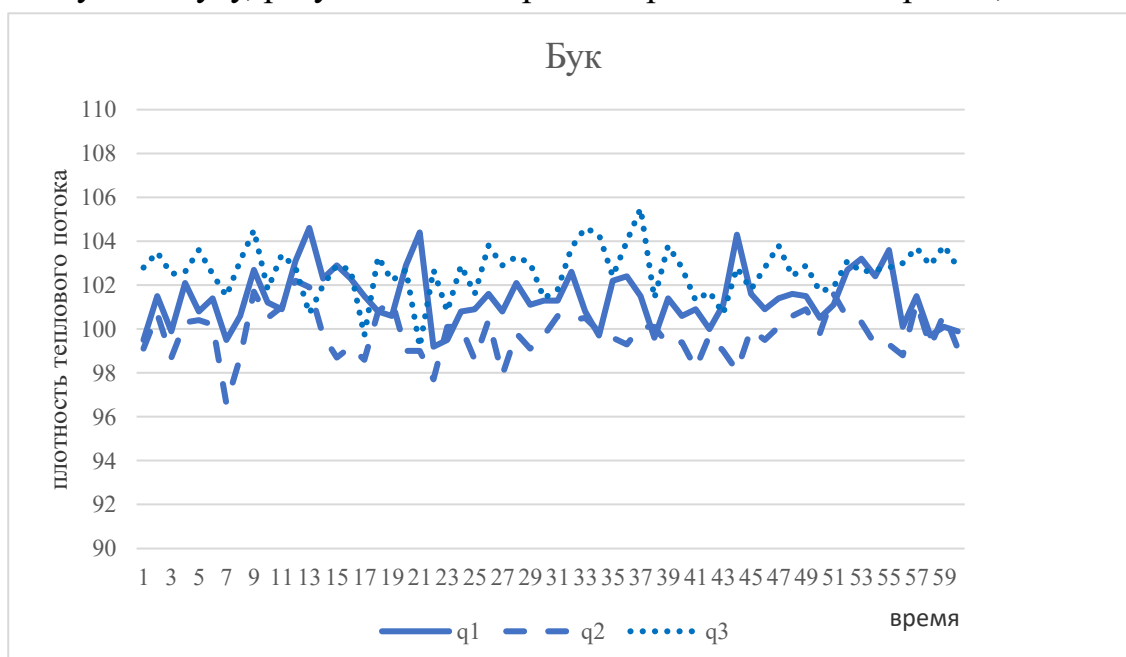


Рис. 1. Измерения плотности теплового потока у древесины сосны

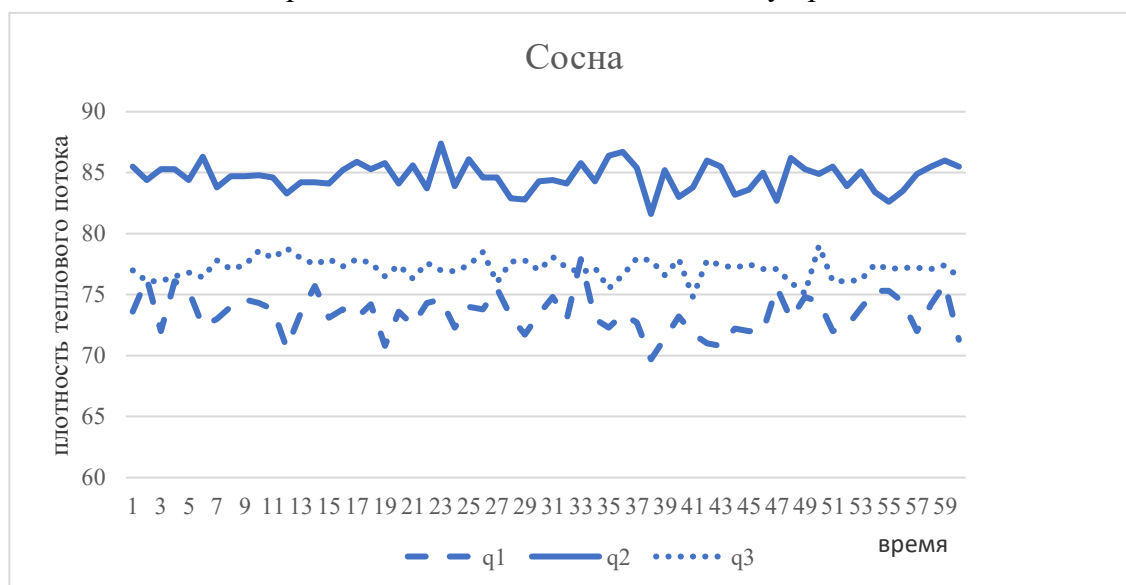


Рис. 2. Измерения плотности теплового потока у древесины сосны

На рисунках q1, q2, q3 – значения плотности теплового потока в разных точках

Из графиков видно, что при одинаковых условиях, плотность теплового потока у сосны в среднем 78,4 Вт/м<sup>2</sup>, а у бука 101,3 Вт/м<sup>2</sup>, что говорит о разнице в 22% у этих породах.

#### *Заключение.*

Результаты проведенных опытов позволяют предположить, что использование сосны в качестве ограждающей конструкции будет более эффективно по сравнению с буком, а также, что сосна обладает лучшими тепловыми свойствами. Однако, следует провести дополнительные исследования, направленные на изучение влияния строения, плотности, пористости древесины для оценки эффективности использования той или иной породы сточки зрения её тепловых свойств.

#### **Библиографический список**

1. Федяев А.А., Чубинский А.Н. Неразрушающие методы контроля свойств продукции из древесины. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – 118 с.
2. Уголев Б.Н., древесиноведение и лесное товароведение: учебник. – Москва.: Академия, 2004. –272 с.
3. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Варанкина Г.С., Федяев А.А., Чубинский М.А., Швец В.Л., Чаузов К.В. Физические методы испытаний древесины. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2015. – 125 с.
4. Дорохин М.В., Здоровейщев А.В., Кузнецов Ю.М. Изменение коэффициента теплопроводности методом стационарного теплового потока. – Нижний Новгород: НГУ, 2019. – 45с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Федяев Артур Александрович
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8169-9209
<b>e-mail</b>	art_fedyaev@mail.ru
<b>ФИО</b>	Санжара Е.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	asasadfghjkl123455@gmail.com
<b>ФИО</b>	Сомов А.Б.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова

**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,  
Россия  
**SPIN-код** Отсутствует  
**e-mail** andreyleo19.98@gmail.com

### **Аннотация**

В статье представлены значения плотности теплового потока для пород древесины бука (в среднем составившие  $101,3 \text{ Вт/м}^2$ ) и сосны (в среднем составившие  $78,4 \text{ Вт/м}^2$ ), что говорит о разнице в 22% у этих породах. Результаты проведенных опытов позволяют предположить, что использование сосны в качестве ограждающей конструкции будет более эффективно по сравнению с буком, а также, что сосна обладает лучшими тепловыми свойствами. Однако, следует провести дополнительные исследования, направленные на изучение влияния строения, плотности, пористости древесины для оценки эффективности использования той или иной породы с точки зрения ее тепловых свойств.

**Ключевые слова:** плотность теплового потока, теплопроводность, порода древесины.

**УДК** 691

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.03.05



### РЕТРОСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ АРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ И ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Белов С.В., Рубан Р.Р., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.

#### *Введение.*

Старейшие из сохранившихся мостов относятся к категории арочных. Это все древнеримские мосты, которых в 1994 году насчитывалось 931 штука в 26 странах, и все мосты средневековой Европы [1, 3]. На титул старейшего моста в мире претендует крохотный мост Аркадиго, сложенный методом циклопической кладки 3200 лет назад. В наше время арочные мосты широко применяются, и выполняются в основном из железобетона и стали. В железобетонных мостах арочной системы основными несущими элементами служат своды или арки [2, 4]. Свод представляет собой криволинейную плиту, ширина которой значительно больше ее толщины [1, 4, 8].

#### *Цель работы.*

Целью работы является аналитическое исследование актуальности применения деревянных арочных конструкций в мостовых конструкциях и дорожном строительстве.

#### *Методы исследования.*

В работе выполнен аналитический обзор конструкций арочных мостов и возможностей их применения в лесопромышленном комплексе.

#### *Результаты исследования.*

Арка – это кривой брус, поперечный размер которой обычно меньше его высоты. Так как арки (своды) в основном работают на сжатие, в них наиболее эффективно может быть использован бетон высоких марок [1, 3].

Пролетные строения арочных мостов всегда легче и экономичнее балочных [2]. Однако, передача распора опорам требует значительного увеличения их размеров, в особенности крайних опор (устоев) [1, 6]. Поэтому арочные мосты обычно целесообразны при хороших грунтах и сравнительно небольшой высоте опор. Железобетонными арками или сводами перекрывают пролеты от 60-80 м и более; современные арочные мосты имеют пролеты до 300 м [1, 2].

Арочные железобетонные мосты отличаются большим разнообразием схем и конструктивных форм (рис. 1). Условия работы основного несущего элемента (сжатой арки) соответствуют прочностным свойствам железобетона [2, 4, 6, 8, 9]. Лучшее использование особенностей железобетона как строительного материала достигается при сооружении арочных пролетных строений в виде отдельно стоящих арок малого сечения, на которые при помощи ряда стоек опирается проезжая часть, выполненная из

предварительно напряженных конструкций [1]. Арочные конструкции в железнодорожных и автодорожных мостах применяются, как правило, для перекрытия больших пролетов [2]. Арочные мосты имеют максимальные пролеты среди железобетонных мостов всех систем [1, 2, 4, 8, 9].



Рис. 1. Арочные мосты

Арочные мосты, пролетные строения которых выполнены из металла, сооружаются в основном с применением технологии навесного монтажа без устройства временных опор или же укрупненной сборкой пролетного строения с использованием временных опор (рис. 2) [1, 2, 6].

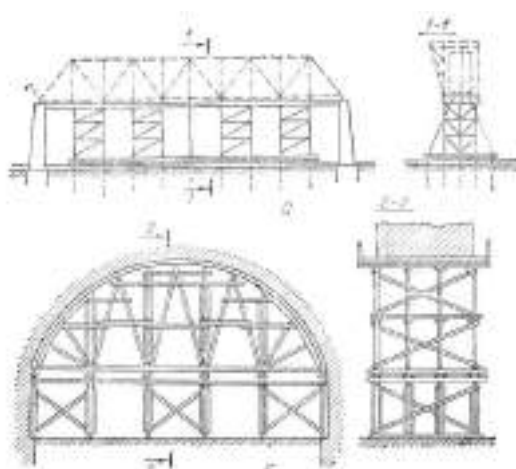


Рис. 2. Типы подмостей и кружал

К недостаткам мостов арочных систем следует отнести [1, 2, 4, 7]:

- необходимость создания надежных опор для восприятия распора арок, что вызывает увеличение размеров опор и особенно их фундаментов и в неблагоприятных инженерно-геологических условиях чрезмерно удорожает строительство мостов;
- больший, чем у балочных систем подмостовой габарит (рис. 3);
- сложность и большая стоимость сооружения арок, связанные с необходимостью устройства кружал или подмостей (рис. 2).

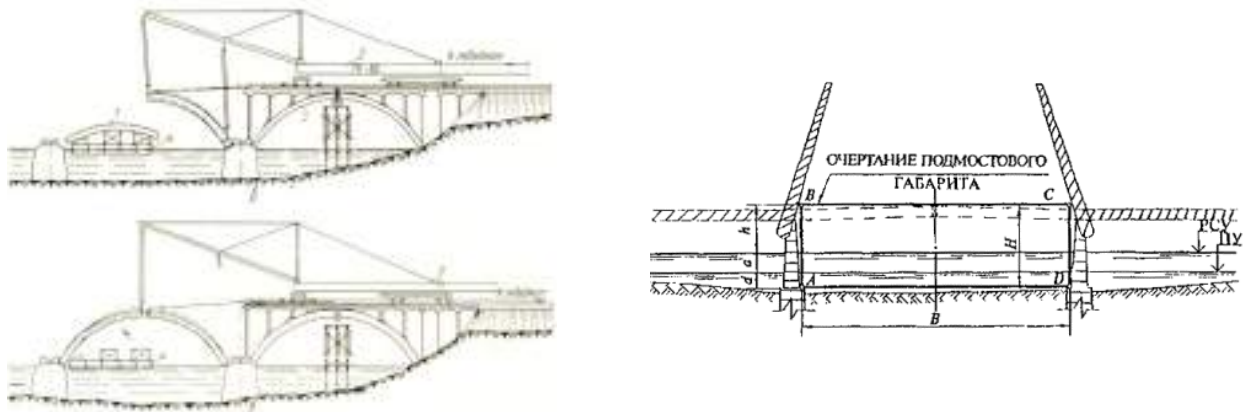


Рис. 3. Конструирование арочных мостов

При строительстве железобетонных мостов нашли применение арочные пролетные строения различных статических схем:

Наиболее экономичны и просты по конструкции бесшарнирные арки (рис. 4). Недостатком их, как известно, является возникновение в сечениях дополнительных изгибающих моментов в случае неравномерной осадки или горизонтального смещения опор, от изменений температуры, а также от ползучести и усадки бетона [1, 2, 4, 5].



Рис. 4. Расчетные схемы арок

Двухшарнирные арки менее чувствительны к этим воздействиям, так как при вертикальных осадках опор дополнительные моменты в них не возникают (Рис.4).

Достоинство трехшарнирных арок состоит в том, что они могут наиболее просто выполняться как сборные конструкции из шарнирно соединяемых полуарок (рис.4). Трехшарнирные арки как статически определимые системы, свободны от недостатков, свойственных бесшарнирным аркам. Недостатком трехшарнирных арок являются переломы линий прогиба арок над шарнирами [1, 4, 9], вследствие чего эту систему избегают применять в мостах под железную дорогу.

В комбинированных арочных мостах (рис.5), к которым относятся арки с затяжкой, балки, усиленные гибкой аркой, конструкции с жесткими арками и балками жесткости и др., уменьшение размеров конструкций, экономия

достигается за счет включения арок и проезжей части в совместную работу [4].

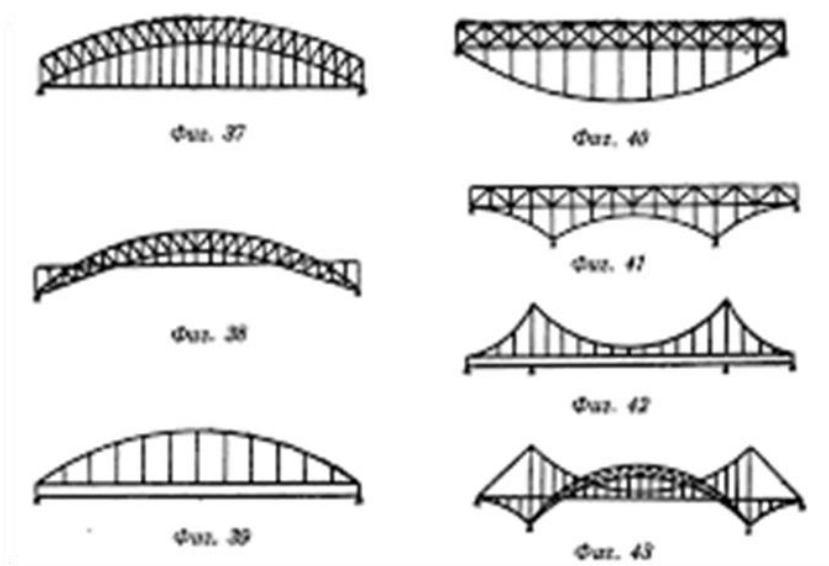


Рис. 5. Комбинированные схемы мостов

#### *Заключение.*

Возможность применения арочной системы при сооружении моста должна быть в каждом отдельном случае проверена тщательным технико-экономическим сравнением вариантов [4, 8, 9]. Отечественная и зарубежная практика накопила большой опыт строительства арочных мостов.

#### **Библиографический список**

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика: учебник. – Санкт-Петербург: Лань, 2008. – 656 с.
2. Жуков В.Г. Механика. Сопротивление материалов: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 416 с.
3. Коуэн Г.Дж. Строительная наука XIX-XX вв.: проектирование сооружений и систем инженерного оборудования / пер. с англ. В.А. Коссаковского; под ред. Л.Ш. Килимника. – Москва: Стройиздат, 1982. – 359 с.
4. Кривоногова А.С. [и др.]. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
5. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г. Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года: сборник статей по материалам конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – С. 354-363.
6. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Иванов А.М. Анализ эффективного использования лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: ретроспектива применения // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 719-727.
7. Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в

строительных конструкциях // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – С. 269-278.

8. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
9. Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынины Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р. К вопросу о прочностных расчетах сооружений // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года: сборник статей по материалам конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – С. 346-354.

### **Сведения об авторах**

**ФИО** Белов С.В.  
**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** sergey454519@mail.ru

**ФИО** Рубан Р.Р.  
**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** robsontop@mail.ru

**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** pushkovyl@spbftu.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** krivonogovaas@spbftu.ru

## Аннотация

Рассматриваются конструктивные решения и особенности применения арочных конструкций в мостовых конструкциях и дорожном строительстве в лесопромышленном комплексе. Анализируется актуальность применения, достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** арочные конструкции, конструкции мостов, арочные мосты.

УДК 624.21.09:624.6

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.99; 67.29.63; 67.29.65

## ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНО ИСПОЛЬЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Диваков Д.О., Беспалов Р.С., Эйвазов А.Ф., Коваленко Т.В.

### *Введение.*

В современной лесной отрасли проблема прочности и долговечности дорог остается актуальной, поскольку дорога с повышенной несущей способностью может обеспечить вывоз большего объема древесины и снизить частоту ремонта, что при прочих равных благоприятно скажется на доходе предприятия. Одним из эффективных способов повышения несущей способности слоев основания является внедрение в тело насыпи георешетки. А георешетка из отработанных материалов (автомобильных покрышек) также потенциально способна решить вопрос утилизации последних.

### *Цель работы.*

Создание альтернативной технологии укрепления оснований и покрытий лесовозных дорог с использованием отработанных материалов.

### *Методы исследования.*

На данном этапе производилась теоретическая оценка пригодности предлагаемой технологии на основании результатов, полученных другими авторами в ходе проведения исследований на смежные темы, а также известных свойствах механики грунтов.

### *Результаты исследований.*

*Научная новизна:* до сих пор в открытых научных источниках не приведены результаты исследований о применении скрепленных автомобильных покрышек в качестве георешетки при строительстве дорог, в том числе лесовозных. Уникальность работы заключается в разработке соответствующей технологии и оценке рентабельности ее применения в существующих реалиях лесной отрасли.

*Экономическая эффективность:* касаясь вопроса экономической эффективности, можно сказать, что данное решение призвано уменьшить стоимость возведения дороги за счет большей прочности конструкции, а

также большей ее высоты, и соответственно высоты слоя, удерживаемой ею. Это позволит снизить высоту слоя земляного полотна и/или основания дорожной одежды (в зависимости от локализации), что приведет к уменьшению расхода строительных материалов и затрат на использование строительной техники. Также, в случае сохранения прежнего объема грузооборота при большей прочности дороги увеличится срок ее службы и снизятся затраты на ремонт.

*Практическое использование, технологичность:* фактически применение в качестве георешетки скрепленных между собой покрышек требует большего количества трудозатрат по сравнению с классической полимерной гексагональной георешеткой, поскольку вынуждает к возведению данной конструкции непосредственно на строительном участке в виду нецелесообразности транспортировки готового изделия и невозможности достаточно эффективно уменьшить его объем на время транспортировки относительно рабочего объема. Однако, данный минус может быть компенсирован другими преимуществами технологии.

*Экологичность:* в работах Winter M.G. [1], R.A.Khan и A.Shalaby [2] указано, что уровни фильтрата загрязнителей, как правило, значительно ниже допустимых пределов по Британским и Канадским нормативам (являющимся более строгими относительно отечественных) соответственно и оказывают незначительное влияние на качество воды в непосредственной близости. А вещества, которые потенциально могут выщелачиваться из шин, уже присутствуют в подземных водах в развитых районах.

*Создание георешетки из автомобильных покрышек:* одним из вариантов использования автопокрышек в дорожном строительстве может являться устройство из них георешетки: такая решетка представляет собой уложенные горизонтально и скрепленные между собой покрышки без боковин. Пустоты в ней заполняются имеющимся строительным материалом (гравий/щебень/ПГС/песок), скрепление может осуществляться скобами/гвоздями или вытяжными заклепками (в зависимости от требуемой прочности соединения) при помощи электро/пневмоинструментов.

Прочность самой по себе покрышки очень высока: в зависимости от спецификации, нормированная нагрузка на одну покрышку легкового автомобиля может варьироваться от 500 до ~700 кг, стоит принимать во внимание динамические перегрузки во время резкого торможения или скоростных поворотов и перераспределение большей части веса на два колеса во время маневров. Кроме того, вес часто сосредоточен на маленькой площади (в случаях наезда на камни/переезда через бордюры и пр.). Способность выдерживать высокие нагрузки обеспечена соответствующим строением, в том числе армированием резины текстильными, стекловолоконными, кевларовыми или металлическими нитями, расположенными под протектором.

В таком случае слабым звеном конструкции, на которое следует обратить наибольшее внимание, будет являться место крепления покрышек.

При применении клепочного соединения, имеющего наибольшую прочность, в покрышках предварительно необходимо проделать отверстия, соответствующие по диаметру размеру заклепок, а после скрепить покрышки пневматическим заклепочником.

Зачастую георешетка используется для укрепления откосов дороги, так как основная ее задача – предотвратить сдвиг слоя. Однако, она также может использоваться и для увеличения прочности земляного полотна, поскольку вертикально деформирующийся грунт, также деформируется и в горизонтальной плоскости. Располагаясь внутри соты, грунт давит на ее стенки с силой, равной произведению вертикальной нагрузки на коэффициент бокового давления (0.2-0.45 от величины вертикальной нагрузки в зависимости от типа грунта, его плотности и показателя текучести, по Н.А.Цытовичу 1983) [3]. Пока георешетка не потеряет свою целостность, грунт не сместится за пределы соответствующей ячейки в горизонтальной плоскости, следовательно, при воздействии нагрузки, недостаточной для дополнительного уплотнения грунта, его сопротивление вертикальной нагрузке возрастет. В случае же избыточной нагрузки грунт будет дополнительно уплотнен, что также повысит его несущую способность.

Очевидно, что в таком случае, основными требованиями к георешетке будут требования к ее прочности на разрыв и относительному удлинению, что также отражено в пункте 5.2 ГОСТ Р56708-2015 [4].

На рис. 1. показана конструкция крепления георешетки, на рис. 2 показан общий вид конструкции.

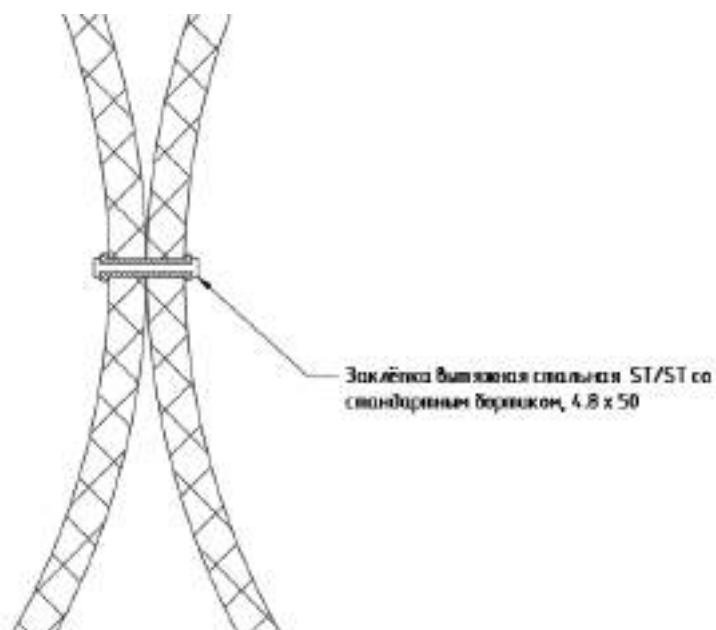


Рис. 1. Конструкция крепления



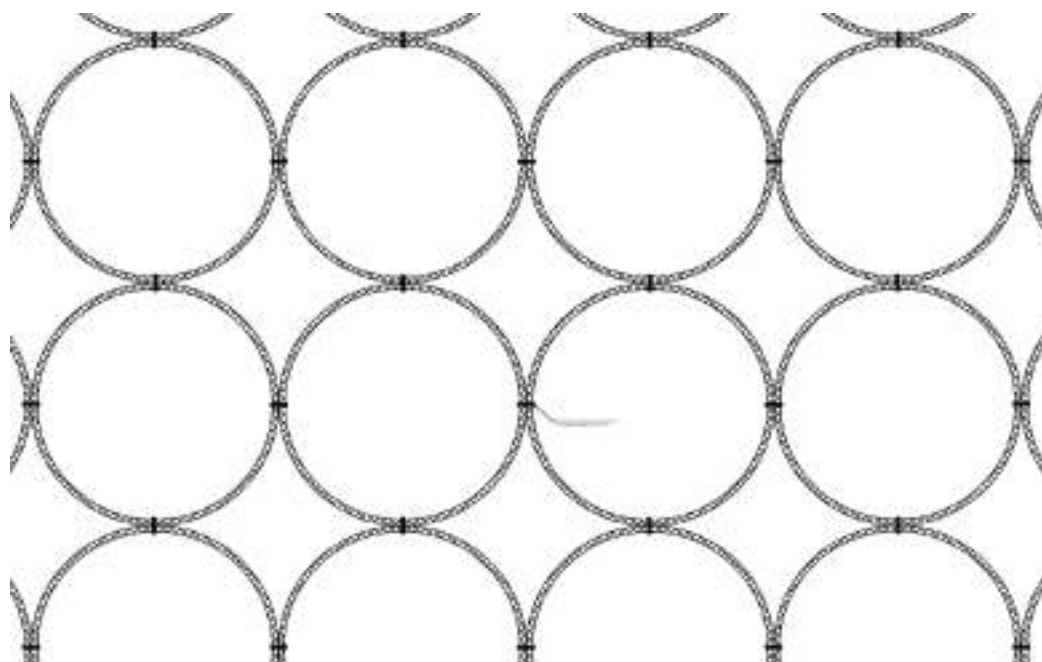


Рис. 2. Общий вид конструкции

### *Заключение.*

Для того, чтобы сделать окончательный вывод о пригодности технологии, необходимо в первую очередь оценить прочность экспериментальной георешетки: в частности прочность разных видов соединений, а также общую прочность конструкции на разрыв согласно требованиям Государственных стандартов. Методика определения прочности материалов описана в ГОСТ Р55030-2012 [5]. Это позволит не только отказаться от выбранной технологии на этапе разработки в случае, если ни одна из испытываемых конфигураций не будет отвечать требованиям к прочностным характеристикам, но и впоследствии рассчитать стоимость такой конструкции, в зависимости от технологической сложности, затрат ресурсов и труда при той конфигурации, которая требованиям к прочностным характеристикам соответствует и, следовательно, сравнить стоимость относительно использующихся технологий.

### **Библиографический список**

1. Winter M.G. Road foundation construction using lightweight tyre bales // Материалы 18-й международной конференции по механике грунтов и геотехнике, 2013. – С. 3275-3278.
2. R.A.Khan, A.Shalaby. Performance of a road base constructed with shredded rubber tires // Ежегодная конференция канадского общества гражданского строительства, 2002. – С. 121-132.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов: краткий курс. – Москва: Высшая школа, 1983. – 288 с.
4. ГОСТ Р 56708-2015 Георешетка полимерная гексагональная [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200127286> (Дата обращения 14.03.2023).
5. ГОСТ Р 55030-2012 Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения прочности при растяжении» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200096142> (Дата обращения 14.03.2023).

### Сведения об авторах

**ФИО** Диваков Д.О.  
**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** danil.divakov359@mail.ru

**ФИО** Беспалов Р.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** lesnik787@inbox.ru

**ФИО** Эйвазов А.Ф.  
**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** thefezerstyle@gmail.com

**ФИО** Коваленко Т.В.  
**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** kovalenko.stl@spbftu.ru

### Аннотация

В статье содержится ключевая информация о находящейся на этапе разработки технологии применения автомобильных покрышек в качестве георешетки в ходе их незначительной доработки.

**Ключевые слова:** лесные дороги, дорожное покрытие, отработанные автопокрышки, вторичное сырье, утилизация отходов.

УДК 625.814

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

# ПРИМЕНЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ АРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПРОМЫШЛЕННОГО, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА: АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Дубинин А.К., Аншаков А.С., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.

## *Введение.*

Первые арки появились еще в древности. Происхождение названия связано с латинским «arcus», что в переводе на русский означает «дуга». С чего начинается арка? Вероятно, с пещер, ведь именно такую форму имел вход в жилище древнего человека. В старину арки присутствовали преимущественно во дворцах и богатых особняках, принадлежавших аристократам. Они были обязательным элементом храмов и других культовых сооружений: это отчетливо прослеживается в огромных куполах церквей и закругленной форме верхней части окон [5,6]. Установка арки в дом базировалась на точных расчетах: уже в те времена архитекторы умели определить несущую способность конструкции и создавали надежное жилье, стоявшее веками. Арочные конструкции в условиях жилого строительства применяются в проемах различного назначения [12]. Арочные конструкции в промышленном, сельскохозяйственном строительстве и лесопромышленном комплексе получили широкое использование [10, 13].

## *Цель работы.*

Целью работы является аналитическое исследование актуальности применения деревянных арочных конструкций на объектах промышленного, сельскохозяйственного строительства и лесопромышленного комплекса.

## *Методы исследования.*

В работе выполнен аналитический обзор конструкций арок и возможностей их применения.

## *Результаты исследования.*

Арочные металлоконструкции получили большое распространение в промышленном строительстве. Главный пример – бескаркасные арочные ангары (рис.1). Главные преимущества: сравнительно малые затраты на строительство арочных ангаров любой протяженности, необходимой для функционального использования, если сравнивать с другими вариантами [1]. Так как арочные постройки возводятся без фундамента или на легких основаниях дает возможность использования бескаркасной конструкции на любом грунте благодаря ее малому весу. Большим преимуществом применения арочных конструкций в любых климатических условиях является быстрая сборка и монтаж конструкций сооружений [1, 13].

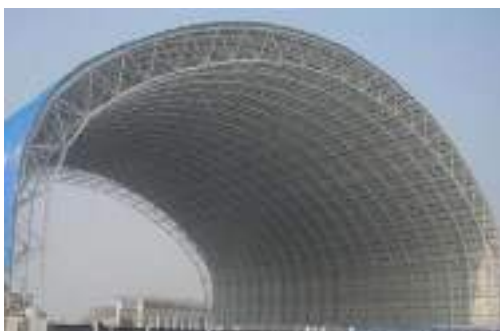


Рис. 1. Бескаркасный арочный ангар

Деревянные арочные конструкции широко применяются в качестве основных несущих конструкций зданий и сооружений различного назначения: сельскохозяйственные, гражданские и общественные, пролетом от 12 м до 70 м. За рубежом арки из дерева применяют при пролетах до 100 м и более [2, 12].

По статической схеме арки разделяют на трехшарнирные, двухшарнирные без ключевого шарнира и бесшарнирные (рис.2) [2, 3, 4].



Рис. 2. Расчетные схемы арок

По схеме опирания их делят на арки без затяжек, распор которых передается на опоры, и арки с затяжками, воспринимающими распор, который уже на опоры не передается (рис. 3) [3, 4].

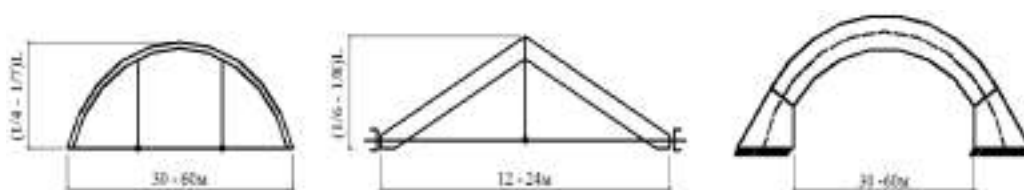


Рис. 3. Арки с затяжками и без затяжек

По конструктивным решениям деревянные арки делятся на: цельные; клееные; из ферм (рис. 4).

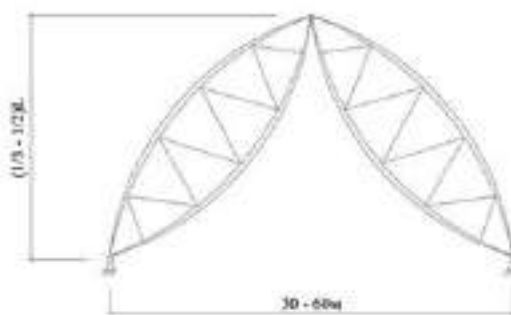


Рис. 4. Арки из деревянных ферм

Трехшарнирные арки являются наиболее простыми и распространенными. Усилия в них не зависят от деформаций опор и затяжек. Коньковый стык простой. Двухшарнирные арки применяют в отдельных случаях при сегментной ферме и клееных конструкциях [1, 7]. Они не имеют преимуществ по сравнению с трехшарнирными, но позволяют получить некоторую экономию, когда возможна транспортировка целых элементов [1, 11, 12].

*Заключение.*

Преимущества и недостатки арочных конструкций:

1. Для большинства строительных конструкций, таких как перекрытия зданий, пролетные строения мостов и т.п. основной нагрузкой является вертикальная нагрузка, направленная вниз. Легко убедиться, что для такой нагрузки горизонтальные реакции в опорах арки будут направлены навстречу друг другу, т.е. значение распора  $H$  будет положительным. Основным достоинством арочных конструкций [8-10] является то, что в этом случае, изгибающий момент в любом сечении арки всегда меньше, чем в том же сечении соответствующей балки. За счет этого, а также за счет действующих в арке продольных сжимающих усилий, растягивающие напряжения в сечениях арки малы или отсутствуют. Это очень важно для каменных и бетонных конструкций, которые, как известно, могут выдерживать высокие сжимающие напряжения, но практически не работают на растяжение [8, 9].
2. Арочные конструкции отличаются большей эстетичностью [2].
3. Балочные конструкции значительно более технологичны с точки зрения изготовления, транспортировки и монтажа по сравнению с арочными.
4. Арки передают на опоры значительные горизонтальные усилия. В связи с этим, опоры арочных конструкций должны быть достаточно мощными, чтобы воспринять эти усилия и передать их на основание [7, 10].
5. Использование арок с затяжками позволяет значительно уменьшить горизонтальные опорные реакции.

**Библиографический список**

1. Андреев М.А. Арочная многофункциональная модульная конструкция // Строительство уникальных зданий и сооружений. – Санкт-Петербург: СПбПУ, 2016. – № 2(41). – С. 91-107.

2. Атлас деревянных конструкций / К.-Г. Гетц, Д. Хоор, К. Мелер, Ю. Наттерер; Пер. с нем. Н.И. Александровой; подред. В.В. Ермолова. – Москва: Стройиздат, 1985. – 272 с.
3. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика: учебник: 11-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2008. – 656 с.
4. Жуков В.Г. Механика. Сопrotивление материалов: учебное пособие. – Москва: Лань, 2012. – 416 с.
5. Коуэн Г.Дж. Мастера строительного искусства: история проектирования сооружений и среды обитания со времен Древнего Египта до XIX века / пер. с англ. Д.Г. Копелянского; Под ред. Л.Ш. Килимника. – Москва: Стройиздат, 1982. – 240 с.
6. Коуэн Г.Дж. Строительная наука XIX-XX вв.: проектирование сооружений и систем инженерного оборудования / пер. с англ. В.А. Коссаковского; под ред. Л.Ш. Килимника. – Москва: Стройиздат, 1982. – 359 с.
7. Кривоногова А.С. [и др.]. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
8. Кривоногова А.С., Пушкин Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г. Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года: сборник статей по материалам конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – С. 354-363.
9. Кривоногова А.С., Пушкин Ю.Л., Иванов А.М. Анализ эффективного использования лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: ретроспектива применения // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 719-727.
10. Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – С. 269-278.
11. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
12. Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушкин Ю.Л., Добрынины Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р. К вопросу о прочностных расчетах сооружений // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года: сборник статей по материалам конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – С. 346-354.
13. Юнусов А.С. Арочные конструкции, востребованные временем, в строительной науке и архитектуре // Инженерный вестник Дона.– Ростов-на-Дону: РИА, 2016. – № 1(40). – С. 44-45.

### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Дубинин А.К.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует

**e-mail** lescha-dubinin-3000@yandex.ru

**ФИО** Аншаков 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** anshakov.aleksandr2002@gmail.com

**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** krivonogovaas@spbftu.ru

**ФИО** Пушкин 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** pushkovyl@spbftu.ru

#### **Аннотация**

Рассматриваются функциональные и конструктивные особенности применения арочных конструкций, в том числе деревянных, в зданиях и сооружениях промышленного, сельскохозяйственного строительства и лесопромышленного комплекса, актуальность применения, достоинства и недостатки. Анализируется применение деревянных арочных конструкций с различными конструктивными схемами.

**Ключевые слова:** арочные конструкции, деревянные арочные конструкции  
**УДК** 72.023:694.1

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.43.31; 67.09.41; 67.11.37

### **ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РИСКА ПРИ НАЛИЧИИ ИНСАЙДЕРСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**Козлов Д.Д., Шифрин Б.М., Артёмов Е.А.**

*Введение.*

В романе [1], главный герой подмечает, что рулетка имеет небольшой дефект, и этой информации оказывается достаточно для того, чтобы разорить

местное казино. На практике, разумеется, эффект от обладания инсайдерской информацией может и не достигать таких литературных высот, но мы попробуем показать, насколько точное знание помогает лицу, принимающему решение. Отметим, что настоящая статья написана в продолжение подходов, предложенных в [2-3].

*Цель работы.*

Целью работы является разработка алгоритма процесса принятия решений при наличии факторов неопределенности по критериям Лапласа, Байеса, Вальда, Гурвица, крайнего оптимизма.

*Результаты исследований.*

Допустим, мы собираемся открывать малое предприятие «Инструмент в аренду». Бизнес-идея такова: профессиональный строительный инструмент (перфораторы, дрели, болгарки, шуруповерты) приобретается на склад предприятия и предоставляется клиентам (мастера широкого профиля) на условиях посуточной аренды. Необходимо определить, какое количество арендных единиц следует приобрести, чтобы предприятие приносило максимальную прибыль, причем фактором неопределенности является уровень спроса на нашу услугу.

Поставленная задача может быть решена при помощи различных численных критериев, которыми мы будем оценивать уровень риска, анализируя матрицу возможных состояний окружающей среды (уровень спроса «нулевой», «низкий», «средний», «высокий») и стратегий (количество приобретенных арендных единиц от 0 до 5). Нулевое количество приобретенных арендных единиц будет соответствовать отказу от реализации бизнес-идеи.

Для простоты рассмотрения договоримся о следующих допущениях (табл. 1).

Составим прогнозный план денежных потоков на горизонт планирования, предположив, что заказов будет получено на 60 арендных дней (что потребует приобретения 2 единиц инструмента) (табл. 2).

Таблица 1 – Условия открытия малого предприятия

Стоимость одной арендной единицы	10 000 рублей.
Ее прокат	500 рублей в день
Горизонт планирования	1 месяц
Стоимость капитала	10% в месяц
Система налогообложения	упрощенная, доход 6%
Нормальный срок службы инструмента	5 лет
Обязанности кладовщика будут заключаться в том, чтобы выдать инструмент в начале рабочего дня и забрать его обратно в конце смены, так что этим расходом можно пренебречь.	
Строго говоря, амортизация денежным потоком не является, но позволяет точнее учесть расходы на приобретаемые комплекты.	
Запросы от различных клиентов не конфликтуют друг с другом.	



Таблица 2 – Прогнозный план денежных потоков

<b>Потребность в капитале (ПвК)</b>				
Стоимость инструмента	10 000	10 000.	10 000	10 000
Количество комплектов	2	2	2	2
<b>ИТОГО ПвК</b>	<b>20 000</b>	<b>20 000</b>	<b>20 000</b>	<b>20 000</b>
Уровень спроса	нулевой	низкий	средний	высокий
<b>Доходы</b>				
Реализация услуги	500	500	500	500
Спрос, арендных дней	0	15	60	120
Оказанных услуг, ар. дней	0	15	60	60
<b>ИТОГО Доходы</b>	<b>0</b>	<b>7 500</b>	<b>30 000</b>	<b>30 000</b>
<b>Расходы</b>				
Аренда склада	10 000	10 000	10 000	10 000
Амортизация	333	333	333	333
Кредитный %	2 000	2 000	2 000	2 000
Налог УСН	0	450	1 800	1 800
<b>ИТОГО Расходы</b>	<b>12 333</b>	<b>12 783</b>	<b>14 133</b>	<b>14 133</b>
<b>Прибыль</b>	<b>-12 333</b>	<b>-5 283</b>	<b>15 867</b>	<b>15 867</b>

Характерно, что, располагая 2 единицами инструмента, мы окажемся не в состоянии полностью удовлетворить запросы рынка в том случае, если уровень спроса окажется «высоким». Для «нулевого» и «низкого» уровней спроса, напротив, справедливо противоположное утверждение – инструмент будет простаивать.

Повторив аналогичные расчеты для других стратегий, мы можем записать платежную матрицу нашего проекта (табл. 3).

Таблица 3 – Платежная матрица проекта

		Уровень спроса (состояние природы)			
		нулевой	низкий	средний	высокий
Стратегии	0	-10 000	-10 000	-10 000	-10 000
	1	-11 167	-4 117	2 933	2 933
	2	-12 333	-5 283	15 867	15 867
	3	-13 500	-6 450	14 700	28 800
	4	-14 667	-7 617	13 533	41 733
	5	-15 833	-8 783	12 367	40 567

Поскольку мы не заказываем дорогостоящее маркетинговое исследование рынка проката профессионального строительного оборудования, нельзя с высокой степенью достоверности предоставить вероятности состояний природы. Следовательно, мы считаем их

равновероятными, превращая, таким образом, критерий Байеса в критерий Лапласа.

Рассуждая аналогично, для критерия Гурвица берем «реалистичный» вес 0,5, который уравнивает силы критерия Вальда и максимаксного критерия.

Рассчитаем показатели эффективности стратегий по различным критериям (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели эффективности стратегий

		0,25	0,25	0,25	0,25	вер. по Л					
		0,25	0,25	0,25	0,25		вер. по Б		вес по Г	0,5	
		Уровень спроса (состояние природы)									
		нулевой	низкий	средний	высокий	Лаплас	Байес	maxmax	Вальд	Гурвиц	
Стратегии	0	-10 000	-10 000	-10 000	-10 000	-10000	-10000	-10 000	<b>-10 000</b>	-10 000	
	1	-11 167	-4 117	2 933	2 933	-2 354	-2 354	2 933	-11 167	-4 117	
	2	-12 333	-5 283	15 867	15 867	3 529	3 529	15 867	-12 333	1 767	
	3	-13 500	-6 450	14 700	28 800	5 888	5 888	28 800	-13 500	7 650	
	4	-14 667	-7 617	13 533	41 733	<b>8 246</b>	<b>8 246</b>	<b>41 733</b>	-14 667	<b>13 533</b>	
	5	-15 833	-8 783	12 367	40 567	7 079	7 079	40 567	-15 833	12 367	

Как можно видеть, в предложенных условиях критерии Лапласа, Гурвица и азартного игрока предпочитают стратегию, при которой приобретается 4 единицы оборудования, и только осторожный Вальд предлагает нам отказаться от реализации проекта как такового.

Проделав вышеупомянутый набор вычислений, воодушевленный бизнесмен обратится в банк (или к бизнес-ангелу) за кредитом (инвестициями) с тем, чтобы приобрести 4 единицы арендного оборудования, а затем будет надеяться, что число оказанных услуг в месяце будет близко к 120 арендным дням. И для этого есть основания: 3 из 4 критериев свидетельствуют в пользу данной стратегии.

При наличии инсайдерской информации картина меняется существенно. Допустим, становится известно следующее: вскоре откроется мощный конкурент, который может себе позволить, в целях завоевания рынка, установить демпинговые цены на аналогичную услугу. Это означает, что с высокой вероятностью реализовать бизнес-идею не получится («нулевой» уровень спроса), а в самом оптимистичном случае можно рассчитывать на «низкий» уровень спроса.

Настало время внести коррективы в наши расчеты:

1. Вероятности «нулевого» и «низкого» уровней спроса принимаются равными, соответственно, 0,75 и 0,25. Вероятности «среднего» и «высокого» уровней спроса равны 0.
2. Для критерия Гурвица вес принимается равным 0,95.

Произведем вычисления с учетом вновь полученной информации (табл. 5).

Таблица 5 – Обновленные показатели эффективности стратегий

	0,25	0,25	0,25	0,25	вер. по Л				
	0,75	0,25	0,00	0,00		вер. по Б		вес по Г	0,95
	Уровень спроса (состояние природы)								
	нулевой	низкий	средний	высокий	Лаплас	Байес	maxmax	Вальд	Гурвиц
Стратегии	0	-10 000	-10 000	-10 000	-10000	-10 000	-10 000	<b>-10 000</b>	<b>-10 000</b>
	1	-11 167	-4 117	2 933	2 933	-2 354	<b>-9 404</b>	2 933	-11 167
	2	-12 333	-5 283	15 867	15 867	3 529	-10 571	15 867	-12 333
	3	-13 500	-6 450	14 700	28 800	5 888	-11 738	28 800	-13 500
	4	-14 667	-7 617	13 533	41 733	<b>8 246</b>	-12 904	<b>41 733</b>	-14 667
	5	-15 833	-8 783	12 367	40 567	7 079	-14 071	40 567	-15 833

**Выводы:**

1. Показатели стратегий по критериям Лапласа, азартного игрока и Вальда остались неизменными.
2. Показатели стратегий по критериям Байеса и Гурвица изменились.
3. «Консервативные» критерии Вальда и Гурвица рекомендуют отказаться от реализации этого проекта, а Байес, хотя формально и рекомендует приобрести 1 единицу, но даже в случае реализации этой стратегии нас с высокой вероятностью ждут убытки.

*Заключение.*

Наличие инсайдерской информации вносит существенные коррективы в экономику бизнес-плана. Прежде чем анализировать возможности той или иной инициативы, нужно постараться всеми возможными способами собрать максимум информации о рынке, покупателе, его платежеспособности и только затем выстраивать модели, прогнозировать денежные потоки.

**Библиографический список**

1. Джек Лондон. Смок Беллью. М.: Издательский дом Мещерякова, 2018. – 400 с.
2. Шифрин Б.М. Некоторые статистические и психологические аспекты стратегических игр / Б.М. Шифрин, И.В. Елисеев // Журнал передовых исследований в области естествознания. – 2022. – № 17. – С. 36-40.
3. Шифрин Б.М. Принятие решений в условиях неопределенности: Учебное пособие / Б.М. Шифрин, И.В. Елисеев. – СПб: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2021. – 60 с.

**Сведения об авторах**

**ФИО**

Козлов Д.Д.

**Организация**

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

**Адрес организации**

**SPIN-код**

Отсутствует.

**e-mail**

matmed.dk@gmail.com

**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** Артёмов Е.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** Отсутствует.

### **Аннотация**

В статье рассматривается процесс принятия решений в условиях риска на основе критериев Лапласа, Байеса, Вальда, Гурвица, крайнего оптимизма. Показано, что наличие инсайдерской информации вносит существенные коррективы в экономику бизнес-плана.

**Ключевые слова:** критерий Лапласа, критерий Байеса, критерий Вальда, критерий Гурвица, критерий крайнего оптимизма.

**УДК** 519.833

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 82.05.21

## **САПР СЕГОДНЯ И ЗАВТРА**

**Куликова Д.Р.**

### *Введение.*

Воспитание квалифицированных кадров важно для каждой отрасли. Эта задача имеет стратегическое значение для любой страны, включая РФ. Отечественная система профессионального образования претерпела за последние годы достаточно много изменений и её развитие в ближайшее время не остановится. Приходится констатировать, что система подготовки инженерных кадров, принятая в настоящее время в том виде, в котором она существует перестала соответствовать реалиям сегодняшнего дня.

В сентябре 2003 года, когда Россия присоединилась к Болонской системе образования, была иллюзия, что этим будут решены все накопившиеся проблемы. Однако, с решением одних проблем возникли новые, гораздо более серьёзные. В результате такой интеграции к 2023 году

стало понятно, что принципы Болонской системы в значительной степени не обеспечивают возможность воспитания действительно квалифицированных специалистов. Тому есть объективные причины. Так, к примеру, студентам по направлениям связанным напрямую с технологией производства за весь период обучения начитывается всего 432 академических часа, при учете того, что по ФГОС для студентов бакалавриата общий объем часов составляет 8640, и включает в себя не менее 864 часов на практику [1]. Часов для полного получения всех необходимых навыков и умений в сфере профессиональной деятельности для будущего специалиста явно не хватает. Но это лишь одна из многих проблем Болонской системы. Проблем много и перечислять их можно долго.

Не лишне упомянуть и период карантина, когда в срочном порядке приходилось менять методы обучения, переходить на его дистанционные формы. Данный период принес много интересного в процесс обучения. Традиционные лекции, все чаще стали проводиться с использованием мультимедийных технологий. Опыт интересный. Но, если с чтением лекций справиться, при желании, было сравнительно просто, то практические и лабораторные занятия пострадали катастрофически. Никому ведь не надо объяснять, что провести полноценное лабораторное или практическое занятие без необходимого оборудования невозможно. Да и студенты избалованы обилием легкодоступной но чаще всего поверхностной информации, и готовыми решениями из сети Интернет. И что бы привлечь внимание студентов к сложным вопросам дисциплины преподавателям приходится идти на разные ухищрения, осваивать ранее неактуальные для них методы подачи материала.

Появление в программах высшей школы систем САД для более наглядного понимания строения деталей обусловлено современными требованиями производства. Оформление чертежей в системах САД для многих предприятий стало обыденностью. И что бы будущие специалисты соответствовали запросам рынка труда преподавание систем САД стало обязательным для высшей школы.

*Цель исследования.*

Поиск аналогов программы AvtoCAD.

*Методы исследования.*

Анализ рынка и программного обеспечения систем САД.

*Результаты исследования.*

Программ огромное множество, одним из лидеров была программа AvtoCAD. Но сейчас данная программа на территории РФ не доступна из-за санкций. Одним из распространенных аналогов является КОМПАС.

Но каждая система САД отличается от другой. В чем же различия AvtoCAD и КОМПАС? Есть ли аналоги которые могут полностью покрыть функциональные возможности AvtoCAD?

Что же представляет из себя AvtoCAD? AutoCAD — двухмерная и трёхмерная система для автоматизированного проектирования и черчения.[2]

Данная программа является самой популярной в мире, а так же одной из самых гибких графических программ.

Если рассматривать AvtoCAD и КОМПАС, то в области создания двухмерных чертежей данные продукты достаточно схожи. Сравнение данных программ приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение AvtoCAD и КОМПАС

Характеристика для сравнения	AvtoCAD	КОМПАС
Интерфейс	Расположения элементов интерфейса рассредоточено по всей рабочей области	Расположения элементов интерфейса рассредоточено верхней части рабочей области
Интуитивное понимание элементов интерфейса	Графическое изображение, с возможностью при задержке курсора описания команды	Графическое изображение с кратким названием
Количество команд	Большое количество команд (вспомогательные команды располагаются по всему интерфейсу)	Основные команды, расположены в интерфейсе (вспомогательные команды располагаются в меню команды)
Особенности работы с командами	Командная строка с возможностью редактирования и поэтапный переход	Меню команды с возможностью не последовательного редактирования

Особенности работы в данных приложениях разные, но стоит отметить, что команды интуитивно понятны, если есть навыки работы в одной из систем. AvtoCAD является более сложной программы для построения двух мерных объектов из-за обилия команд. Для большинства пользователей есть стандартный список команд, которыми пользуешься, и такое достоинство, становится минусом. КОМПАС в отличии от AvtoCAD имеет меньшее количество элементов, и их по практики достаточно для построение даже очень сложных двухмерных моделей. И одним из плюсов КОМПАС, является редактирование данных ещё на моменте ввода, за счет меню команды. Но стоит отметить, что AvtoCAD дает возможность редактирования объекта за счет просмотра его свойств. Ещё огромным плюсом КОМПАС это наличие библиотек стандартных изделий, так детали имеющие резьбовое соединение стоятся намного быстрее и проще.

Если говорить про двухмерное моделирование, то КОМПАС отличный аналог, местами превосходящий возможность AvtoCAD. Но КОМПАС так же поддерживает и трехмерное моделирование. В чем же различия и схожесть его с AvtoCAD?

Трехмерное моделирование в AvtoCAD достаточно простое, от примитивных стандартных 3-d объектов, и правильным заданием из пересечение, до преобразования 2-d элементов в сложные 3-d модели.

А что может предложить в противовес КОМПАС? Более скудный интерфейс и более тяжелую работу в векторных направлениях, так как по сути компьютерная мышь для КОМПАС используется для расположения элементов. В AvtoCAD мышь активный участник процесса не только для задания точки, но и для задачи направления. В плане трехмерной работы AvtoCAD является более удобной и простой программой для работы.

Сейчас все более часто можно встретить такое программное обеспечение, как NanoCAD. NanoCAD — система автоматизированного проектирования, предназначенная для разработки и выпуска рабочей документации [3]. И тут стоит отметить сразу, что данная программа является Российской разработкой, что говорит, о том, что программа ориентируется на ГОСТы принятые в РФ. AvtoCAD же в свою очередь работает по стандарту ISO. Трехмерная работа в NanoCAD, адаптирована по принципу AvtoCAD, как и двухмерная. Но NanoCAD является относительно новой на рынке CAD систем и пока мало распространена.

*Вывод.*

Возвращаясь к вопросу замены AvtoCAD можно констатировать, что программы-аналоги существуют. И многие из них превосходят по удобству пользования столь популярный AvtoCAD. Складывающаяся в мире ситуация позволяет утверждать, что в ближайшем будущем переход на другие системы CAD произойдет. Существуют реально большие риски того, что для компании Autodesk введение санкций против РФ, обернется серьезными последствиями. Так как на общем фоне начнется популяризация других программ системы CAD.

#### **Библиографический список**

1. Приказ Министерства образования и науки РФ от 26 июля 2017 г. №698 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 35.03.02 Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», изменениями и дополнениями: редакция с изменениями №1456 от 26.11.2020.
2. AvtoCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AvtoCAD> (Дата обращения: 11.04.2023).
3. NanoCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NanoCAD> (Дата обращения: 11.04.2023).

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Куликова Д.Р.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	dkulikova98@mail.ru

### **Аннотация**

В статье рассматриваются возможные альтернативы популярной системы двухмерного и трехмерного моделирования AvtoCAD. Плюсы и минусы аналогов имеющихся и не попавших под санкции западных компаний.

**Ключевые слова** AvtoCAD, КОМПАС, NanoCAD.

**УДК** 65.011.56

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 55.03.01

## **ТЕОРИЯ ГРАФОВ В ПРЕДСТАВЛЕНИИ КРЕДИТНЫХ ПОРТФЕЛЕЙ**

**Тарабан М.В., Вохмянин Н.А., Ан С.С.**

### *Введение.*

Для оптимизации рисков, возникающих при взаимодействии различных структур лесопромышленного комплекса финансовые институты отрасли должны быть в состоянии описать и проанализировать сети должников в своих кредитных портфелях. Если один из должников, интегрированный в систему лесопромышленного комплекса, объявляет дефолт, то его тесная связь с другими должниками в портфеле, может привести к возникновению последствия кредитного распространения. Моделирование микроструктурных взаимосвязей должников в кредитных портфелях, основанное на теории графов, с использованием рекуррентных нейронных сетей и цифровых платформ, может помочь изучить потенциальные последствия дефолтов для остальной части портфеля [1-4].

### *Цель работы.*

Снижение рисков кредитных портфелей финансовых институтов лесопромышленной отрасли.

### *Методы исследования.*

В работе использованы теория графов, топология графов, дискретная математика.

### *Результаты исследования.*

В результате растущей цифровизации в лесопромышленном комплексе и смежных с ним отраслях, не только люди, машины, материалы и так далее, будут все больше взаимосвязаны, но и сам комплекс будет интегрирован в региональные взаимодействия со своими поставщиками, клиентами и партнерами. И наоборот, финансовые институты, являющиеся неотделимой частью лесопромышленного комплекса, должны задаться вопросом об актуальности интенсификации сотрудничества между несколькими фирмами, региональными производствами в рамках цепочек поставок для своих кредитных портфелей. Чтобы быть в состоянии адекватно оценивать риски, финансовые институты должны быть в состоянии описать и проанализировать сети должников для оценки кредитоспособности и оценки кредитного риска.



Кредитный риск зависит не только от качества единственного должника, но и от сети вкладчиков с различными кредитными рейтингами и весом в цепочке поставок. Учитывая это, один из вопросов, находящихся в центре анализа кредитного портфеля, заключается в следующем: какие последствия для кредитного портфеля финансового института и его позиции по кредитному риску будет иметь, если один должник объявит дефолт, который тесно связан с другими должниками в рамках портфеля? Связь должников может заключаться в оперативных взаимоотношениях по поставкам и закупкам, а также в партнерских отношениях со справедливыми интересами. В статье используется теория графов для моделирования микроструктурных взаимосвязей должников в кредитных портфелях. Теория графов является подходящим инструментом для отражения сложных отношений должников.

В целом, возможно различать в основном два типа моделей кредитного риска. Модели стоимости активов, основанные на фреймворках CreditMetrics™ стали своего рода отраслевым стандартом в крупнейших международных институтах. Они описывают скрытый процесс оценки активов  $R_i$ ,  $i = 1, \dots, m$  должника. Дефолт возникает, если процесс не достигает предельного значения  $c_i$ , так что  $R_i < c_i$ . Корреляции активов, выведенные из системных факторных зависимостей, преобразуются в корреляции по умолчанию. Модели ставок дефолта, основанные на системе CreditRisk™, в основном применяются большинством финансовых институтов меньшего размера. В рамках этих моделей должники распределяются по различным стохастически независимым секторам  $S_k$ ,  $k = 1, \dots, N$  с различными весами секторов и дисперсиями. Для секторов выводятся коэффициенты дефолта, которые снова преобразуются в корреляции по умолчанию. Модели портфеля дают решения в закрытой форме о распределении потерь портфеля и индивидуальных вкладах в риск.

#### *Основы теории графов.*

Теория графов предоставляет подходящий инструмент для составления карт и анализа должников и их отношений с другими должниками, клиентами или поставщиками. Эта теория хорошо зарекомендовала себя в математике, информатике и исследованиях операций. Как правило, она посвящена анализу взаимосвязанных систем и структур.

Граф  $G$  - это конструкция, состоящая из непустых и конечных наборов вершин  $N$  и ребер  $E$  на  $N$ . Каждое ребро  $e \in E$  и связано ровно с одной парой узлов  $(n_i, n_j) \in N$ . Граф называется неориентированным, если между узлами нет порядка. Если существует особый порядок узлов, граф называется ориентированным графом. Затем ребра обозначаются стрелками, и мы записываем  $G = (N, E)$ . Когда ребра дополнительно имеют определенную оценку или взвешивание, граф называется взвешенным. Под взвешиванием ребер понимается функция  $f(n_i, n_j)$ , связывающая действительное число с каждой стрелкой. Она указывается в кавычках рядом с краями визуализируемого графика. Структура, порядок и весовые коэффициенты графика могут быть представлены и записаны с помощью матрицы смежности

А. В случае неориентированного графа эта матрица  $n \times n$  содержит элемент один в двух узлах ребра, в противном случае ноль. Для ориентированного графика запись выполняется только в направлении стрелки (строка  $\rightarrow$  столбец). В случае взвешенного графика запись представляет собой соответствующий вес ребра вместо единицы. Благодаря матричному представлению методы линейной алгебры становятся применимыми к графам.

#### *Сети должников.*

Применяя графы к сетям должников в рамках кредитных портфелей, узлы интерпретируют как отдельных должников, а ребра как экономические связи между ними. При анализе изменений, моделирование может быть расширено до потенциальных должников и потенциальных связей. Края могут представлять отношения цепочки поставок, финансовые отношения и партнерские отношения. Их вес определяется выручкой от продаж, денежными потоками, дебиторской задолженностью и подобными параметрами. Он описывает абсолютные или относительные доли в них.

#### *Заключение.*

Ориентированные графы представляют собой основные направления отношений между поставщиком и потребителем и участия в капитале между должниками. Финансовые учреждения могут извлекать такую информацию из финансовых отчетностей и раскрытий объявлений своих заемщиков. Для этого могут быть использованы современные методы интеллектуального анализа данных. Вся информация затем представляется в виде сети графов и записывается в матрицу смежности.

#### **Библиографический список**

1. Уилсон Р.Д. Введение в теорию графов. – Москва: Мир, 1977. – 508 с.
2. Кормен Е.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. – Москва: Вильямс, 2005. – 1209 с.
3. Упдща В., Лейрролд М., Ваннини П., Простая модель кредитного кризиса // Журнал банковского дела и финансов, 2007. –Т.6. – №31 – С. 2475-2492.
4. Кристофиндес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – Москва: Мир, 1978. – 432 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Тарабан М.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	7023-1741
<b>e-mail</b>	arcan65@live.com
<b>ФИО</b>	Вохмянин Н.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,  
Россия  
**SPIN-код** 8306-1032  
**e-mail** 7520910@gmail.com

**ФИО** Ан С.С.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный лесотехнический  
университет имени С.М. Кирова  
**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,  
Россия  
**SPIN-код**  
**e-mail** Sergey.an.2002@mail.ru

### **Аннотация**

В статье рассмотрены модели микроструктурных взаимосвязей должников в кредитных портфелях лесопромышленных финансовых институтов, основанных на теории графов, позволяющих оптимизировать возникающие риски.

**Ключевые слова:** кредитный портфель, кредитный риск, графы, топология графа.

УДК 519.1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 27.45.17

## **КОМБИНАТОРНЫЕ МЕТОДЫ: РЕКУРСИЯ И ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ**

**Тарабан М.В., Вохмянин Н.А., Крокина Д.Д.**

### *Введение.*

В современных технологических системах управления лесопромышленным комплексом все более актуальным становится применения различных комбинаций уже существующих методик системного анализа и новых, прорывных возможностей цифровых платформ [1-4]. В этом смысле становятся очень актуальны методы рекурсии и динамического программирования.

### *Цель работы.*

Показать различные подходы в решении задач оптимизации управления технологическими системами в лесопромышленном комплексе на примере использования методов комбинаторного анализа, динамического программирования, метода рекурсии, рекурсивных функций. Изучить их особенности, показать схожесть и различие, а также достоинства и недостатки каждого метода.

*Методы исследования.*

Методы комбинаторной математики и динамического программирования.

*Результаты исследования.*

Комбинаторная математика является разделом математики, который изучает дискретные события, анализирует всевозможные исходы, которые составляют полную группу событий возникающих при мониторинге результатов эксперимента. Для количественного расчета вероятностей событий используются формы и методы теории вероятностей и математической статистике, а также для получения закона распределения случайных величин. Это дает возможность исследовать случайные закономерности, которые являются очень важными для того, чтобы правильно понимать статистические закономерности.

Комбинаторные методы во многом носят эвристический характер, индивидуальные как для различных классов задач, так и для отдельных задач. Причем нередко, чем более оригинальным является такой метод, тем эффективнее задача решается с использованием возможностей рекуррентных нейронных сетей.

Комбинаторные методы программирования – совокупность способов, средств, технологий создания программ. К ним относятся: перебор, рекурсия, динамическое программирование и перебор с отходом назад.

Подробно рассмотрим методы рекурсии и динамического программирования.

Рекуррентный подход и динамическое программирование могут быть взаимозаменяемыми методами, то есть задачу, которая задана рекуррентной формулой, можно решить любым из вышеназванных методов. Поэтому, в ходе решения каждой рекуррентной задачи возникает вопрос целесообразности использования какого-либо метода. Так как от правильного выбора зависит скорость выполнения программы, легкость ее чтения и эффективность использования ресурсов цифровой платформы.

Динамическое программирование – это способ решить сложную задачу, разделив ее на простые задачи, решать каждую задачу только раз, сохраняя результат при использовании карты памяти, массива и др. Каждая подзадача индексируется на основании значений ее входного параметра, чтобы облегчить поиск. Следовательно, в следующем случае, когда появится одна и та же задача, можно вместо повторных вычислений сделать поиск предварительно вычисленных решений, что позволяет экономить время вычисления. Этот способ хранения подзадачных решений вместо пересчета называют мемоизацией.

Рекурсивными называются функции, которые вызывают сами себя, в случае прямой рекурсии. Но также существует и косвенная рекурсия, где две или более функций вызывают друг друга. Рекурсия позволяет без

использования циклов программировать вычисление функций, заданных рекуррентно, например, факториала:

$$f(n)=n!;$$

$$f(0)=1;$$

$$f(n)=n*f(n-1).$$

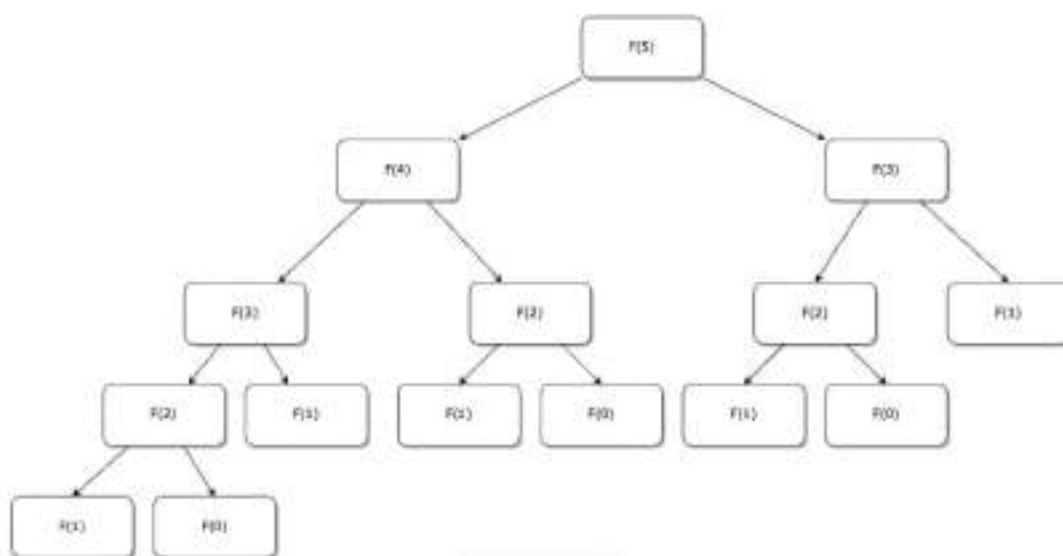
Эти действия позволяют упростить процесс вычисления, посредством разделения задачи на более упрощенные подзадачи, решение каждой из них приводит к решению исходной задачи. Такие действия совпадают с определением метода динамического программирования.

Можно сделать вывод, что рекурсивный метод решает только необходимые задачи, каждый раз, когда они встречаются, в отличие от динамического программирования, где решаются все задачи, даже если они не требуются для исходной задачи, но вычисление происходит один раз с запоминанием решения, что экономит время.

Рассмотрим разницу между этими методами на примере чисел Фибоначчи.

Ряд Фибоначчи - это последовательность целых чисел, где следующее целое число в ряду является суммой двух предыдущих.

Это определяется следующей рекурсивной формулой:



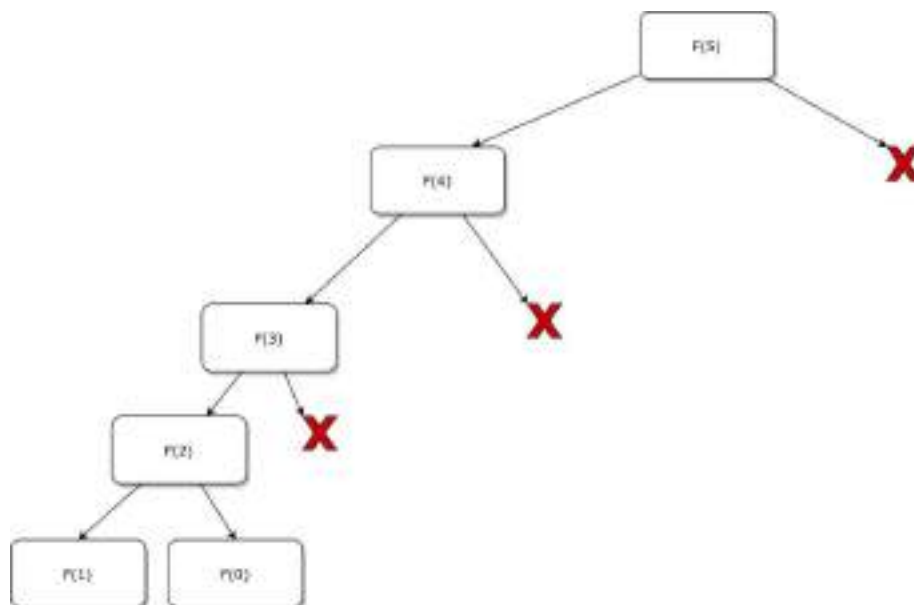
$$f(0)=0; f(1)=1; f(n)=f(n-1)+f(n-2).$$

В рекурсивном подходе для вычисления  $f(n)$  нужно сначала найти  $f(n-1)$  и  $f(n-2)$ , но для  $f(n-1)$  необходимы  $f(n-2)$  и  $f(n-3)$ . Все вычисления будут продолжаться до того момента, пока не получим базовые  $f(0)$  и  $f(1)$ .

Недостаток этого метода заключается в том, что для получения нужного результата требуется многократное вычисление одних и тех же чисел.

Далее рассмотрим два подхода динамического программирования.

Первый подход – сверху вниз, он похож на рекурсивный, разница в том, что решения подзадач, с которыми будем сталкиваться, сохраняются. То есть, сталкиваясь с одной и той же подзадачей более одного раза, мы можем



использовать сохраненное решение, вместо пересчета. Данный метод динамического программирования называется запоминанием.

Второй подход – снизу-вверх. Здесь мы реорганизуем порядок, в котором решаем подзадачи.

Сначала будем вычислять  $f(0)$ , затем  $f(1)$ , затем  $f(2)$  и т.д.

Данный способ позволит вычислять решение каждой задачи только один раз, а нам нужно будет сохранять только два промежуточных результата одновременно.

Если нужно найти  $f(2)$ , то необходимо иметь значения  $f(1)$  и  $f(0)$ ; для  $f(3)$  -  $f(2)$  и  $f(1)$ .

Преимущество этого подхода в том, что потребуется меньше памяти в



коде.

*Заключение.*

Таким образом, можно сделать вывод, что рекурсия и динамическое программирование очень схожи. Если необходимо, чтобы программа работала быстро и без ограничения памяти, то следует применять динамическое программирование, в ином случае можно использовать и рекурсию.

### Библиографический список

1. Беллман Р. Динамическое программирование. – Москва: Медиа, 2017. – 919 с.

2. Комбинаторика и перебор методы программирования [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL:<http://algotlist.manual.ru/maths/combinat/sequential.php> (Дата обращения 15.04.2023).
3. Окулов С.М., Пестов О.А. Динамическое программирование. – Москва: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012. – 296 с.
4. Андерсон Дж. Дискретная математика и комбинаторика. – Москва: Вильямс, 2016. – 960 с.

#### **Сведения об авторах**

**ФИО** Тарабан М.В.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия  
**SPIN-код** 7023-1741  
**e-mail** arcan65@live.com

**ФИО** Вохмянин Н.А.  
**Организация** Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
**Адрес организации** 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия  
**SPIN-код** 8306-1032  
**e-mail** 7520910@gmail.com

**ФИО** Крокина Д.Д.  
**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** Krokina\_Dasha@mail.ru

#### **Аннотация**

В статье рассмотрены комбинаторные методы. Даются понятия рекурсии и динамического программирования. Выделены их особенности. На примере наглядно показывается схожесть и различие, а также достоинства и недостатки каждого метода.

**Ключевые слова:** комбинаторика, динамическое программирование, рекурсия, рекурсивные функции.

**УДК** 519.85

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 27.47.15

# ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОГИКИ ПРЕДИКАТОВ И ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ АЛГОРИТМА

Тарабан М.В., Вохмянин Н.А., Эгамбердиев Р.Р.

## *Введение.*

В современном мире все больше возрастает роль цифровых платформ в организации управления технологическими системами. В этой связи растет потребность в создании новых более простых алгоритмов управления и их широкое внедрение во все отрасли лесопромышленного комплекса. Такие алгоритмы объединят в единую цифровую нейронную сеть все отрасли, интегрированные в лесопромышленный комплекс: от отдельных роботизированных лесных машин, до целых автономных комплексов. Приведем всем уже известную следующее понятие об абстрактных алгоритмах: любой существующий алгоритм задается с помощью определенной математической теории – к примеру, графовые алгоритмы определяются в теории графов [1-4]. Это означает, что сама концепция об алгоритмах неотделима от понятия математической теории и фактически подчинена ей - алгоритм является неким особым типом определения заданной теории.

## *Цель работы.*

Целью данной статьи является предложение новой (более простой и точной по сравнению с предыдущей) прикладной концепции – определения логики предикатов (в дальнейшем: D-Логика или сокращенно DL) – для определения математических теорий и описания их определений.

## *Методы исследования.*

Логика, теоретическая информатика, фундаментальная математика.

## *Результаты исследования.*

DL (определения логики предикатов) представляет собой измененную логику первого порядка, путем добавления к её основным синтаксическим конструкциям – термам (terms) и формулам (formulas) – новой конструкции, называемой определением (definition). Возьмем в качестве примера в статье абстрактные конечные автоматы Гуревича, которые естественным образом могут быть представлены и преобразованы в виде D-логики (DL).

Для начала, чтобы уточнить понятие абстрактного алгоритма, мы должны иметь такое точное представление о понятии «математическая теория»:

Математическая теория (в дальнейшем обозначении «Т») является дополнением к теории первого порядка ZFC (теория множеств Цермело-Френкеля с аксиомой выбора) путем добавления в данную теорию конечного числа новых констант  $c_1, \dots, c_k$  ( $k \geq 1$ ) и определенной аксиомы (в дальнейшем обозначении «А»), косвенным образом определяющей эти константы.



В исследуемой концепции DL, T-теория (математическая теория) может быть определена следующим образом:

$$T := \text{def}[c_1, \dots, c_k, A],$$

где имя теории должно иметь уникальное обозначение, имена констант  $c_1, \dots, c_k$  являются идентификаторами или операторами (операторами являются такие конечные последовательности символов, как  $+$ ,  $-$ ,  $*$ ,  $/$ ,  $\dots$ ). Выражение « $\text{def}[c_1, \dots, c_k, A]$ » (или любое другое выражение в этой форме) называется определением констант. Обозначение формулы  $A$  называется формулой этого определения. Аналогичное выражение вида « $(x_1, \dots, x_m, P)$ », где  $x_1, \dots, x_m$  ( $m \geq 1$ ) – имена новых переменных, а  $P$  – это формула, называемая определением переменных. Прimitивное определение является определением констант или определением переменных. Выражение « $T := \text{def}[c_1, \dots, c_k, A]$ » называется определением теории.

Пусть переменная  $Z$  – цепь из последовательности  $(z_1, \dots, z_k)$ , где  $z_1, \dots, z_k$  – некоторые независимые члены, а формула  $A$  является результатом замены в формуле  $A$  терминов  $z_1, \dots, z_k$  вместо констант  $c_1, \dots, c_k$ , соответственно. Цепью членов  $z$  называется моделью математической теории в том случае, если формула  $A$  является теоремой (обратите внимание, что это определение отличается от определения модели в теории моделей).

Формула  $A$  может быть записана в D-Логике как  $\text{Subst}(A, T, z)$ , где « $\text{Subst}$ » является её стандартным символом, а соответствующие аксиомы для замены предусмотрены в DL.

Утверждение  $z$  является одной из моделей математической теории  $T$ , которая в свою очередь может быть выражена формулой  $A$ , также может записываться в концепции DL, поскольку « $z \in T \rightarrow E[T]$ » является теоремой DL. Формула  $E[T]$  может быть переведена в классическую логику первого порядка как  $\exists y_1 \dots \exists y_k A_1$ , где  $y_1, \dots, y_k$  – имена новых переменных, а  $A_1 = \text{Subst}(A, T, (y_1, \dots, y_k))$ .

Типизированное определение констант имеет следующий вид:

$$\text{def}[c_1:t_1, \dots, c_k:t_k; A] \text{ для } k \geq 1,$$

где  $c_1, \dots, c_k$  – это новые имена констант, а  $t_1, \dots, t_k$  являются некоторыми типами. Тип определения – это термин или примитивное определение.

Данное типизированное определение может быть переведено в следующее эквивалентное нетипизированное:

$$\text{def}[c_1, \dots, c_k; c_1 \in t_1 \& \dots \& c_k \in t_k \& A];$$

В DL целесообразно использовать в основном типизированные определения, поскольку именно они позволяют назначать не примитивные типы большинству терминов. Примитивным типом является тип « $\text{set}$ », который может быть назначен следующим определением:

$$\text{set} := \text{def}[\text{anyset}; \text{true}];$$

Типизированные определения переменных могут быть определены аналогичным образом.

Имея математическую теорию  $T$ , необходимо назначить обозначения определений внутри теории. В DL существует три вида таких определений: аббревиатура, явные и неявные определения.

Аббревиатура записывается в виде  $T :: N := Q$ , где  $Q$  представляет собой термин или формулу.  $N$  – уникальный в теории  $T$  идентификатор, является заданным именем  $Q$ . Следующая аббревиатура означает: «В теории  $T$  вместо  $Q$  может использоваться название  $N$ ». Имя  $N$  не может встречаться в  $Q$ , прямо или косвенно.

Явное определение представляется, как  $T :: N := def[c_1, \dots, c_k, A]$  для  $k \geq 1$  и вводит в теорию  $T$  новые константы  $c_1, \dots, c_k$  с новой аксиомой  $A$ , которая обычно представляет собой равенство или совокупность (возможно, условных) равенств. Имя  $N$  может быть опущено.

Неявное определение:  $T :: T1 := sdef[c_1, \dots, c_k, A]; (k \geq 0)$  (не имеет ограничений на формулу  $A$ ) - вводит новую теорию  $T1$ , которая является дополнением к теории  $T$  путем прибавления к ней констант  $c_1, \dots, c_k$  и аксиомы  $A$ . Выражение « $sdef[c_1, \dots, c_k, A]$ » является формой примитивного определения констант. Неявные определения могут быть использованы для спецификации заданного алгоритма. В большинстве случаев формула  $E[T1]$  должна быть представлена в виде теоремы теории  $T$ .

Арность предиката в DL - это любая конечная последовательность букв  $F, T, D$  (из формулы, термов, определения). Для каждого логического (и других первичных) символов мы присваиваем её следующим образом:

true : F; false : F;  $\sim$  (отрицание) FF;  $\&$ ,  $\vee$ ,  $\rightarrow$ ,  $\equiv$  (двоичные логические символы) FFF;  $\epsilon$  (Эпсилон-символ Гильберта) DT; Fm (формула определения) DF; E, A (кванторы) DF; E, A (ограниченные кванторы) DFF;  $\in$  (является моделью) TDF; Subst (замена терминов) TDTT; Subst (замена формул) FDTF; Subst (замена определений) DDTT; = (равенство) TTF;  $\in$  (является членом) TTF;  $\rightarrow$  ( $A \rightarrow B$  – набор всех функций от  $A$  до  $B$ ) TTT;

Ниже,  $d$  представлена как определяющая переменная,  $z$  - свободная переменная. Переменные определения используются для представления схем аксиом. «Формулы» с переменными определения по-прежнему будут называться формулами, но следует помнить, что такая «формула» на самом деле представляет собой бесконечный набор формул. Следующие формулы являются аксиомами:

- 1)  $z \in d \rightarrow H[d] \in d$  - эпсилон-аксиома;
- 2)  $E[d] \equiv H[d] \in d$  - аксиома определения для  $E$ ;
- 3) Аксиомы определения для других логических символов;
- 4) Аксиомы равенства;
- 5) Аксиомы подстановки;
- 6) Нелогические аксиомы (ZFC).

Правила логического вывода:

- 1) Из « $p$ » и « $p \rightarrow q$ » выводится « $q$ »;
- 2) Из « $p$ » и « $z \in d$ » выводится « $Subst(p, d, z)$ »;

3) Из « $p \rightarrow (z \in d)$ » выводится « $p \rightarrow A[d]$ », если « $p$ » не содержит свободных входов « $z$ »;

4) Из « $(z \in d) \rightarrow p$ » выводится « $E[d] \rightarrow p$ », при условии, что « $p$ » не имеет свободных входов « $z$ ».

Прочие известные правила логического вывода также могут быть добавлены.

Абстрактный конечный автомат  $A[2]$  состоит из трёх переменных « $S, I, Step$ », где:

$S$  – множество состояний;  $I \subseteq S$  – набор начальных состояний;  $Step (S \rightarrow S)$  – одноступенчатое преобразование  $S$ .

Существует также несколько важных дополнительных условий:

1) Каждое состояние представляет собой структуру первого порядка одного и того же конечного словаря  $V$ ;

2) Шаг одноэтапного преобразования не изменяет исходный набор множества какого-либо состояния.

Пусть словарь  $V$  представляет собой непустое множество  $\{c_1, \dots, c_k, f_1, \dots, f_m\}$ , где  $c_1, \dots, c_k$  ( $k \geq 0$ ) – это имена констант (то есть 0-арные имена функций), а  $f_1, \dots, f_m$  ( $m \geq 0$ ) – имена функции  $n$ -арности  $a_1, \dots, a_m$  и  $a_i > 0$  соответственно для каждого  $i = 1, \dots, m$ .

Таким образом, функция шага ( $Step$ ) может быть определен в DL следующим образом:

$G := \text{def}[U:\text{set}, c_1:U, \dots, c_k:U, f_1:U^{a_1} \rightarrow U, \dots, f_m:U^{a_m} \rightarrow U];$

$G :: \text{def}[Step:G, Step.U = U \ \& \ \langle \text{другие аксиомы определения для шага «Step»} \rangle].$

Здесь,  $U^{a_i}$  обозначает множество  $U$ , при условии  $a_i = 1$ . В противном случае оно обозначает прямое произведение « $U \times \dots \times U - U$ » и встречается  $a_i$  раз в этом прямом произведении.

*Заключение.*

Рассмотрена концепция общих алгоритмов, используемых в детерминированных абстрактных конечных автоматах.

### Библиографический список

1. Колмогоров А.Н., Успенский В.А. К определению алгоритма // Успехи математических наук, 1958. - Т. 13. – Вып. 4(82). – С.1-26.
2. Гуревич Ю.Ш. Последовательные абстрактные конечные автоматы захватывают последовательные алгоритмы // Транзакции АСМ по вычислительной логике, 2000. – №1. – С. 77-111.
3. Андерсон Джеймс Дискретная математика и комбинаторика. - Москва: Вильямс, 2016. – 960 с.
4. Колмогоров А.Н., Драглин А.Г. Математическая логика: учебное пособие для студентов математических специальностей вузов. – М.: УРСС, 2004. – 240 с.

### Сведения об авторах

**ФИО**

Тарабан М.В.

**Организация**

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	7023-1741
<b>e-mail</b>	arcan65@live.com
<b>ФИО</b>	Вохмянин Н.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	8306-1032
<b>e-mail</b>	7520910@gmail.com
<b>ФИО</b>	Эгамбердиев Р.Р.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	nakadashi@mail.ru

### **Аннотация**

В статье рассматривается предложение новой (более простой и точной по сравнению с предыдущей) прикладной концепции – определения логики предикатов (в дальнейшем: D-Логика или сокращенно DL) – для определения математических теорий и описания их определений.

**Ключевые слова:** логика, теоретическая информатика, фундаментальная математика.

УДК 515.1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 27.03.17

## **ВЛИЯНИЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВАХТОВЫХ РАБОТНИКОВ**

**Теплов А.В., Сафонова Н.Ю., Кретинин В.И., Дудкин М.Е.**

### *Введение.*

Вахтовый метод труда в условиях Крайнего Севера и Арктики активно используется в настоящее время, что связано не только с расширением осваиваемых территорий, но и появлением новых видов трудовой деятельности.

Психологические особенности организации труда вахтовым методом – один из факторов, который важно учитывать наравне с климатическими особенностями при создании рабочих мест в экстремальных условиях.

Учет влияния психологических особенностей этого вида деятельности позволяет регулировать психическое состояние специалистов и повышать продуктивность их профессиональной деятельности. Вахта связана с «неправильным» режимом труда и отдыха и, следовательно, при нарушении режима и ухудшении самочувствия может приводить к ошибкам и недочетам в профессиональной деятельности. Психологическое сопровождение с учетом климатических факторов и других особенностей вахтового метода позволит улучшить качество жизни и профессиональной деятельности специалистов-вахтовиков.

#### *Цель работы.*

Целью данной работы являлось изучение факторов риска и психологических особенностей работы вахтовым методом.

#### *Результаты исследований.*

Вахтовый метод – это особая форма организации трудового процесса вне места постоянного проживания работников, при которой не может быть обеспечено ежедневное возвращение сотрудников предприятия к своим местам постоянного проживания [1].

Вахтовый метод работы (согласно ст.297 Трудового кодекса РФ) подразумевает осуществление трудовых функций работником вне своего постоянного места жительства и, как правило, на периодической (сезонной) основе. Традиционно вахтовый метод работы свойственен для таких сфер, как добыча нефти и газа, лесозаготовки, разработка месторождений драгоценных металлов, рыбный промысел [2].

Общая продолжительность вахты не может быть длительнее 1 месяца, но также законодательством допускается продолжительность вахтовой работы до 3 месяцев, если этого требуют особые обстоятельства осуществления производственной деятельности. Этот факт обязательно должен быть согласован с выборным органом профсоюзной организации (ст. 372 Трудового кодекса РФ) в специально разработанном локальном нормативном акте организации о вахтовом методе работы сотрудников [1]. На рис. 1 представлен вахтовый цикл.

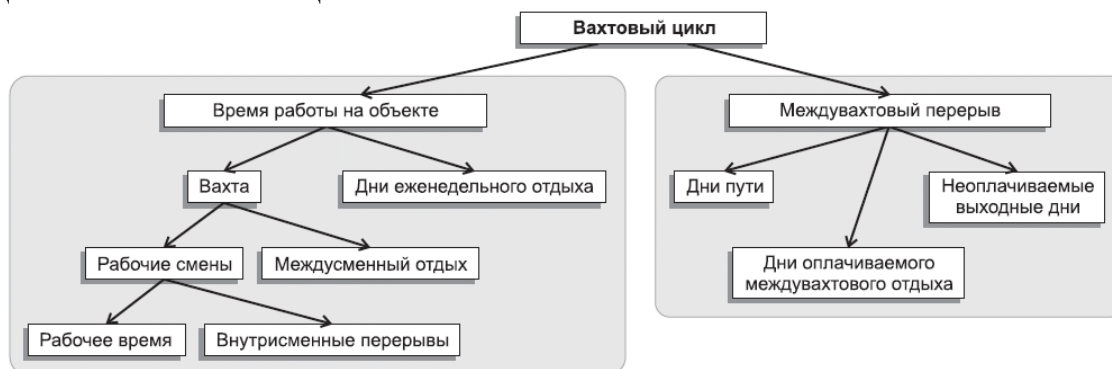


Рис.1. Вахтовый цикл

### *Психологический риск.*

Психологический риск в профессиональной деятельности – это вероятность возникновения профессиональных личностных деструкций и формирования неблагоприятных функциональных состояний работников при выполнении трудовых функций из-за длительного воздействия негативных социально-бытовых и производственных факторов при недостаточном личностном и средовом ресурсе.

На вахтовых работников воздействует также целый ряд социально-бытовых факторов – групповая изоляция; вынужденный характер взаимодействия не только во время производственной деятельности, но и на отдыхе; длительная разлука с близкими и родственниками; ограничение в свободе выбора круга общения; ограничение в свободе передвижения; интеграция формальной и неформальной структуры вахтовой бригады, обусловленная теснотой контактов, относительной изолированностью от других групп; публичность (невозможность уединения); информационная истощаемость; согласованность действий во время выполнения производственных заданий; совместимость при общении во вне рабочее время; сужение зоны личностного пространства [3].

### *Факторы риска и маркеры стресс-реакций.*

Регионы проживания и регионы дислокации вахт как ландшафтно-климатоэкологические единицы играют существенную роль в развитии комплексного ответа организма на климатический стресс и развитие десинхроноза. В данном контексте Север характеризуется таким набором факторов, как:

- граничащие с экстремальными метеорологические воздействия (резкие суточные колебания температуры, влажности воздуха, атмосферного давления, скорости ветра);
- аномальная фотопериодичность;
- гелиогеофизические особенности (повышенный по сравнению со средними широтами уровень корпускулярного и электромагнитного солнечного и космического излучения, колебания индукции магнитного поля).

В качестве основных физиологических маркеров рабочего стресса рассматриваются – активность симпатoadреналовой (содержание катехоламинов в плазме и моче); гипоталамо-гипофизарно-адреналовой систем (секреция и экскреция кортизола, реактивность коры надпочечников); вариабельность сердечного ритма; концентрация малонового альдегида в крови и интенсивность перекисного окисления липидов; выраженность суточного десинхроноза.

Биомаркеры незавершенной адаптации – нарушение биологических ритмов организма; временная инверсия функциональной асимметрии мозга; повышенная активность симпато-адреналовой и гипоталамо-гипофизарно-

адреналовой систем (уровень кортизола); нарушение баланса вегетативной регуляции (снижение вариабельности сердечного ритма); повышенный уровень активации лимбической системы (рост уровня тревожности); нарушение энергообмена (снижение КПД мышечной работы).

Воздействие погодных условий на человеческий организм происходит путем формирования приспособительных реакций центральной и вегетативной нервных систем, в частности, через закрепление условно рефлекторного влияния. По литературным данным прослеживается корреляционная зависимость психофизиологических показателей человека от изменения параметров погодных условий. Критерии и индикаторы психологических рисков в профессиональной деятельности работников вахтовых форм труда представлены на рис. 2.

№	Группа критериев психологических рисков в профессиональной деятельности	Критерии психологических рисков в профессиональной деятельности	Индикаторы
1	Риск формирования неблагоприятных функциональных состояний	Психологическая напряженность	Сниженный фон настроения
			Контроль за поведением возмущен не в полной мере
			Изменение поведения в сложной операционной обстановке
			Нервозность в межличностных отношениях
			Разделение коллектива на микрогруппы
		Дистресс, заторможенный стресс – состояние, негативно воздействующее на функциональные состояния человека Утомление Профессиональное выгорание	Принятие лидерства неформальными руководителями
			Нарушение ритмов сна и бодрствования
			Снижение физической работоспособности в экстремальных условиях
			Снижение умственной работоспособности в экстремальных условиях
			Устойчивое снижение фона настроения
2	Риск возникновения профессиональных деформаций	Профессиональное отчуждение, снижение мотивации, дисциплины, профпригодности, выучка без помощи	Характеристики контроля поведения
			Снижение трудовой дисциплины
			Нарушение правил и инструкций
			Отношение к служебным обязанностям
			Снижение стремлений к совершенствованию профессиональной подготовки
	Профессиональная некомпетентность и конформация профессионального опыта	Отношения к руководству	
		Отношения к коллективу	
		Ошибки в работе	
	Профессиональные деформации	Профессиональная деформация	Срывы в работе
			Поведение в сложной операционной обстановке
Профессионально обусловленные воздействия	Профессионально обусловленные воздействия	Скорость усвоения профессиональных навыков	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенная интровертированность;</li> <li>- ригидность;</li> <li>- устойчиво высокий самоконтроль;</li> <li>- устойчиво низкий уровень критичной</li> </ul>	
			Восприимчивость к профессиональному (т.е. высокая) чувствительность к расхождению между ожидаемым и фактическим результатом умственной работы, сильное беспокойство по поводу работы, связанной с умственным напряжением

Рис. 2. Критерии и индикаторы психологических рисков в профессиональной деятельности работников вахтовых форм труда (Бюллетень ВСНЦ СО РАМН, 2013)

В рамках системного подхода, выделяют внутреннюю, так называемую климатическую систему, которая состоит из элементов, взаимодействие которых устанавливает основные характерные особенности режима климатических условий. Внешние факторы контролируют внутреннюю систему. Фактор считается внешним, если он оказывает воздействие на систему, а обратного воздействия со стороны системы не получает [5]

Климатические факторы дифференцируются на специфические и неспецифические. Холод, высокая относительная влажность, суровый

аэродинамический режим относят к неспецифическим факторам. То есть, это факторы, которые встречаются и в других регионах. К специфическим факторам можно отнести изменение фотопериодизма, колебания давления атмосферного воздуха и факторы электромагнитной природы. В связи с тем, что от отрицательного влияния этих факторов не применяются социальные и другие меры защиты, организму человека необходимо использовать дополнительные биологические и медико-профилактические приемы защиты. Адаптация человеческого организма в условиях северных территорий достигается путем напряжения и сложной перестройки гомеостатических систем [4].

Максимально неблагоприятными изменениями личности работников являются профессиональные деструкции – изменения сложившейся структуры деятельности и личности, негативно сказывающиеся на продуктивности труда и взаимодействии с другими участниками этого процесса, к числу которых относятся акцентуации характера [7]. Акцентуации характера – это чрезмерно усиленные и выраженные отдельные черты характера или их сочетание, проявляемые в избирательном отношении личности к психологическим воздействиям определенного рода, делающие личность уязвимой по отношению к психотравмирующим воздействиям среды при хорошей или даже повышенной устойчивости к другим сторонам действительности [8].

Выявление уровня выраженности и типа акцентуаций характера вахтовых работников в арктических условиях как критерия психологических рисков позволит разработать оптимальные мероприятия по управлению ими [7].

Выявление неблагоприятных изменений у специалистов на самых первых этапах их развития способствует более эффективному проведению профилактических мероприятий по сохранению их здоровья и повышению эффективности профессиональной деятельности

Личностный ресурс вахтовиков представляет собой возможности организма, личностные особенности, направленные на реализацию профессиональной задачи и преодоления различных условий в экстремальной обстановке; совокупность внутренних средств, которыми работник обладает и использует, чтобы обеспечить эффективную деятельность, а также для поддержания оптимального функционального состояния в процессе адаптации [6, 10, 11].

Для выявления акцентуаций и особенностей поведения могут быть использованы методики психологического тестирования такие как: опросник «Акцентуаций характера» (Шмишек Х.); опросник Я-структурный тест Г. Амона (в адаптации Ю.Я. Тупицина и соавт.); опросник «Стиль саморегуляции поведения» (Моросанова В.И., 1988).

*Вывод.*

Исходя из вышеописанного необходимо более тщательный отбор для специалистов, работающих вахтовым методом в связи с особенностями



воздействия этого вида трудовой деятельности, что улучшит качество работы, выполняемых вахтовым методом и поможет уменьшить вред для здоровья сотрудников. Поможет избежать срочного решения возникающих проблем в условиях вахтового метода крайне важно планового течения работ.

#### **Библиографический список**

1. Сергеева И.В. Исторические особенности, проблемы и тенденции организации труда вахтовым методом в условиях Крайнего Севера [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://koet.syktsu.ru/vestnik/2012/2012-2/9/9.htm> (Дата обращения 15.04.2023).
2. Оспичев И.М. Проблемы вахтового метода работы в современных условиях // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки, 2020. –№6. – С. 173-176.
3. Агаджанян, Н.А., Саламатина Л.В., Леханов Е.Н. Уровень здоровья и адаптации у населения на Крайнем Севере. – М.: Надым, 2002. – 160 с.
4. Гудков А.Б., Попова О.Н., Лукманова Н.Б. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Севера // Экология человека, 2011. – № 1. – С. 12-17.
5. Алисов Б.П., Полтораус Б.В. Климатология. – Москва: МГУ, 1974. – 299 с.
6. Федорова Ю.А., Гизатуллина Г.И. Психологическое сопровождение развития личности профессионала в условиях работы вахтовым методом // Проблемы современного педагогического образования, 2021. – №71-3. – С. 379-384
7. Корнеева Я. А., Симонова Н. Н. Акцентуации характера как критерий психологических рисков в профессиональной деятельности строителей магистральных газопроводов в условиях Арктики // Гигиена и санитария, 2015. – №1. – С. 82-85
8. Леонгард К. Акцентуированные личности. Киев: Высшая школа, 1989. – 375 с.
9. Теппоев А.В., Сафонова Н.Ю., Кретинин В.И. Психологические особенности взаимодействия студентов и преподавателей лесного вуза // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 42-46.
10. Теппоев А.В и др. Гармонизация профессиональных и образовательных стандартов лесной отрасли // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года: сборник статей по материалам конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – С. 8-11.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Теппоев А.В
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	4451-4059
<b>e-mail</b>	avt01@inbox.ru
<b>ФИО</b>	Кретинин В.И.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

**SPIN-код** 4424-8046  
**e-mail** KVI-1960@mail.ru  
**ФИО** Сафонова Н.Ю.

**Организация** Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт им. В.М. Бехтерева  
**Адрес организации** 192019, ул. Бехтерева, д. 3, Санкт-Петербург, Россия  
**SPIN-код** 9233-4754  
**e-mail** astarta10@yandex.ru

**ФИО** Дудкин М.Е.  
**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** avt01@inbox.ru

#### **Аннотация**

В статье проанализированы особенности работы вахтовым методом и предложены методики обследования работников для снижения вероятности негативных последствий.

**Ключевые слова:** вахтовый метод, психологические риски, экстремальная ситуация, климатические особенности.

**УДК** 613.6

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 15.81.29; 15.81.31

## **О ЭФФЕКТИВНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

**Трофимов А.В., Зверев И.А., Мурашкин А.А.**

*Введение.*

Компьютерными принято называть технологии, получившие «путёвку в жизнь» в связи с появлением на рынке вычислительной техники, доступной для потребителя. Получение и развитие практических навыков применения этого вида техники в решении инженерных задач, в т. ч. в отраслевом машиностроении, одна из актуальных задач учебного процесса при формировании профессиональных компетенций будущих магистров и бакалавров.

### *Цель работы.*

Провести анализ условий эффективного представления компьютерных технологий на базе опыта преподавания дисциплины для студентов направления 15.04.02 «Технологические машины и оборудование».

### *Методы исследования.*

В работе использован метод сравнительного анализа.

### *Результаты исследования.*

Процессы «компьютеризации» формируют 3 и 4 этапы научно-технической революции в производстве, что обеспечивает его гибкость, как с точки зрения скорости постановки продукции на производство, так и с точки зрения ее кастомизации. Наиболее часто выделяют следующие этапы, качественно меняющие производственную среду [1] (рис. 1).



Рис. 1. Промышленные индустриальные революции

Первая промышленная революция – широкая механизация процессов, использование энергии воды и ветра.

Вторая промышленная революция – массовое производство, появление линий поточной сборки, использование электричества.

Третья промышленная революция – автоматизация и компьютеризация производства (технологии жизненного цикла). Третья промышленная революция еще не завершена, но уже существует и активно развивается концепция четвертой революции – внедрение киберфизических систем (с 2011 г.). Суть революции заключается в переходе на полностью автоматизированное цифровое производство, управляемое интеллектуальными системами в режиме реального времени в постоянном взаимодействии с внешней средой, выходящее за границы одного предприятия, с перспективой объединения в глобальную промышленную сеть Вещей и Услуг.

Вопросы применения новых технологий рассматриваются, в первую очередь, при изучении дисциплины «Компьютерные технологии в машиностроении» в рамках направления 15.04.02. В учебных планах 15.03.02 появились дисциплины: «Введение в цифровые технологии»; «Системы автоматизированных инженерных расчётов в машиностроении».

Основные разделы посвящены изучению технологий жизненного цикла и технологий четвертой научно-технической революции: цифрового

двойника, интернета вещей, виртуальной и дополненной реальности, аддитивных технологий.

В учебном процессе рассматриваются: структура технологических процессов; требования к аппаратному обеспечению; программным продуктам; инженерным кадрам, организационному обеспечению; вопросы планирования отдельных операций.

Студенты получают навыки решения задач: создания геометрического образа изделия, параметрического моделирования, подготовки модели к печати, оценки напряжённого состояния объекта, топологической оптимизации конструкции, проектирования технологических процессов изготовления, формирования интерактивных электронных технических руководств, создания технических иллюстраций и анимации (рис. 2).

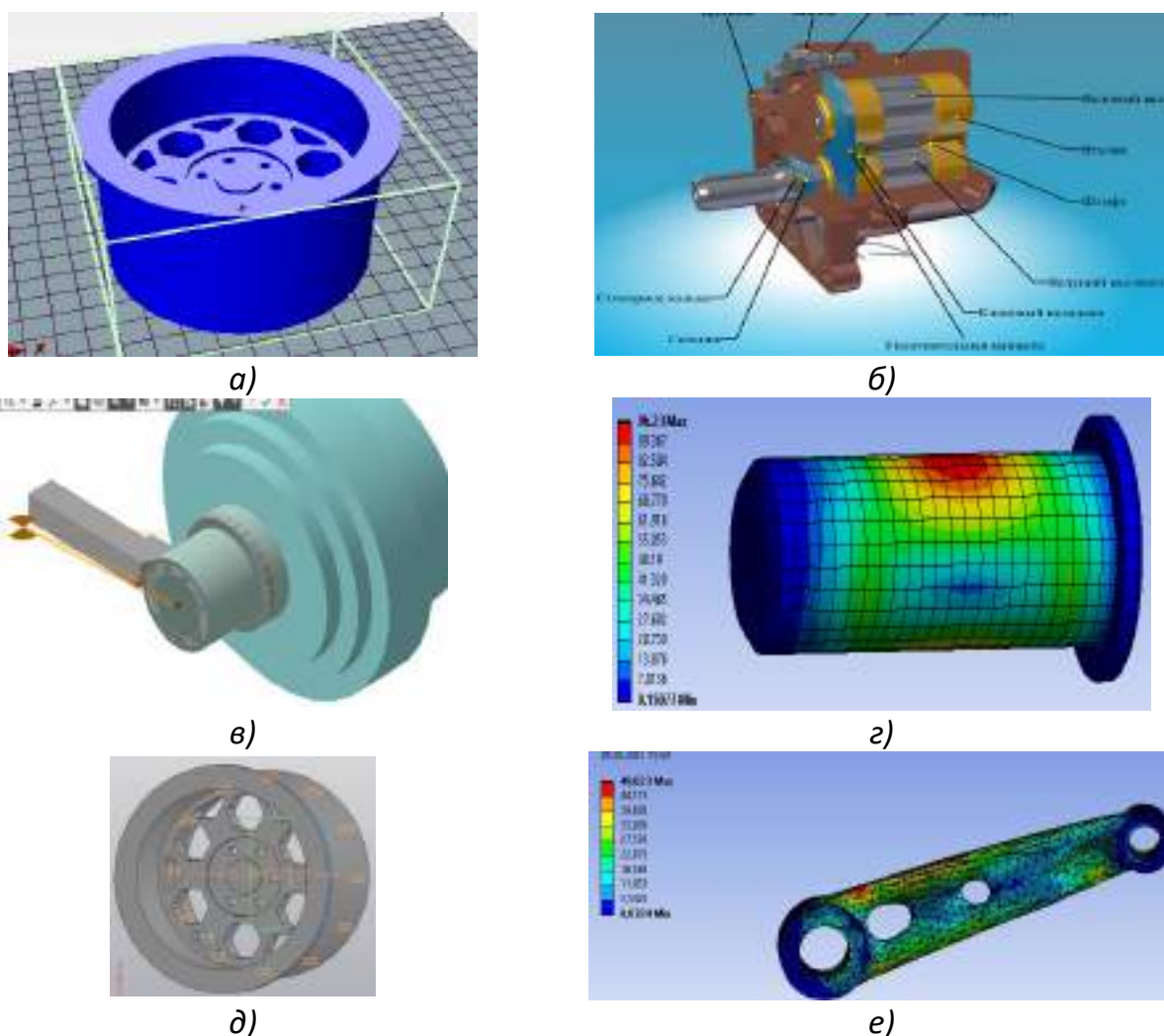


Рис.2. Иллюстрации к результатам практических занятий:

- а* – подготовка модели к печати, *б* – создание технических иллюстраций, *в* – разработка управляющих программ, *г* – оценка напряжённо-деформированного состояния, *д* – параметрическое моделирование, *е* – топологическая оптимизация

Методики проведения практических занятий созданы и отработаны непосредственно студентами магистерской подготовки. С их участием изданы

учебные пособия, опубликован ряд статей, отдельные работы приняли участие и отмечены в конкурсах [2-5].

Опыт преподавания дисциплины позволяет провести анализ и сформулировать направления совершенствования элементов учебного процесса.

1. Аппаратное обеспечение. Для реализации основных целей учебного процесса достаточно применения сервера, объединяющего в локальную сеть несколько персональных компьютеров. Количество компьютеров может не превышать десяти, что вполне достаточно для работы группы студентов, разделённой на подгруппы. Десять компьютеров, один из которых выполняет функции сервера, установленные в ауд.2-220, вполне отвечают задачам дисциплины на текущий момент.

2. Программное обеспечение. Системный софт (операционные системы) должен постоянно обновляться до последних версий. Это позволит пользоваться новыми версиями программных продуктов. Пока это условие выполняется.

Специализированный софт должен быть представлен программами «средней» и «лёгкой» группы, в русифицированной версии, с наличием учебной литературы. Например, программы консорциума «Развитие».

Необходимы договорные отношения с разработчиками программных продуктов с целью стабильного обновления версий, обучения и консультаций преподавателей, льготного приобретения новых продуктов. В этом вопросе наблюдается постоянное торможение, несмотря на подбор продуктов «эконом» класса и максимальное использование демо-версий, находящихся в открытом доступе и приобретённых за счёт личных средств.

Одним из недостатков отечественных программ является небрежное («экономное») отношение к терминологии соответствующих областей знаний. Обстоятельство вызывает определённые трудности на этапе обучения. Вопросы классификации процессов, элементов типовых конструкций и расчётных схем, часто не соответствуют базовым стандартам систем ЕСКД и ЕСТПП. Использование программ зарубежных разработчиков оказывается более удобным, как это не парадоксально (ANSYS, SolidWorks и др.).

3. Кадры. Эффективность применения компьютерных технологий обеспечивается при одном условии – компетентность специалистов, пользующихся продуктом. Система не заменяет специалиста, а повышает эффективность его работы за счёт:

- удобства хранения, поиска, представления и передачи информации;
- подключения вычислительных мощностей для проведения расчётных процедур.

Некомпетентный специалист, имея в руках столь мощный расчётный инструмент, способен внести в систему ошибку, которая как снежный ком приведёт к цепочке ошибочных решений.

Недостатки базовой подготовки ярко проявляются при работе с программами инженерного анализа, что накладывается на недостатки в

терминологии продуктов. Методика практических занятий требует постоянной итерации процедур расчёта с проверкой и корректировкой в ручном режиме. По крайней мере, в период обучения.

4. Организационный фон. Реализация обучения в рассматриваемой области - процесс затратный, как с точки зрения времени, так и финансов. Но, технический прогресс – явление неизбежное. Эффективное использование его преимуществ, связанных с технологиями информационной поддержки, невозможно без содействия со стороны администрации кафедры, института, университета. Значимость этого фактора трудно переоценить.

*Заключение.*

Многие аналитики рассматривают объем применения компьютерных технологий в материальном производстве как надежный индикатор реальной индустриальной мощи государства. Машиностроение переживает серьезные изменения, которые связаны с появлением технологий информационной поддержки изделий, на базе широкого применения вычислительной техники.

Эффективность представления технологий в учебном процессе ВУЗа зависит от развитости всех элементов системы инженерных расчётов, рассмотренных выше.

#### **Библиографический список**

1. Трофимов А.В. Компьютерные технологии в машиностроении. Индустрия 4.0: учебное пособие для студентов направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / А.В. Трофимов, И.А. Зверев. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – 68 с.
2. Трофимов А.В. Компьютерные технологии в машиностроении. Учебное пособие для студентов направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / А. В. Трофимов [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 123 с.
3. Компьютерные технологии в машиностроении. Технологии жизненного цикла: учебное пособие / А. В. Трофимов [и др.]; под ред. А. В. Трофимова. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – 106с.
4. Зверев И.А. Методика оценки статической прочности шарнирных соединений лесных машин с использованием программного обеспечения «ANSYS» / И.А. Зверев, А.В. Трофимов // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года: сборник статей по материалам конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – С. 312-321.
5. Тюрина М. С. Использование параметризации при создании твердотельной геометрической модели на базе программы «КОМПАС-3D» / М.С. Тюрина, А.В. Трофимов, И.А. Зверев // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 51-55.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Трофимов А.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

<b>SPIN-код</b>	8933-0230
<b>e-mail</b>	agregat9@yandex.ru
<b>ФИО</b>	Зверев И.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	1126-2121
<b>e-mail</b>	igorzv1997@gmail.com
<b>ФИО</b>	Мурашкин А.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	kerel123321@gmail.com

#### **Аннотация**

В статье рассмотрены вопросы эффективного представления компьютерных технологий в учебном процессе подготовки студентов направления 15.04.02 «Технологические машины и оборудование». Выполнен анализ состояния составляющих системы инженерных расчётов и возможные направления её совершенствования.

**Ключевые слова:** компьютерные технологии, учебный процесс, эффективное представление.

УДК 621.7

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.13.01

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МНОГОКЛЕТЬЕВОЙ УСТАНОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ**

**Хрусталева И.В.**

*Введение.*

Повышение эффективности любого вида производства, связанного с переработкой сырья в конечную продукцию имеет первостепенное значение. Особенно важно добиться снижения издержек производства на первоначальных стадиях производственного процесса. Это актуально и для лесопромышленного комплекса, т.к. выход конечной продукции по отношению к сырью по стоимости составляет не более 30%.

### *Цель исследования.*

Обосновать условия применения многоклетевой установки для прокатки древесины и разработать методы определения параметров установки, в том числе и методы оптимизации [1].

### *Методика и результаты исследования.*

С применением системного подхода процесс прокатки древесины рассматривается как управляемая технологическая система.

Такое представление процесса позволило построить схему оптимального проектирования установки. Так к вектору управляемых параметров отнесены: количество клеток, диаметр ( $D_i$ ) и ширина ( $B_i$ ) валков, просвет между валками ( $c_i$ ), степень деформирования в каждой клетке ( $\bar{H}_i$ ).

Вектор фиксированных параметров состоит из параметров заготовки: порода, влажность, размеры; параметров готового изделия. Значение сил, мощность, производительность, а также отклонения от формы и требуемых размеров образуют вектор полезного эффекта.

Экспериментальными исследованиями было доказано существование условия ( $\bar{H} \leq 1,2 \dots 1,3$ ), определяющего качество изделий.

Выполненное исследование работы многоклетевой установки основано на результатах анализа одноклетевой установки для прокатки сосны с влажностью 10 – 25% без предварительной подготовки.

Установлено, что вследствие восстановления упругой деформации для обеспечения качества и требуемых размеров необходима прокатка заготовок в нескольких клетях. Получена расчетная формула для определения количества клеток:

$$n = \frac{\ln(d_{зад}/D_{зар})}{\ln[1-(1-k)^{\frac{\bar{H}-1}{\bar{H}}]}, \quad (1)$$

где  $\bar{H}$  – допустимая степень деформирования;  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Для сосны  $n$  определяется с помощью графиков [2].

Выбор в качестве основного показателя величины общей осевой силы при установившемся процессе прокатки обусловлен несколькими причинами: уменьшение мощности установки напрямую связано с уменьшением осевой силы, скорость прокатки определяется технологией и является при проектировании заданной величиной, сила сдавливания валков зависит от степени деформирования, качество продукции ограничивается техническими требованиями на изделие.

Задача оптимального проектирования формулируется следующим образом:

$$T_{\Sigma}^* = \min_{c_i^* \in \Omega} \sum_{i=1}^{n_{max}} T_{общ} (H_i, h_i, c_i^*, D_i, d_i, B_i, W), \quad (2)$$

где  $\Omega$  – область допустимых значений образованная следующими ограничениями:

$$W = W_{треб.}; \quad H_1 = H_{треб.}; \quad h_{n\text{ кл}} = h_{треб}$$



$$\begin{aligned} &\text{для } i = 1, \dots, n_{\text{кл}}: \quad H_i > 0; D_i > 0; c_i > 0; d_i > 0; B_i > 0; \\ &\frac{D_i}{c_i} \leq \overline{D}_{\text{доп}}; \overline{H}_i \leq H_{\text{доп}}; h_{n_{\text{кл}}} \leq H_i \leq H_1; h_{n_{\text{кл}}} \leq h_i \leq H_1; \\ &c_i \leq H_i; B_i \leq c_i; h_i = H_{i+1}; h_i = c_i + k(H_i - c_i); \end{aligned}$$

где  $T_{\text{общ}}$  – общая осевая сила;  $W$  – влажность заготовки;  $H_i$  – размер заготовки;  $h_i$  – размер изделия.

Конкретный вид этой зависимости также определяется породой прокатываемой древесины.

Для решения задачи использовались методы линейного и нелинейного программирования. Однако расчеты и эксперименты показали, что целевая функция нелинейно зависит от параметров процесса прокатки, что значительно сказывается на точности решения.

Поиск оптимальных параметров для двух- и трехклетевой установки показал, что целевая функция унимодальна. Вариант поиска может быть представлен графически.

Однако более сложные установки с числом клеток более трех не имеют наглядного графического представления и поэтому необходимо использовать численные методы многопараметрической оптимизации.

На основании расчетов оптимальных параметров установки получено, что при степенях деформации  $H_i = \text{const}$  значения осевых сил незначительно отличаются от минимальных значений для широкого диапазона влажности. Следует, однако заметить, что при  $H_i = \text{const}$  значения осевых сил по клетям могут значительно (более чем в 1,5 раза) отличаться между собой. Это, в свою очередь, потребует соответствующих изменений в конструкции клеток. При оптимальных значениях  $c_i$  осевые силы по клетям примерно одинаковы.

Анализ полученных зависимостей оптимальных значений просветов между валками  $c_i$  показывает, что в условиях нестабильных размеров заготовок и их влажности добиться высокого качества изделий можно только при наличии регулирования просвета и промежуточных калибрующих клеток.

Значения целевой функции уменьшаются в зависимости от числа клеток, однако степень этого уменьшения реально может учитываться лишь при малых значениях  $n$  ( $n = 2 \dots 3$ ).

Созданная на основании проведенных исследований и результатов оптимального проектирования инженерная методика проектирования позволяет сравнительно просто, но с приемлемой для практики точностью определить необходимые конструктивные характеристики установок для прокатки.

*Заключение.*

Задача обоснования оптимальных проектных характеристик установки может быть представлена в виде совокупности методов, основанных на применении линейного и нелинейного программирования, а также методики упрощенного инженерного проектирования. При этом методы линейного программирования используются для приближенной оценки параметров многовалковой установки и анализа чувствительности оптимальных решений

к изменению исходных данных, а методы нелинейного программирования служат для более точного определения оптимальных параметров и исследования влияния на них различных факторов.

#### **Библиографический список**

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. – Москва: Лесная промышленность, 1989. – 294 с.
2. Хрусталева И.В. Обоснование параметров установки для прокатки сортиментов. Дисс... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: ЛТА, 1993. – 158 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Хрусталева И.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный Лесотехнический университет имени С.М.Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург Россия
<b>SPIN-код</b>	8636-3860
<b>e-mail</b>	innessachrustaliova@gmail.com

#### **Аннотация**

Для обоснования условий применения многоклетевой установки для прокатки древесины и разработки методов определения параметров установки, был применен системный подход. Процесс прокатки древесины рассматривался как управляемая технологическая система. Созданная на основании проведенных исследований и результатов оптимального проектирования инженерная методика проектирования позволяет сравнительно просто, но с приемлемой для практики точностью определить необходимые конструктивные характеристики установок для прокатки.

**Ключевые слова:** древесина, прокатка, деформация, осевая сила, установка.

УДК 621.771.06

Разделы рубрикатора ГРНТИ 53.43.13

## **К ТЕОРЕМЕ О КОНЕЧНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ АБСОЛЮТНО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

**Черный О.Г.**

*Введение.*

Ниже абсолютно твердое тело обозначено АТТ. Во всех учебниках по теоретической механике доказывается, что любое движение АТТ с одной закрепленной точкой (полюсом), ниже обозначаемой А, сводится к повороту вокруг некоторой оси, проходящей через А, и без доказательства утверждается, что «любое произвольное перемещение АТТ состоит из

параллельного переноса с А, и поворота на некоторый угол вокруг оси, проходящей через А». Легко видеть, что это утверждение есть непосредственное следствие упомянутой теоремы о движении АТТ с закрепленной точкой. Но его можно доказать и независимо от указанной теоремы.

*Доказательство сформулированного утверждения.*

Так как АТТ обладает шестью степенями свободы, для задания его произвольного положения достаточно задать положение произвольных трех точек, будем ниже называть их А (полнос), В и С. Пусть мы произвели произвольное перемещение АТТ из положения, в котором А, В и С занимали положение  $A_0, B_0$  и  $C_0$ , в положение  $A_k, B_k$  и  $C_k$ , Перемещение это состоит из перемещения А из  $A_0$  в  $A_k$ , по вектору  $\vec{\Delta A} = (\vec{A}_0 A_k)$ , В из  $B_0$  в  $B_1$ , С из  $C_0$  в  $C_1$  по тому же вектору перемещения  $\vec{\Delta A}$ . Из-за параллельности перемещения точек А, В, С плоскости треугольников  $A_0 B_0 C_0$  и  $A_k B_1 C_1$  параллельны друг другу, но в принципе не параллельны плоскости треугольника  $A_k B_k C_k$ . Далее доказательство сводится к теореме о конечном перемещении АТТ с одной закрепленной точкой ( $A_k$ ). Ниже приводится другое доказательство того, что треугольники  $A_k B_1 C_1$  и  $A_k B_k C_k$  можно совместить поворотом на некоторый угол вокруг оси, проходящей через  $A_k$ .

Действительно, при таком повороте из-за абсолютной твердости тела расстояния между точками А и (В,С) ( $A_k B_1$  и  $A_k B_k$ ;  $A_k C_1$  и  $A_k C_k$ ) остаются неизменными. Неизменными должны оставаться и расстояния от точек оси поворота до точек В и С. Геометрическое место точек, равноудаленных от  $B_1$  и  $B_k$ , от  $C_1$  и  $C_k$ , есть плоскости, проходящие через середины  $B_1 B_k$ , и  $C_1 C_k$ , перпендикулярно этим линиям соответственно. Линия пересечения этих плоскостей и есть ось конечного поворота. Естественно, так как при любых перемещениях АТТ все расстояния между его точками сохраняются, и сохраняются углы между любыми пересекающимися прямыми, то углы поворота точек В и С вокруг  $A_k$  одинаковы и равны.

Если оба перемещения, параллельный перенос, и поворот, осуществляются за бесконечно малое время, то перемещение произвольной точки В представляется в виде  $\delta \vec{r}_B = \delta \vec{r}_A + A\vec{B} \times \delta \vec{\varphi}$ . Соответственно для скорости точки В получим обычную формулу

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + A\vec{B} \times \vec{\omega}; \vec{\omega} = d\vec{\varphi} / dt.$$

*Заключение.*

Данная формула позволяет показать, что в любой момент времени движение точки произвольного АТТ может быть только одним из трех типов:

1. Мгновенно-поступательное движение, при  $d\vec{\varphi} = 0$ . Тогда  $\vec{V}_B = \vec{V}_A$ .

Умножим соотношение  $\vec{V}_B = \vec{V}_A + A\vec{B} \times \vec{\omega}$  на  $\vec{\omega}$  скалярно. Получим:  $\vec{\omega} \vec{V}_B = \vec{\omega} \vec{V}_A$ ; то

есть, если  $\vec{V}_B = \vec{V}_{Внар} + \vec{V}_{Внепр}$ ; где  $\vec{V}_{Внар}$  — параллельна  $\vec{\omega}$ ,  $\vec{V}_{Внепр} = A\vec{B} \times \vec{\omega}$  перпендикулярна

$\vec{\omega}$ , то  $\vec{V}_{Внар}$  оказывается одинаковою для всех точек АТТ. Выберем точку Р такую, что  $A\vec{P} = \vec{\omega} \times \vec{V}_A / \omega^2$ , получим  $\vec{V}_P = \vec{V}_A + \frac{\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{V}_A)}{\omega^3}$ . Так как  $\vec{A} \times \vec{B} \times \vec{C} = \vec{B}(\vec{A}\vec{C}) - \vec{C}(\vec{A}\vec{B})$ , где  $(\vec{A}\vec{B})$ ,  $(\vec{A}\vec{C})$  - скалярные произведения, то  $\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{V}_A) = \vec{\omega}(\vec{\omega}\vec{V}_A) - \vec{V}_A(\vec{\omega})^2 = \vec{V}_{Анар} - \vec{V}_{Анепр}$ , так что  $\vec{V}_P = \vec{V}_{Анар} = \vec{\omega} * \vec{V}_A / \omega$ .

2. Если  $\vec{V}_P = 0$ , то движение становится мгновенным вращением вокруг оси, проходящей через Р в направлении  $\vec{\omega}$ .

3. Если  $\vec{V}_P \neq 0$ , движение называется мгновенно-винтовым относительно оси, проходящей через Р в направлении  $\vec{\omega}$ .

#### Библиографический список

1. Никитин Н.Н.. Курс теоретической механики. – Москва: Высшая школа, 1990. – 608 с.
2. Дронг В.И. [и др.]. Курс теоретической механики. Механика в техническом университете. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – Т.1. – 736 с.

#### Сведения об авторах

<b>ФИО</b>	Черный О.Г.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт–Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	snezha38@yandex.ru

#### Аннотация

Предложен метод объяснения кинематики произвольного движения абсолютно твердого тела, позволяющий выяснить частные случаи этого движения и условия их возникновения

**Ключевые слова:** абсолютно твердое тело (АТТ), движение, кинематика, доказательство.

**УДК** 531-3

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 30.19.02

### ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И КОНСТРУКТИВНАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ ФЕРМ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

**Чистяков С.М., Александров И.Д., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.**

*Введение.*

Лесопромышленный комплекс – это совокупность предприятий, включающих в себя вырубку и переработку леса. Лесная промышленность –

старейшая отрасль хозяйства. Древесина является традиционным естественным материалом [1, 3, 4]. Она отличается относительной прочностью и легкостью обработки. Древесина имеет широкое применение в хозяйственной деятельности человека и в быту [1, 6-8, 10].

*Цель работы.*

Целью работы является аналитическое исследование актуальности применения строительных деревянных в лесопромышленном комплексе.

*Методы исследования.*

В работе выполнен аналитический обзор конструкций строительных деревянных ферм и возможностей их применения в лесопромышленном комплексе.

*Результаты исследования.*

Конструктивно деревянные фермы-перекрытия представляют собой конструкцию из сухого строганного бруса в виде двух параллельных горизонтальных балок, которые, для обеспечения жесткости, соединены связями в виде вертикальных стоек и наклонных раскосов (рис. 1) [1, 2, 5, 9]. В отличие от стропильных ферм, имеющих обычно треугольную форму наружной поверхности, они имеют прямоугольную [6, 8, 10]. Изготовление таких ферм, чаще всего, осуществляется в промышленных условиях, с использованием специального точного оборудования (например, MiTek) и доставляются на строительную площадку в собранном виде. При этом все элементы конструкции соединяются специальными металлическими элементами – оцинкованными зубчатыми пластинами (МЗП).

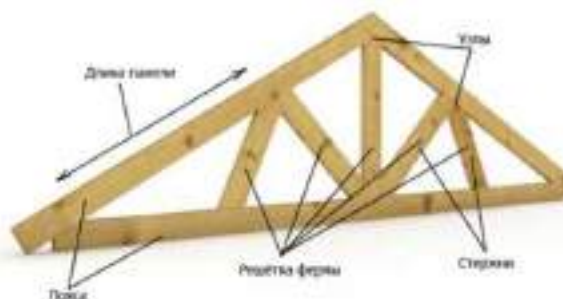


Рис.1. Конструкция фермы

Преимуществами деревянных ферм можно считать следующие их особенности:

- возможность перекрывания большого пролета (до 9 м) без дополнительных опор;
- малый вес, что является существенным при их транспортировке и монтаже (можно обойтись без подъемных механизмов или машин), а также обеспечивает меньшую нагрузку на стены и фундамент дома [2, 5, 10];
- их легко и просто можно монтировать на стены любого типа [2, 5, 7, 10].

К недостаткам деревянных ферм можно отнести такие их особенности:

- толщина межэтажного перекрытия получается большей, чем при использовании обычных балок;
- большая сложность и трудоемкость качественного изготовления ферм своими руками и необходимость точного их расчета [1, 2, 7, 8, 10];
- стоимость готовых ферм промышленного изготовления больше стоимости обычных балок [5, 9, 10].

Сортамент лесоматериалов (рис. 2), которыми располагает строительное производство, их влажность и качество могут существенно повлиять на выбор схемы и типа деревянных ферм [6, 7].

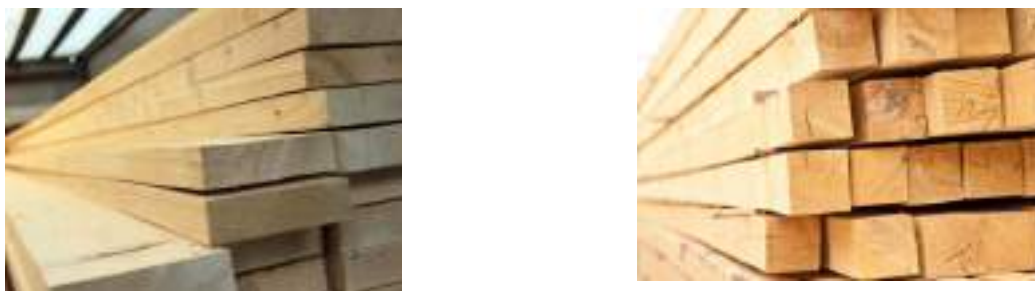


Рис.2. Пиломатериалы, применяемые в изготовлении деревянных ферм

Бревна и обзолные брусья могут быть рационально использованы в треугольных, прямоугольных, многоугольных фермах [7, 8]. Сегментные фермы могут быть выполнены только из пиломатериалов – досок и брусков (Рис.2) [6, 8].

При выборе конструкции и материала для стропил учитывается материал стен. Опоры для стропильных ферм могут быть представлены железобетонными или металлическими типами колонн, а также стенами из кирпича и подстропильными фермами. Конструктивные особенности обуславливают классификацию таких конструкций на основе следующих признаков (рис. 3) [1, 6, 8, 10]:

- очертание поясов;
- конструктивное оформление;
- статическая схема;
- тип решетки.



Рис.3. Конструктивные решения деревянных ферм

Функциональная целесообразность напрямую связана с условиями эксплуатации, которые могут оказать существенное влияние не только на выбор типа деревянных конструкций, но и на целесообразность применения этих деревянных конструкций.

Деревянные конструкции не следует применять в условиях систематического увлажнения и затруднения проветривания, например, в цехах с мокрым производством, зданиях бассейнов и др. [1, 6, 8, 10]. Деревянные конструкции нецелесообразно также осуществлять в условиях повышенной пожарной опасности, например, в цехах горячего производства, в помещениях с выделением пламени, искр и т.п. [1, 7, 8, 10].

Конструктивная целесообразность будет зависеть от качества исходного сырья. При наличии лесоматериалов пониженного качества и невозможности получения или отбора высококачественных лесоматериалов для ответственных растянутых элементов рекомендуется применять конструкции со стальными растянутыми элементами [6, 8]. В случае использования лесоматериалов повышенной влажности (свыше 25%) и невозможности обеспечить их просушку на строительной площадке следует применять такие виды конструкций, в которых усушка древесины не может вызвать значительных деформаций и перенапряжений, как, например: подкосные системы, фермы на лобовых врубках со стойками в виде тяжей из круглой стали и т.п. [6, 7]

#### *Заключение.*

Самый значимый критерий, на основании которого производится разделение ферм на различные типы, представлен очертанием поясов, что обуславливается не только различными кровельными конструкциями и параметрами перекрываемых пролетов, но и величиной нагрузки (рис. 4) [5, 10].



Рис. 4. Конструктивная схема деревянной фермы

### Сведения об авторах

**ФИО** Чистяков С.М.  
**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** serzh.bespalov.03@mail.ru

**ФИО** Александров И.Д.  
**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** sir.wanis@yandex.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** krivonogovaas@spbftu.ru

**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** pushkovyl@spbftu.ru

### Библиографический список

1. Гетц К.-Г., Хоор Д., Мелер К., Наттерер Ю. Атлас деревянных конструкций / пер. с нем. Н.И. Александровой; под ред. В.В. Ермолова. – Москва: Стройиздат, 1985. – 272 с.
2. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика: учебник: 11-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2008. – 656 с.
3. Коуэн Г.Дж. Мастера строительного искусства: история проектирования сооружений и среды обитания со времен Древнего Египта до XIX века / пер. с англ. Д.Г. Копелянского; Под ред. Л.Ш. Килимника. – Москва: Стройиздат, 1982. – 240 с.
4. Коуэн Г.Дж. Строительная наука XIX-XX вв.: проектирование сооружений и систем инженерного оборудования / пер. с англ. В.А. Коссаковского; под ред. Л.Ш. Килимника. – Москва: Стройиздат, 1982. – 359 с.
5. Кривоногова А.С. [и др.]. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для



- бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
6. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г. Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года: сборник статей по материалам конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – С. 354-363.
  7. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Иванов А.М. Анализ эффективного использования лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: ретроспектива применения // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 719-727.
  8. Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. –С. 269-278.
  9. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
  10. Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынины Ю.А., Беспалова В.В., Дязетдинов Р.Р. К вопросу о прочностных расчетах сооружений // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года: сборник статей по материалам конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – С. 346-354.

### **Аннотация**

Рассматриваются функциональные и конструктивные целесообразности применения строительных ферм из древесных материалов в лесопромышленном комплексе, области применения, достоинства и недостатки. Анализируется рациональность применение конструкций деревянных ферм с различными конструктивными схемами.

**Ключевые слова:** конструкции ферм, деревянные фермы, применение деревянных ферм, изготовление деревянных ферм.

**УДК** 72.023:694.1:694.14+674-413+674.061

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 66.03.05; 66.33.29; 66.33.33; 66.43.31; 67.09.41; 67.11.03; 67.11.37.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ТЕСТЕРОВ**

**Чураков А.В., Попов В.Д.**

*Введение.*

Качество поверхности, очень важно в различных сферах, таким как товары для дома и офиса, электроника, игрушки, инструменты, продукция

машиностроения. Для обеспечения работоспособности и обеспечения долговечности изделий, необходимо уделить особое внимание вопросам, исследования качества поверхности. В целях решения поставленных задач необходимо своевременно и качественно производить тестирования образцов. Для этого используются механические тестеры, которые позволяют определить, долговечность изделий.

*Цель работы.*

Определить качество поверхности с использованием различных видов тестеров.

*Методы исследования.*

В работе использован метод индентирования – это процесс, управляемый специальной испытательной установкой, при котором происходит непрерывное внедрение наконечника (алмазная пирамида Берковича, Виккерса, твердосплавный шарик).

Индентирование является наиболее точным, теоретически и экспериментально подтвержденным стандартизированным методом определения физико-механических свойств микро и нанометрового уровня для материалов с тонкой структурой, локальным градиентом свойств, материалов в состоянии интенсивной пластической деформации или после термического воздействия, а также, сверхтвердых, хрупких и эластичных материалов, механические свойства которых невозможно определить иными способами.

Вязкость разрушения методом индентирования обычно определяют по формуле:

$$Kc = \alpha P_{max} E \frac{1}{2} H - \frac{1}{2} c - \frac{3}{2}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – эмпирическая константа, которая зависит от типа образующихся трещин;  $P_{max}$  – амплитудное, значение прикладываемой к индентору силы;  $c$  – длина.

Скретч-тестирование – это метод оценки адгезии покрытий путем анализа царапин, сделанных алмазным индентором в условиях приложения к нему постоянной или возрастающей нагрузки, перпендикулярной к испытываемой поверхности.

Скретч-тестирование предполагает увеличение нагрузки, на образец в зависимости от расстояния. Во время теста собираются данные: о нагрузке, акустической эмиссии, трение и глубине. Исходя из этих данных, можно определить: когезионное и адгезионное разрушение, прочность сцепления, трещиностойкость, пластическую и упругую деформацию.

Измерение твердости царапанием: один из классических методов, незаслуженно забытый в наши дни. В литературе этот метод принято называть склерометрией. Его суть заключается в сравнении ширины царапин, полученных при одинаковых условиях на эталонном образце с известными свойствами и на поверхности исследуемого материала.

Значение твёрдости исследуемого материала определяют по формуле:

$$H = \frac{P}{kb^2}, \quad (2)$$

где  $P$  – нормальное усилие, с которым была нанесена царапина, Н;  $b$  – среднеарифметическое значение ширины царапины, м;  $k$  – коэффициент формы индентора для данной ширины царапины.

Адгезия – взаимодействие между разнородными конденсированными телами при их молекулярном контакте.

Причина адгезии – молекулярное притяжение контактирующих веществ или их химическое взаимодействие.

Работа адгезии – работа, которую необходимо совершить для разделения двух контактирующих фаз.

Работу адгезии рассчитывают по уравнению Дюпре.

$$W_A = \sigma_{21} + \sigma_{31} - \sigma_{23}, \quad (3)$$

где  $W_A$  – адгезия;  $\sigma$  – работа адгезии.

Применение адгезии: склеивание металлов, нанесение красок, покрытий и т.д.

Износ – это постепенное снижение эксплуатационных свойств изделий, узлов и механизмов в результате изменения их размеров, формы и характеристик.

Собранные данные: о нагрузках, глубине и трении. Доступно два режима имитирующих условия эксплуатации: режим вращения и линейный режим.

Величину износа определяют в единицах длины, объема массы, а износ за единицу времени – как скорость изнашивания, м/ч:

$$J = \Delta h / t, \quad (4)$$

где  $\Delta h$  – величина износа, (линейный износ) или толщина удаленного слоя, м;  $t$  – время час.

Широко распространена, другая характеристика изнашивания – интенсивность изнашивания:

$$J = \frac{\Delta h}{L}, \quad (5)$$

где  $h$  – величина износа м;  $L$  – путь трения, м.

Согласно ГОСТ 31993–2013 обработка результатов осуществляется следующим образом:

1. Определяют толщину покрытия в каждой точке измерения путем вычитания значений, полученных при измерении толщины окрашиваемой поверхности, из значений, полученных при измерении толщины окрашиваемой поверхности с покрытием.
2. Вычисляют среднеарифметическое значение толщины покрытия испытуемого образца с точностью не более 5 мкм (в зависимости от точности микрометра).
3. Определение толщины покрытия с помощью многооборотного индикатора с круговой шкалой

В ходе работы используется следующая аппаратура: механические тестеры Nanovea. Аппарат изображен на рис. 1.



Рис. 1. Механический тестер Nanovea

Основные характеристики тестера:

- доступные модули по нагрузке: Нано и Микро;
- удобный доступ в зону тестирования;
- возможность установки двух модулей;
- превосходная латеральная точность;
- моторизованный привод по оси Z 50 мм и видеокамерас видезумом;
- регулировка по высоте до 140 мм;
- опционально – оптический профилометр и атомносиловой микроскоп.

*Заключение.*

Использование многофункциональных механических тестеров позволяет проводить исследования параметров покрытий в зависимости от поставленных задач. Применение разных методик и способов проведения испытаний с использованием тестеров позволит повысить качество продукции.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ 31993–2017 Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия. Технические условия. – Взамен ГОСТ31993– 2013; введ. 2013-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 3 с.
2. Испытания на твердость [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://heattreatment.ru/ispytaniya-na-tverdost#carapanie> (Дата обращения 14.04.2023).

3. Определение твердости ЛКП царапанием [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://paintyard.ru/baza-znanij/metody-ispytanij/opredelenie-tverdosti-zaschitno-dekorativnyh-pokrytij-tsarapan/> (Дата обращения 14.04.2023).
4. Применение механических тестеров от компании Nanovea [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.melytec-testing.ru/news/primenenie-mekhanicheskikh-testerov-ot-kompanii-nanovea0922/> (Дата обращения 14.04.2023).
5. Нанотвердомеры и скрэтч-тестеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.melytec.ru/production/nanotechnology/nanohardometer> (Дата обращения 14.04.2023).
6. Карякина М.И. Лабораторный практикум по техническому анализу и контролю производств лакокрасочных материалов и покрытий. – Москва: Химия, 1989. – 208 с.

#### **Сведения об авторах**

<b>ФИО</b>	Попов В.Д
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует
<b>e-mail</b>	mne-vova@mail.ru

<b>ФИО</b>	Чураков А.В.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
<b>SPIN-код</b>	9526-9599
<b>e-mail</b>	sheff_2.01@mail.ru

#### **Аннотация**

В последнее время актуализировались вопросы, связанные с применением механических тестеров. В статье дается обзор понятию механических тестеров. Излагаются виды и как работают механические тестеры.

**Ключевые слова:** покрытие, толщина покрытия, параметры, тестер, адгезия, износ.

**УДК** 53.08

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 90.27.31

# РАЗРАБОТКА IDEF-МОДЕЛИ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Шифрин Б.М., Попова Д.А.

## *Введение.*

НПО Изолятор производит полимерные изоляторы (устройства, предназначенные для изоляции крепления проводов воздушных линий электропередачи и распределительных устройств электростанций и подстанций, а так же токоведущих частей в электрических аппаратах) из высококачественных композитных материалов (рис. 1).



Рис 1. Полимерный изолятор

В производстве используются передовые технологии – опрессовка металлическими оконцевателями, оцинкованными термодиффузионным или горячим цинком.

Предприятие работает по следующим стандартам:

- СТО НПО Изолятор 205-03 «Система менеджмента качества НПО Изолятор. Входной контроль»;
- СТО НПО Изолятор 207-04 «Система менеджмента качества НПО Изолятор. Организация и порядок проведения контроля и испытаний»;
- СТО НПО Изолятор 207-04 «Система менеджмента качества НПО Изолятор. Метрологическое обеспечение и контроль».

Вся выпускаемая продукция проходит 100% контроль качества не только на стадии приемосдаточных испытаний, но и на каждой технологической операции. На предприятии внедрена система менеджмента качества в соответствии с международным стандартом ИСО 9001:2015. Ежегодно продукция предприятия проходит сертификацию, подтверждающую высокое качество изделий.

## *Цель и задачи исследования.*

Целью работы является разработка концептуальной модели процесса контроля качества полимерных изоляторов. В работе решены задачи по построению диаграмм IDEF0 и IDEF3.

### Методы исследования.

В работе использованы методологии моделирования семейства ICAM, методология функционального моделирования, методология документирования технологических процессов.

### Результаты исследований.

В номенклатуру предприятия входит более 10 тысяч наименований изделий, поэтому актуальной представляется задача поиска путей унификации методик контроля и испытания продукции [1, 2]. Для анализа операционного контроля в статье предлагается использовать IDEF-методологию функционального моделирования, представляющую систему в целом как множество взаимозависимых действий или функций [3].

На рис. 2 показан верхний уровень процесса контроля качества с помощью IDEF-методологии.

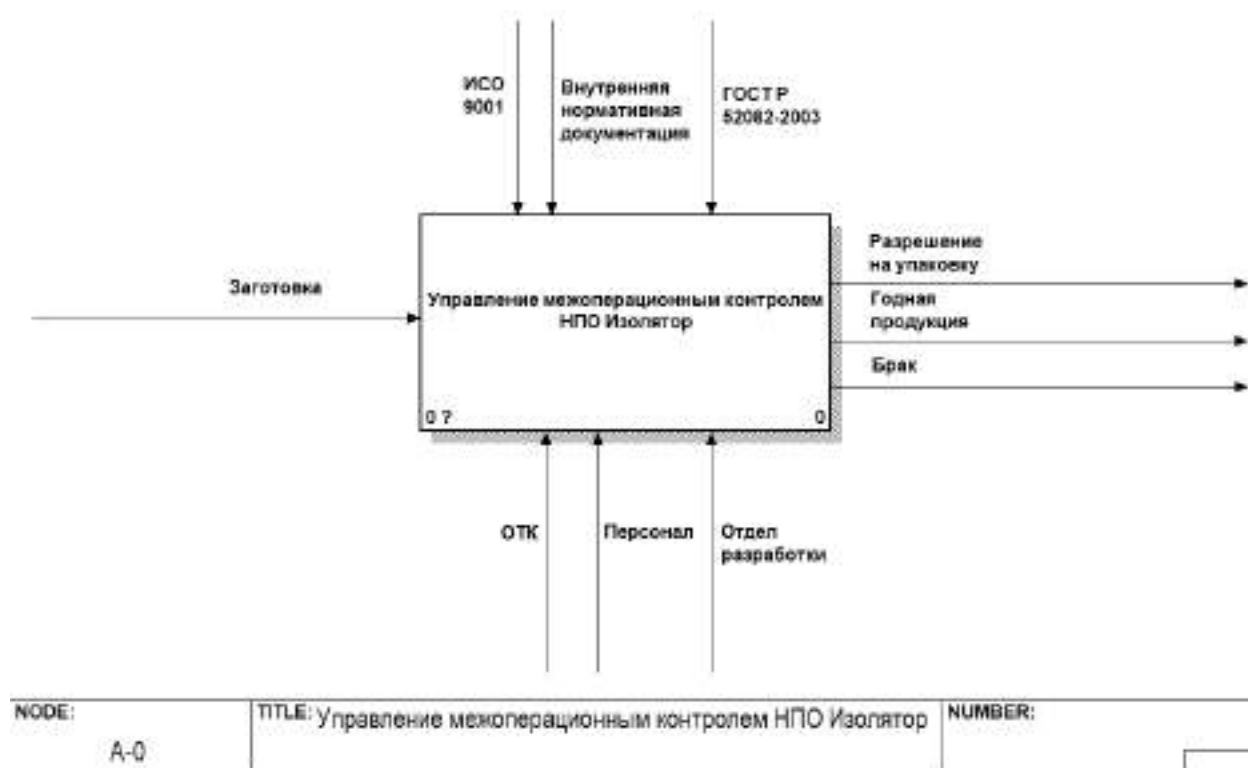


Рис 2. Верхний уровень процесса контроля качества

Для реализации процесса контроля качества требуются входные данные в виде заготовок. На выходе процесса контроля качества либо продукция считается годной и получается разрешение на ее упаковку, либо она отправляется в брак. Для управления процессом контроля качества используется внешняя и внутренняя нормативная документация. Процесс контроля качества производится на основе следующих человеческих ресурсов: отдел разработки, ОТК и другой вспомогательный персонал.

В результате структурного анализа процесса управления межоперационным контролем получаем диаграмму, представленную на рис. 3.



Рис. 3. Декомпозиция процесса управления межоперационным контролем

Для оценки качества и степени пригодности изоляторов производится обязательный входной контроль качества на наличие внешних дефектов и приемо-сдаточные испытания (ПСИ). Для формализации этих процессов используем IDEF3-методологию, показывающую причинно-следственные связи между ситуациями и событиями, т.е. последующая операция не может выполняться, пока все предыдущие операции не завершены (рис. 4).

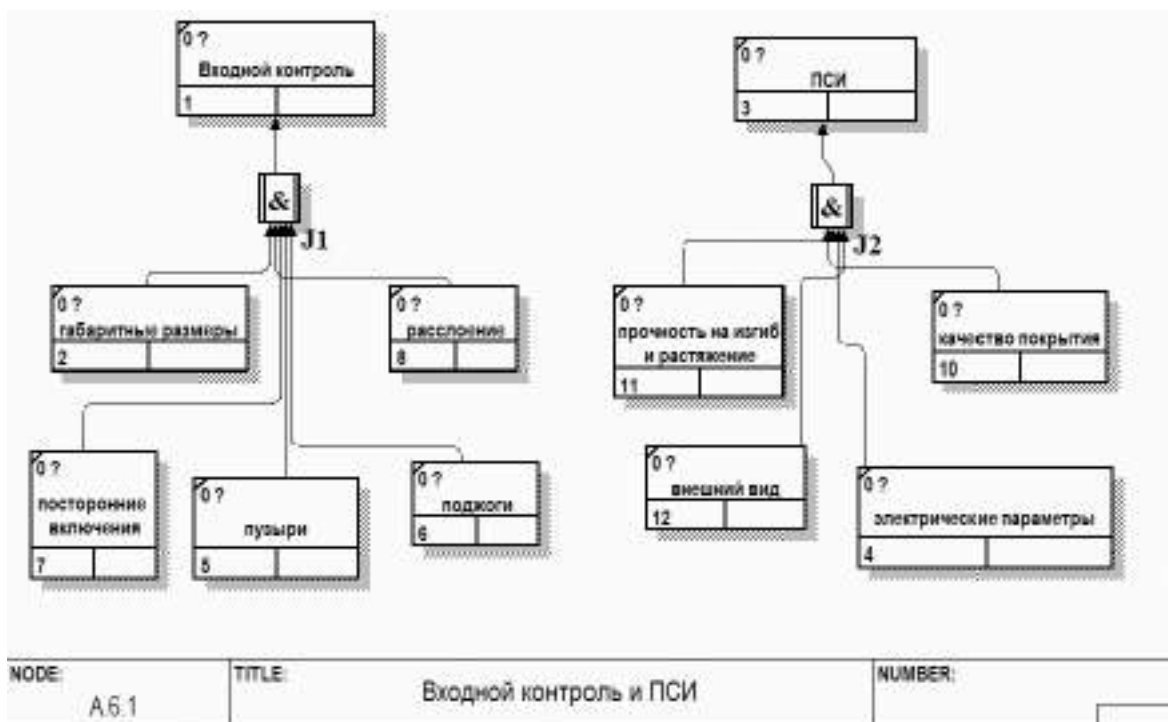


Рис. 4. Входной контроль и ПСИ



Типовые виды дефектов полимерных изоляторов: несоответствие габаритных размеров, расслоение, поджоги, посторонние включения, пузыри.

Зачищенные от обля изоляторы поступают в цех ОТК, где контролеры проверяют внешний вид, качество цинкового покрытия оконцевателей, электрические параметры (наличие частичных разрядов и выдерживаемое кратковременное напряжение в сухом состоянии), механическую прочность изоляторов на растяжение и изгиб. Согласно техническим условиям изоляторы должны выдерживать без повреждений в течение одной минуты воздействие испытательной механической растягивающей силы, равной 50% от нормированной разрушающей механической силы.

На каждую партию изоляторов, прошедшую контроль, делается запись в журнале ПСИ и оформляется протокол ПСИ согласно стандарту предприятия СТО НПО Изолятор 207-04.

#### *Заключение.*

Предлагаемая методология позволяет определить унифицированный план контроля продукции НПО Изолятор, применимый к заданной группе наименований изделий. Однако при изменении номенклатуры производимых изделий оптимальный план будет изменяться, поэтому решение рассмотренной задачи должно осуществляться постоянно на основе накопленной статистики с целью оперативной коррекции плана.

#### **Библиографический список**

1. Сорокин М.А. Использование IDEF-моделей при анализе процессов контроля и испытаний продукции массового производства // Известия вузов. Машиностроение. 2011. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-idef-modeley-pri-analize-protsessov-kontrolya-i-ispytaniy-produktsii-massovogo-proizvodstva> (дата обращения: 24.03.2023).
2. Спиринов И.А. Разработка программы для процесса контроля качества целлюлозно-бумажной продукции // Международный научный журнал «Молодой ученый». 2016. №2 (106). URL: <https://moluch.ru/archive/106/pdf/110/> (дата обращения: 24.03.2023).
3. Шифрин Б.М. Использование IDEF-моделей для анализа процессов контроля качества / Б. М. Шифрин, Д. А. Попова // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2023. – № 11. – С. 165-168.

#### **Сведения об авторах**

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

<b>ФИО</b>	Попова Д.А.
<b>Организация</b>	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
<b>Адрес организации</b>	194021, Институтский пер., д. 5
<b>SPIN-код</b>	Отсутствует.
<b>e-mail</b>	lesingle23malibu@mail.ru

#### **Аннотация**

В статье обосновываются актуальность и основные принципы унификации контроля качества изделий. Показан процесс функционального моделирования процесса контроля качества продукции на основе IDEF-технологии, отображающей функции/процедуры, а также потоки информации и материальных объектов.

**Ключевые слова:** полимерный изолятор, оценка качества, функциональное моделирование, IDEF-технология.

**УДК** 621.74

**Разделы рубрикатора ГРНТИ** 81.81.17

Научное издание

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ИТОГАМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ 2022 года

Материалы научно-технической конференции