

# **СОВРЕМЕННЫЙ ЛЕСНОЙ КОМПЛЕКС СТРАНЫ: ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Материалы Всероссийской научно-практической конференции**

**Воронеж, 25 сентября 2025 г.**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Ф. МОРОЗОВА»

СОВРЕМЕННЫЙ ЛЕСНОЙ КОМПЛЕКС СТРАНЫ: ИННОВАЦИОННЫЕ  
РАЗРАБОТКИ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы Всероссийской научно-практической конференции

Воронеж, 25 сентября 2025 г.

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION  
OF THE RUSSIAN FEDERATION  
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION  
OF HIGHER EDUCATION  
«VORONEZH STATE UNIVERSITY OF FORESTRY AND TECHNOLOGIES  
NAMED AFTER G. F. MOROZOV»

MODERN FORESTRY COMPLEX OF THE COUNTRY: INNOVATIVE  
DEVELOPMENTS AND PROGRESSIVE TECHNOLOGIES

Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference

Voronezh, September 25, 2025

Voronezh 2025

УДК 630\*37

C56

**C56** Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки и прогрессивные технологии : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 25 сентября 2025 г. / отв. ред. А. А. Платонов ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛУ». – Воронеж, 2025. – 235 с. – URL: <https://vglu.ru/nauka/konferencii/2025/sovremennyyj-lesnoj-kompleks-strany-innovacionnye-razrabotki-i-progressivnye-tehnologii/>. – Текст: электронный.

ISBN 978-5-7994-1196-1

В сборник включены материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки и прогрессивные технологии», освещающие актуальные вопросы в области прогрессивных технологий, современного оборудования и перспективных видов транспорта в лесном комплексе, а также направлений инновационного развития лесного комплекса на основе ресурсо- и энергосбережения.

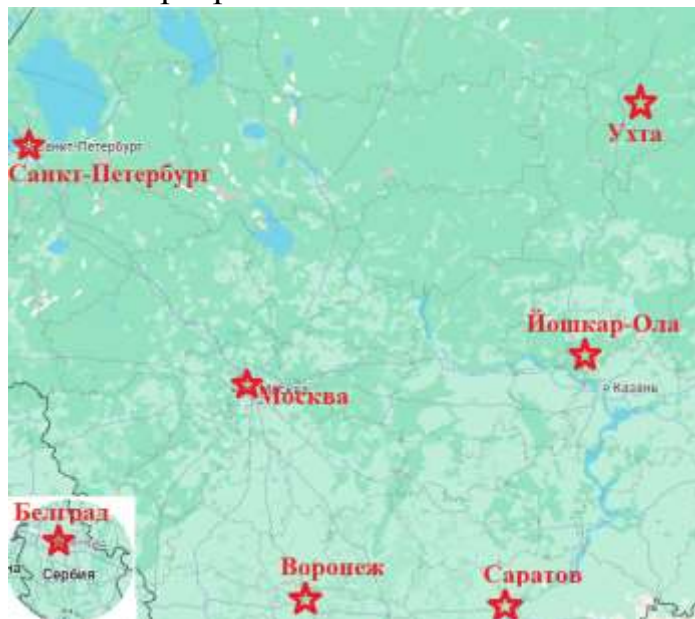
Материалы конференции рассчитаны на специалистов, направление деятельности которых связано с лесным комплексом, а также могут быть использованы преподавателями, аспирантами, магистрантами и студентами при изучении ими различных дисциплин.

УДК 630\*37

ISBN 978-5-7994-1196-1

© ФГБОУ ВО «ВГЛУ», 2025

Города-участники Всероссийской научно-практической конференции  
«Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки  
и прогрессивные технологии»:



Вузы и организации-участники  
Всероссийской научно-практической конференции  
«Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки  
и исследования»:

1. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж
2. Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I
3. Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова
4. Воронежский институт высоких технологий
5. Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва
6. Мытищинский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета)
7. Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола
8. Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы,  
г. Москва
9. Российско-Сербский гуманитарный центр межправительственной гуманитарной организации, Белград, Сербия
10. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С.М. Кирова
11. Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого
12. Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.
13. Ухтинский государственный технический университет

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1

#### ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ

<i>Васильев В.В., Афоничев Д.Н.</i> Оценка влияния коэффициента полнодревесности плоских сплочных единиц на их транспортно-эксплуатационные показатели .....	7
<i>Ганиева Э.Н., Ермоченков М.Г.</i> Значение термомеханических свойств аморфного поливинилхлорида для температур формования древесно-полимерного композита .....	15
<i>Ганиева Э.Н., Ермоченков М.Г.</i> Установление оптимальных температур формования древесно-полипропиленового композита на основе анализа термомеханических свойств .....	19
<i>Гончаров Д.А., Зимарин С.В., Князев А.Г.</i> Существующие конструкции дисковых почвообрабатывающих орудий активного типа .....	23
<i>Клубничкин В.Е.</i> Закон автоматизированного движения трелевочной машины по заданной траектории .....	28
<i>Мануковский А.Ю., Курдюков Р.П.</i> Применение RAP-материалов в строительстве лесовозных дорог .....	33
<i>Платонов А.А.</i> Оборудование, применённое при экспериментальных исследованиях новых технологических процессов и технических средств .....	39
<i>Попиков С.К.</i> Повышение поперечной устойчивости лесотранспортной машины манипуляторного типа в случае экстренной разгрузки захвата ...	48
<i>Савинков М.А.</i> К оценке продольной устойчивости при движении на вырубках колесного трактора с рекуперативной навесной системой и навесным орудием в транспортном положении .....	55
<i>Сердюкова Н.А., Татаренко И.Р.</i> Температурная нестабильность биотоплива: вызовы хранения и пути их преодоления в условиях российского климата .....	62
<i>Фокин С.В., Шпортько О.Н.</i> Об особенностях работы механизма подачи устройства для измельчения порубочных остатков .....	67
<i>Фокин С.В., Шпортько О.Н.</i> О классификационных признаках привода рубильных машин .....	74
<i>Шевцов А.А., Сердюкова Н.А., Зотов Р.Л.</i> Обеспечение температурной стабильности в плёночных биореакторах для производства биотоплива на основе микроводорослей .....	79

## СЕКЦИЯ 2

### ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

<i>Анисимов И.С., Анисимов Н.С.</i> Результаты экспериментальных исследований модернизированных устройств на рубках ухода в молодняках химическим методом .....	85
<i>Богданова Л.Н., Шадрина Е.Л.</i> Нежелательная растительность – как фактор потенциальных опасностей на автомобильных дорогах .....	91
<i>Качанов С.А, Леонова Е.М., Леонова А.Н.</i> О создании единой цифровой экосистемы мониторинга и оповещения .....	98
<i>Курдюков Д.П., Мануковский А.Ю.</i> Использование геосинтетических материалов для сокращения расходов на устройство дренажных и морозозащитных слоев дорожной одежды .....	104
<i>Макаров В.Е.</i> Разработка экспериментальной лабораторной установки классификатора .....	110
<i>Михитаров А.Р.</i> Недостатки работ по корчевке пней и их преодоление ..	116
<i>Платонов А.А., Платонова М.А.</i> Динамическая система рабочего процесса механизированного удаления нежелательной растительности .....	120
<i>Полумиско А.А., Пуятин П.А.</i> К вопросу применения энергосберегающего гидропривода механизма подъема стрелы с электромагнитным демпфирующим устройством на лесных гидроманипуляторах .....	128
<i>Стородубцева Т.Н., Саврико В.В.</i> Применение беспилотных транспортных средств и дронов для мониторинга и управления лесозаготовительными процессами .....	134
<i>Фокин С.В., Шпортько О.Н.</i> О результатах изучения изменения энергоемкости процесса измельчения пневой древесины конической фрезой .....	140

## СЕКЦИЯ 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, СИСТЕМ И СОСТОЯНИЙ

<i>Анисимов Н.С.</i> Мониторинг лесных пожаров видеонаблюдением .....	145
<i>Анисимов И.С.</i> Структурные исследования манипуляторной системы лесной машины с одной подвижностью .....	150
<i>Белянский Е.А., Малюков С.В., Малюкова М.А.</i> Анализ зарубежных технологий, применяемых при искусственном лесовосстановлении .....	155
<i>Ганиева Э.Н., Ермоченков М.Г.</i> Влияние типа полиэтиленовой матрицы на термомеханические характеристики и оптимальные температуры формования древесных композитов .....	161
<i>Гарькин И.Н., Войнаш С.А.</i> Использование критерия удельной энергии формоизменения мизеса при оптимизации ремонтных процессов гусеничных траков лесопосадочной техники .....	166

<i>Гудков В.В., Сокол П.А.</i> Ковш скрепера с ножевой системой активного типа .....	174
<i>Дерепаско И.В., Попиков П. И., Четверикова И.В.</i> Моделирование рабочих процессов бесчokerного трелевочного агрегата с гидроприводом рекуперации энергии .....	179
<i>Забродкин Е.О.</i> Концепция двухкомпонентного роботизированного комплекса для противодействия пожарам .....	185
<i>Зубова О.В., Зубова М.С.</i> Современные подходы к определению механических свойств грунтовых оснований лесных дорог .....	189
<i>Платонов А.А.</i> Обоснование новых показателей степени зарастания нежелательной древесно-кустарниковой растительностью территорий линейных инфраструктурных объектов .....	192
<i>Прокопенко С.В., Платонов А.А.</i> Анализ способов повышения эффективности рабочих процессов рубительных машин .....	201
<i>Седрисев И.Д., Куликова Н.В., Аксёнов П.А.</i> Исследование факторов, влияющих на плотность древесины пихты сибирской .....	206
<i>Стородубцева Т.Н., Мелихова А.В., Плотников Д.С.</i> Материаловедение для дизайна продуктов от разработки до утилизации .....	212
<i>Фокин С.В., Шпортко О.Н.</i> О комплексе машин для производства энергетической древесины в условиях вырубок .....	216
<i>Хоменко К.Г., Попикова А.В.</i> Результаты исследования рабочих процессов энергосберегающего гидропривода механизма поворота колонны манипулятора автосортиментовоза.....	222
<i>Шадрина Е.Л., Богданова Л.Н.</i> Отличительные черты методов воздействия на нежелательную растительность в охранных зонах трасс ВЛ .....	228



**СЕКЦИЯ 1**  
**ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**  
**И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ**

DOI: 10.58168/MFCC2025\_7-14

УДК 630\*378.33

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛНОДРЕВЕСНОСТИ**  
**ПЛОСКИХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ**  
**НА ИХ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ**

**Васильев В.В., Афоничев Д.Н.**

*Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I, Воронеж, Россия*

**ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF THE FULL-WOOD COEFFICIENT**  
**OF FLAT FIBROUS UNITS ON THEIR TRANSPORT AND OPERATIONAL**  
**INDICATORS**

**Vasiliev V.V., Afonichev D.N.**

*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,  
Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Выполнена оценка влияния коэффициента полндревесности плоских сплотовых единиц на их транспортно-эксплуатационные показатели в программе автоматизированного планирования сплава древесины. Установлено, что влияние коэффициента полндревесности плоских сплотовых единиц на их осадку присутствует и имеет нелинейный характер в виде ломанной кривой, в том числе и из-за воздействия глубины сплавного хода на количество рядов укладываемых круглых лесоматериалов. Влияние коэффициента полндревесности плоских сплотовых единиц на количество древесины, содержащейся в их геометрическом объеме, описывается нелинейными зависимостями в виде ломанной кривой, так как оказывает влияние осадка сплотовых единиц.

*Abstract:* The effect of the coefficient of full-tree density of flat rafting units on their transport and operational performance in the program of automated planning of timber rafting has been estimated. It has been established that the effect of the coefficient of full-tree density of flat rafting units on their draft is present and has a non-linear character in the form of a broken curve, including due to the effect of the depth of the rafting course on the number of rows of stacked round timber. The effect of the fullness coefficient of flat solid units on the amount of wood contained in their geometric volume is described by non-linear relationships in the form of a broken curve, as it is influenced by the settlement of solid units.

*Ключевые слова:* плоская сплотовая единица, круглые лесоматериалы, диаметр, коэффициент полндревесности, осадка, объем древесины.

*Keywords:* flat solid unit, round timber, diameter, full-wood coefficient, sediment, and volume of wood.

Успешное проведение сплава лесоматериалов в плоских сплотовых единицах [1-3] в первую очередь зависит от текущих значений транспортно-эксплуатационных показателей, находящиеся под влиянием внешних и внутренних факторов, которые могут воздействовать как по отдельности, так и совместно. Внешние факторы – это габариты сплавного хода, параметры сплавляемых круглых лесоматериалов и физико-механические свойства древесины. Внутренние факторы – это габаритные размеры и полнодревесность, которые непосредственно оказывают влияние на транспортно-эксплуатационные показатели. К транспортно-эксплуатационным показателям относятся: объем (количество) древесины в сплотовой единице; коэффициент запаса плавучести; осадка; жесткость и волноустойчивость; прочность; расход сплотового такелажа.

Влияние внешних факторов на транспортно-эксплуатационные показатели плоских сплотовых единиц подробно рассмотрено в работах [4-6], где была изучена зависимость осадки плоских сплотовых единиц и содержания в них древесины от габаритов сплавного хода, параметров круглых лесоматериалов и свойств сплавляемой древесины. При этом влияние коэффициента полнодревесности на транспортно-эксплуатационные показатели мало изучено и требует более подробного рассмотрения. В данном случае особый интерес представляет влияние коэффициента полнодревесности плоских сплотовых единиц на их осадку и количество древесины, содержащейся в их геометрическом объеме.

Оценку влияния коэффициента полнодревесности плоских сплотовых единиц на их осадку и количество древесины, содержащейся в их геометрическом объеме, наиболее рационально выполнять посредством специально разработанной компьютерной программы [7]. Окно «Расчетный анализ» (рис. 1) предназначено для ввода необходимых данных и последующего расчета транспортно-эксплуатационных показателей плоских сплотовых единиц с выгрузкой их в таблицу Excel. При этом конструкция плоской сплотовой единицы № 1 (ПСЕ1) – это плоская сплотовая единица (патент № 2777674 РФ) [1], конструкция плоской сплотовой единицы № 2 (ПСЕ2) – это плоская сплотовая единица (патент № 210485 РФ) [2], а конструкция плоской сплотовой единицы № 3 (ПСЕ3) – это плоская сплотовая единица (патент № 2777676 РФ) [3].

Известно [8-10], что коэффициент полнодревесности плоских сплотовых единиц в большей степени зависит от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, а в меньшей степени – от их длины и сбежистости. Таким образом, при оценке влияния коэффициента полнодревесности плоских сплотовых единиц на их осадку и количество древесины, содержащейся в их геометрическом объеме, диаметр круглых лесоматериалов варьировался от 10 см до 50 см с шагом 5 см, который соответственно изменял коэффициент полнодревесности плоских сплотовых единиц. При этом в отношении используемого диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе коэффициент полнодревесности плоских сплотовых единиц принимался из экспериментальных исследований, итоги которых отражены в работах [8-10].

Плоская сплотовочная единица 1			Плоская сплотовочная единица 2			Плоская сплотовочная единица 3		
Длина круглых лесоматериалов, м	6		Длина круглых лесоматериалов, м	6		Длина круглых лесоматериалов, м	6	
Ширина лесосплавного хода, м	10		Ширина лесосплавного хода, м	10		Ширина лесосплавного хода, м	10	
Глубина лесосплавного хода, м	1,5		Глубина лесосплавного хода, м	1,5		Глубина лесосплавного хода, м	1,5	
Запас для сплава ПСЕ (Сш), м	2		Запас для сплава ПСЕ (Сш), м	2		Запас для сплава ПСЕ (Сш), м	2	
Донный запас, м	0,3		Донный запас, м	0,3		Донный запас, м	0,3	
Плотность древесины повышенной плавучести, кг/куб.м	700		Плотность древесины повышенной плавучести, кг/куб.м	700		Плотность древесины повышенной плавучести, кг/куб.м	700	
Процентное содержание древесины повышенной плавучести, %	50		Процентное содержание древесины повышенной плавучести, %	50		Процентное содержание древесины повышенной плавучести, %	50	
Плотность древесины ограниченной плавучести, кг/куб.м	700		Плотность древесины ограниченной плавучести, кг/куб.м	700		Плотность древесины ограниченной плавучести, кг/куб.м	700	
Процентное содержание древесины ограниченной плавучести, %	50		Процентное содержание древесины ограниченной плавучести, %	50		Процентное содержание древесины ограниченной плавучести, %	50	
Ширина кольца с ребристой внутренней поверхностью, см	5		Коэффициент полндревесности плоской сплотовочной единицы	0,66		Коэффициент полндревесности плоской сплотовочной единицы	0,64	
Запас длинных прокладок от кольца до ее конца, м	0,3		Диаметр круглых лесоматериалов 13,5 и т.д. рядов, см	10		Диаметр круглых лесоматериалов в рядах, см	10	
Коэффициент полндревесности плоской сплотовочной единицы	0,43		Диаметр круглых лесоматериалов 24,6 и т.д. рядов, см	10		Средняя сбежистость круглых лесоматериалов, см на 1 м	1	
Диаметр круглых лесоматериалов в рядах, см	10		Средняя сбежистость круглых лесоматериалов, см на 1 м	1		Масса сплотовочного такелажа (скобы), кг	80	
Средняя сбежистость круглых лесоматериалов, см на 1 м	1		Число проволоки в гибкой связи, шт.	13		Число проволоки в гибкой связи, шт.	13	
Масса сплотовочного такелажа, кг	50		Предельно допустимое напряжение проволоки при растяжении, Па	10000000		Предельно допустимое напряжение проволоки при растяжении, Па	10000000	
Расстояние от кольца до места крепления строны, м	0,2		Плотность материала проволоки, кг/куб.м	7800		Предельно допустимое напряжение гибкой связи при растяжении, Па	10000000	
Предельно допустимое напряжение при изгибе верхней прокладки, Па	40000000		Плотность материала гибкой связи, кг/куб.м	7800		Плотность материала гибкой связи, кг/куб.м	7800	
Предельно допустимое напряжение при изгибе нижней прокладки, Па	40000000							
Средняя сбежистость лесоматериалов верхней прокладки, см на 1 м	1							
Средняя сбежистость лесоматериалов нижней прокладки, см на 1 м	1							

Расчет

Экспорт в Excell

Справка

Выход

Рисунок 1 – Интерфейс окна «Расчетный анализ»

В процессе всех расчетов для каждой плоской сплотовочной единицы выполнялись следующие общие условия: длина круглых лесоматериалов – 6 м, ширина сплавного хода – 10 м, глубина сплавного хода – 1,5 м, запас для сплава – 2 м, донный запас – 0,3 м, плотности древесины повышенной и ограниченной плавучести равны и составляют  $700 \text{ кг/м}^3$ , средняя сбежистость круглых лесоматериалов – 1 см на 1 м. Остальные данные, касающиеся индивидуально каждой плоской сплотовочной единицы, которые необходимы для объективного расчета транспортно-эксплуатационных показателей, приведены на рис. 1. Следует также отметить, что для ПСЕ3 коэффициент уменьшения диаметра для внутренних и наружных поперечных прокладок принимался из работы [11]. Результаты всех расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сводного расчета

Диаметр/коэффициент полндревесности			Осадка, м			Объем древесины, $\text{м}^3$		
ПСЕ1	ПСЕ2	ПСЕ3	ПСЕ1	ПСЕ2	ПСЕ3	ПСЕ1	ПСЕ2	ПСЕ3
10/0,43	10/0,66	10/0,84	1,138	1,125	1,213	21,949	32,124	44,294
15/0,457	15/0,686	15/0,825	1,166	1,189	1,124	23,688	35,425	40,361
20/0,477	20/0,698	20/0,812	1,029	1,109	1,154	21,275	34,089	41,179
25/0,493	25/0,705	25/0,803	0,969	1,103	1,061	21,157	32,635	37,483
30/0,507	30/0,713	30/0,796	1,082	1,027	1,047	23,386	32,201	36,256
35/0,517	35/0,718	35/0,788	0,908	1,166	1,205	21,081	34,451	41,461
40/0,526	40/0,723	40/0,782	0,977	0,988	1,099	21,944	30,702	36,146
45/0,533	45/0,728	45/0,778	1,059	1,097	0,931	24,209	35,121	31,098
50/0,542	50/0,732	50/0,773	1,135	1,201	1,028	25,972	34,938	34,09

По данным табл. 1 были построены графики зависимостей, которые изображены на рис. 2 и 3. Графики, приведенные на рисунке 2, характеризуют зависимость осадки плоских сплочных единиц от коэффициента полндревесности, а графики, представленные на рисунке 3, описывают зависимость количества древесины в плоских сплочных единицах от коэффициента полндревесности.

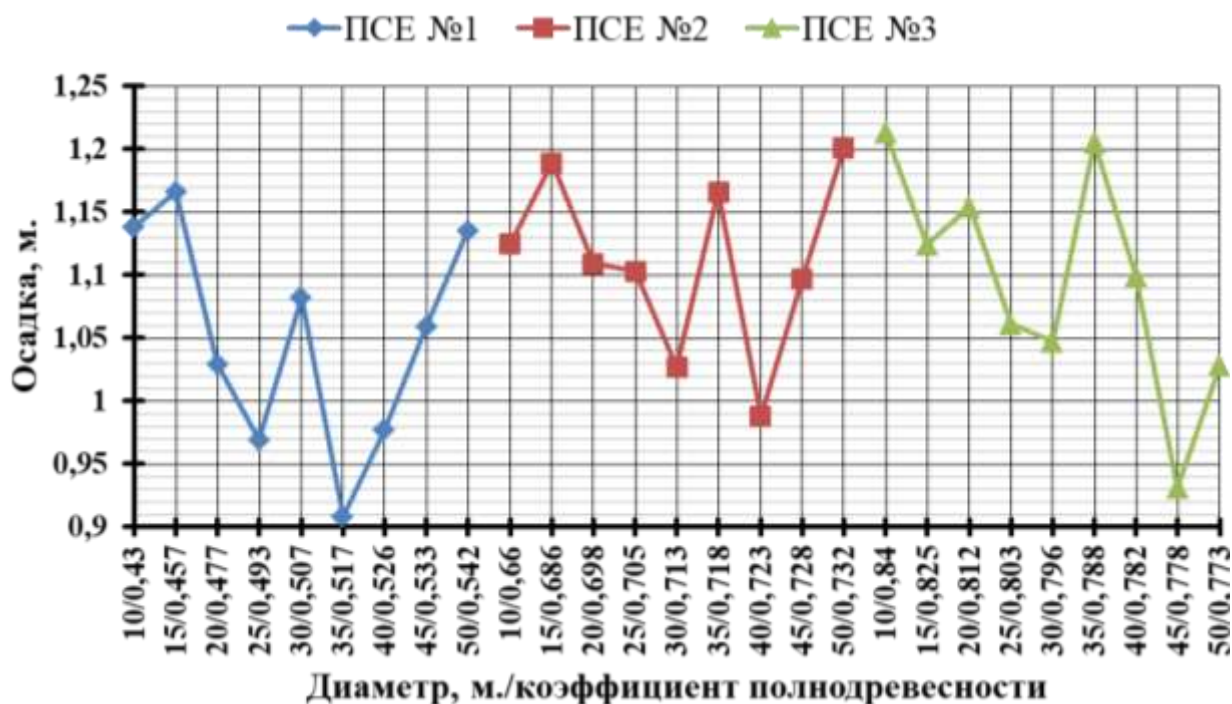


Рисунок 2 – Графики зависимости осадки плоских сплочных единиц от коэффициента полндревесности

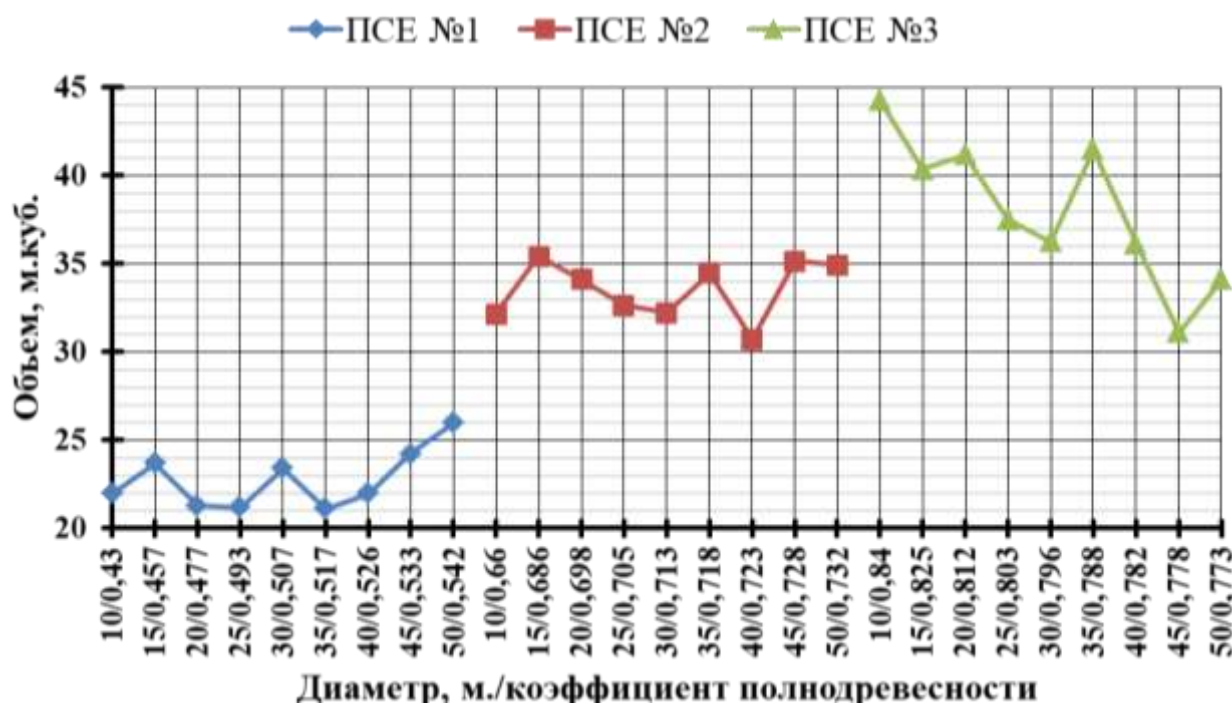


Рисунок 3 – Графики зависимости объема древесины от коэффициента полндревесности

В соответствии с графиками, представленными на рис. 2, влияние коэффициента полндревесности плоских сплотовых единиц на их осадку присутствует и носит нелинейный характер в виде ломанных кривых, не смотря на то, что коэффициент полндревесности сплотовых единиц изменяется по гиперболической зависимости. Данный фактор возникает из-за влияния глубины сплавного хода на количество укладываемых рядов круглых лесоматериалов в плоских сплотовых единицах. Критическая осадка наблюдается у ПСЕ1 при диаметре круглых лесоматериалов в верхнем отрезе 15 см и 50 см, у ПСЕ2 при диаметре круглых лесоматериалов в верхнем отрезе 15 см и 50 см, а у ПСЕ3 при диаметре круглых лесоматериалов в верхнем отрезе 10 см и 35 см. В данном случае следует отметить, что выявленная критическая осадка плоских сплотовых единиц для указанных диаметров круглых лесоматериалов справедлива только в отношении принятых условий, и при изменении каких-либо показателей диаметр круглых лесоматериалов, при котором возникнет критическая осадка, может измениться.

Рассматривая графики, представленные на рис. 3, можно сделать однозначный вывод, что коэффициент полндревесности плоских сплотовых единиц имеет непосредственное влияние на количество древесины содержащейся в их геометрическом объеме. Данное влияние описывается нелинейными зависимостями в виде ломанных кривых по аналогии с графиками, показанными на рис. 2. ПСЕ1 содержит в себе наименьший объем древесины, а ПСЕ3 включает в себя наибольший объем древесины при диаметре круглых лесоматериалов в верхнем отрезе от 10 см до 40 см. В данном случае, чем больше осадка плоских сплотовых единиц, тем больше заключено в их геометрическом объеме древесины. Таким образом, влияние на содержание древесины в геометрическом объеме плоских сплотовых единиц оказывают осадка и коэффициент полндревесности.

На основании приведенных данных в табл. 1 и графиков зависимостей представленных на рис. 2 и 3, можно утверждать, что влияние коэффициента полндревесности на осадку плоских сплотовых единиц и содержание в них древесины присутствует, и для каждого условия имеет индивидуальный характер. При этом с точки зрения эффективности выполнения сплавных работ для установленных условий рационально транспортировать круглые лесоматериалы с диаметром в верхнем отрезе от 10 до 40 см в ПСЕ3, а круглые лесоматериалы с диаметром 41 см и выше – в ПСЕ2. Также должны обязательно учитываться все точки критической осадки плоских сплотовых единиц, где при их возникновении следует уделять особое внимание по обеспечению безопасности выполнения сплавных работ.

### **Список литературы**

1. Патент 2777674 РФ, МПК В65В 35/02, В65G 69/20. Плоская сплотовая единица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, В.В. Абрамов, Е.В. Поздняков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». – № 2021140068; заявл. 30.12.2021; опубл. 08.08.2022, бюл. № 22. – 8 с.



2. Патент 210485 РФ, МПК В 63 В 35/62. Плоская сплottedная единица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, В.В. Абрамов, Е.В. Поздняков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». – № 2021125409; заявл. 19.10.2020; опубл. 18.04.2022, бюл. № 11. – 5 с.
3. Патент 2777676 РФ, МПК В65В 35/02. Плоская сплottedная единица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, В.В. Абрамов, Е.В. Поздняков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». – № 2021140062; заявл. 30.12.2021; опубл. 08.08.2022, бюл. № 22. – 8 с.
4. Васильев В.В. Оценка осадки плоских сплottedных единиц в программе автоматизированного планирования сплава древесины [Электронный ресурс] / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Актуальные проблемы автоматизации, роботизации и управления в технических, организационных, экономических системах: материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей и специалистов и Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых; г. Воронеж, 27 марта и 8 апреля 2025 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛУ», 2025. – С. 40-49. – URL: <https://vglu.ru/nauka/konferencii/2025/vserossijskaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-prepodavatelej-i-specialistov/>.
5. Васильев В.В. Автоматизация планирования первоначального сплава лесоматериалов в плоских сплottedных единицах / В.В. Васильев // Resources and Technology. – 2024. – № 2, Т. 21. – С. 15-31.
6. Васильев В.В. Автоматизированное планирование сплава лесоматериалов в плоских сплottedных единицах / В.В. Васильев // Современные вопросы автоматизации и систем управления в технических, организационных и экономических системах: материалы Национальной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Воронеж, 27 марта 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 13-23. – DOI 10.58168/ACST2023\_13-23.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022685549 РФ. Программа для планирования сплава древесины в плоских сплottedных единицах / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, Е.В. Поздняков; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». – Заявл. 24.12.2022, зарегистрировано 24.12.2022.
8. Васильев В.В. Исследование коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплottedной единицы / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Resources and Technology. – 2025. – № 1, Т. 22. – С. 90-104.
9. Васильев В.В. Экспериментальное определение коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплottedной единицы / В.В. Васильев // Resources and Technology. – 2023. – № 4, Т. 20. – С. 28-44.
10. Васильев В.В. Исследование коэффициента полндревесности плоской сплottedной единицы / В.В. Васильев // Современный лесной комплекс страны: актуальные векторы развития: Материалы Всероссийской научно-практической

конференции, Воронеж, 05 октября 2023 года / Отв. редактор А.А. Платонов. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 166-174. – DOI 10.58168/MFCCA VD\_166-174.

11. Васильев В.В. Обоснование параметров поперечных прокладок усовершенствованной плоской сплочной единицы / В.В. Васильев // Инновационные технологии и технические средства для АПК: матер. междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов; г. Воронеж, 9-10 ноября 2023 года. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – Ч. II. – 2023. – С. 40-48.

### References

1. Patent 2777674 RF, IPC B65B 35/02, B65G 69/20. Flat consolidation unit / V.V. Vasilyev, D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, V.V. Abramov, E.V. Pozdnyakov; applicant and patent holder of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov». – No. 2021140068; applied on December 30, 2021; published on August 8, 2022, Bulletin № 22. – 8 p.

2. Patent 210485 RF, IPC B 63 B 35/62. Flat consolidation unit / V.V. Vasilyev, D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, V.V. Abramov, E.V. Pozdnyakov; applicant and patent holder of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov». – № 2021125409; applied on 19.10.2020; published on 18.04.2022, Bulletin № 11. – 5 p.

3. Patent 2777676 RF, IPC B65B 35/02. Flat consolidation unit / V.V. Vasilyev, D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, V.V. Abramov, E.V. Pozdnyakov; applicant and patent holder of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov». – № 2021140062; applied on December 30, 2021; published on August 8, 2022, Bulletin № 22. – 8 p.

4. Vasiliev V.V. Assessment of precipitation of flat cohesive units in the automated wood alloy planning program [Electronic resource] / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev // Actual problems of automation, robotization and management in technical, organizational, economic systems: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of teachers and Specialists and the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and young scientists; Voronezh, March 27 and April 8, 2025 – Voronezh: VGLTU, 2025. – pp. 40-49. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2025/vserossijskaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-prepodavatelej-i-specialistov/>.

5. Vasiliev V.V. Automation of planning of the initial timber rafting in flat cohesive units / V.V. Vasiliev // Resources and Technology. – 2024. – № 2, vol. 21. – pp. 15-31.

6. Vasiliev V.V. Automated planning of timber rafting in flat rafting units / V.V. Vasiliev // Modern issues of automation and control systems in technical, organizational and economic systems: materials of the National scientific and practical conference of students and young scientists, Voronezh, March 27, 2023. Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2023. – pp. 13-23. – DOI 10.58168/ACST2023\_13-23.

7. Certificate of State Registration of the Computer Program No. 2022685549 of the Russian Federation. Program for Planning the Alloy of Wood in Flat Splitted Units / V.V. Vasilyev, D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, and E.V. Pozdnyakov; applicant and copyright holder of the G.F. Morozov Voronezh State Forestry University. – Applied on December 24, 2022, registered on December 24, 2022.

8. Vasilyev V.V. Research of the Full-Wood Density Coefficient of an Improved Flat Sploitation Unit / V.V. Vasilyev, D.N. Afonichev // Resources and Technology. – 2025. – № 1, Vol. 22. – pp. 90-104.

9. Vasiliev V.V. Experimental determination of the full-wood coefficient of an improved flat cohesive unit / V.V. Vasiliev // Resources and Technology. – 2023. – № 4, Vol. 20. – pp. 28-44.

10. Vasiliev V.V. Study of the coefficient of full-woodiness of a flat raft unit / V.V. Vasiliev // Modern forest complex of the country: current development vectors: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, October 5, 2023 / Responsible. editor A.A. Platonov. - Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2023. – pp. 166-174. – DOI 10.58168/MFCCA VD\_166-174.

11. Vasilyev V.V. Substantiation of Parameters of Transverse Gaskets of the Improved Flat Unit / V.V. Vasilyev // Innovative Technologies and Technical Means for the Agro-Industrial Complex: Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists; Voronezh, November 9-10, 2023. – Voronezh: Voronezh State Agrarian University. – Part II. – 2023. – pp. 40–48.



**ЗНАЧЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АМОРФНОГО  
ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА ДЛЯ ТЕМПЕРАТУР ФОРМОВАНИЯ  
ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА**

**Ганиева Э.Н., Ермоченков М.Г.**

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи,  
Россия*

**VALUE OF THERMOMECHANICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS  
POLYVINYL CHLORIDE FOR MOLDING TEMPERATURES  
OF WOOD-POLYMER COMPOSITE**

**Ganieva E.N., Ermochenkov M.G.**

*Mytishchi branch of N.E. Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi,  
Russia*

*Аннотация:* В исследовании выполнен анализ термических свойств композита с аморфным полимером. Изучена термическая стабильность и механические характеристики древесно-полимерного композита на основе поливинилхлорида при разных температурах. Результаты показывают важность учёта термомеханических свойств ДПК при разработке и оптимизации технологий формовки изделий из данного материала.

*Abstract:* The study analyzes the thermal properties of amorphous polymer composite. The thermal stability and mechanical characteristics of wood-polymer composite based on polyvinyl chloride at different temperatures were studied. The results show the importance of taking into account the thermomechanical properties of WPC in the development and optimization of molding technologies for products made of this material.

*Ключевые слова:* динамический термомеханический анализ (ДТМА), коэффициент температурного линейного расширения (КТЛР), древесно-полимерный композит (ДПК), поливинилхлорид (ПВХ), тангенс угла механических потерь ( $\tan \delta$ ).

*Keywords:* dynamic thermomechanical analysis (DTMA), coefficient of linear thermal expansion (CTLE), wood-polymer composite (WPC), polyvinylchloride (PVC), tangent of the angle of mechanical loss ( $\tan \delta$ ).

Древесно-полимерные композиты на основе аморфного поливинилхлорида применимы в строительстве, судостроении и автомобильной отрасли благодаря высокой прочности, стойкости к погодным условиям и возможности переработки. Для эффективного формования изделий важно точно установить допустимый температурный режим, обеспечивающий нужную пластичность при сохранении формы материала [1, 2].

Целью работы является определение оптимальных температурных условий формования древесно-поливинилхлоридного композита с использованием комплексного анализа их термомеханических характеристик методами ДТМА и КТЛР.

#### Методы и материалы.

Проведено исследование ДПК на основе поливинилхлорида методом ДТМА для оценки вязкоупругих свойств при испытании на трехточечный изгиб образцов по ГОСТ 57916-2017 ч. 5 (ISO 6721-5:1996), а также определением КТЛР материалов в соответствии с требованиями ГОСТ 32618.1-2014 (ISO 11359-1:1999) и ГОСТ 32618.2-2014 (ISO 11359-2:1999) на термомеханическом анализаторе серии ТМА модификации ТМА Q400 производства компании TA Instruments. Исследованный материал включает 52 % древесной муки в сочетании с поливинилхлоридом. Для измерения теплового расширения изготовили образцы (3 шт.) размерами 6,0×6,0×6,0 мм на отрезном станке. Для испытания на изгиб по методу ДТМА аналогичным образом изготовили образцы (3 шт.) размерами 2,5×0,5×15,0 мм. К образцу автоматически прикладывалась предварительная нагрузка заранее установленной величины. При исследовании теплового расширения измерительная нагрузка составляла 0,005 Н, а темп нагрева 1 °С/мин. Во время испытаний на изгиб была установлена постоянная составляющая нагрузка в 0,020 Н, а переменная нагрузка составила 0,015 Н. Нагрев производили со скоростью 1,5 °С/мин. После этого прибор измерил длину образца и сохранил полученное значение. В эксперименте получили кривые изменения размеров и вязкоупругих свойств материала с ростом температуры. Управление прибором и обработка экспериментальных данных осуществляется с помощью программного обеспечения Universal Analysis. Результаты исследований методом КТЛР отображены на рис. 1, а показатели ДТМА на рис. 2.

Анализ влияния температуры на термостойкость древесно-поливинилхлоридного композита позволил установить, что формование при 60°С исключено из-за высокой жёсткости (модуль упругости 948 МПа) и низкой пластичности ( $\tan \delta=0.174$ ), провоцирующее растрескивание материала. Диапазон 70–80°С является технологически оптимальным и подтверждается результатами термогравиметрического анализа композита [0]. Пик пластичности ( $\tan \delta=0.3918$  при 71°С). Модуль упругости 152–315 МПа обеспечивает гибкость без потери структурной целостности, а  $\tan \delta=0.24–0.39$  гарантирует пластичность для сложных деформаций. Стабильный КТЛР ( $0.77–0.83 \times 10^{-4} \text{°C}^{-1}$ ) минимизирует усадочные дефекты. При 90°С формование невозможно: критическое падение модуля упругости (102 МПа) ведёт к потере формы, а дехлорирование ПВХ вызывает химическую деградацию. Данные указаны в табл. 1.

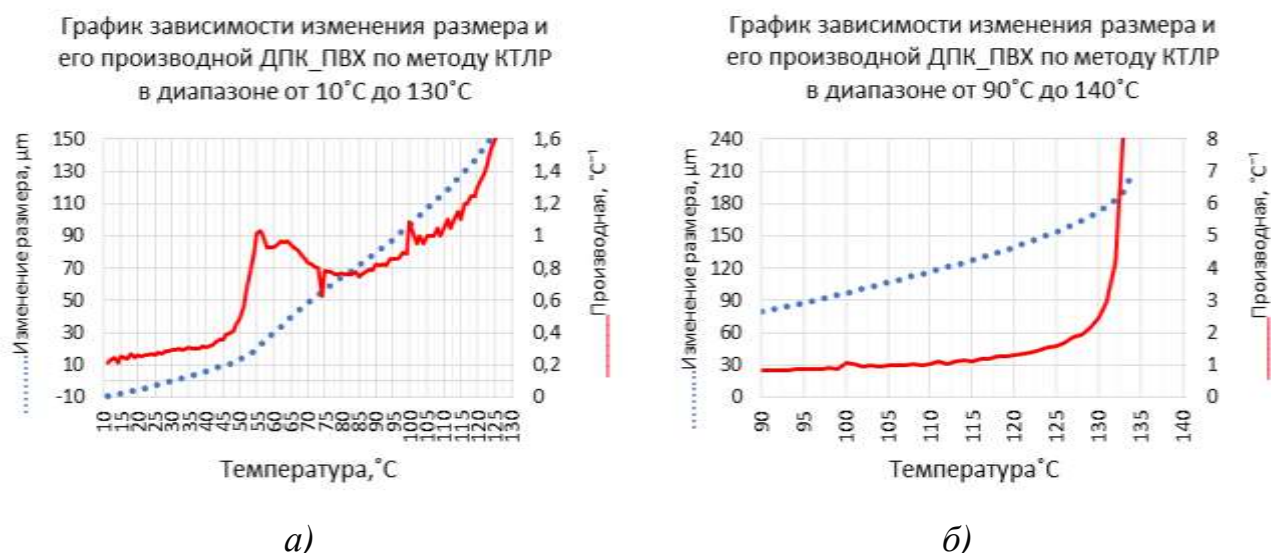


Рисунок 1 – Результаты по методу определения коэффициента термического линейного расширения древесно-поливинилхлоридного композита в диапазоне температур от 10°C до 130°C (а) и от 90°C до 140°C (б).



Рисунок 2 – Результаты по динамическому термомеханическому анализу древесно-поливинилхлоридного композита.

Таким образом, для древесно-полимерных композитов на основе аморфного поливинилхлорида критически важен точный контроль температуры формирования из-за уникальных реологических особенностей. Аморфная структура полимера обуславливает резкий переход через зону стеклования без четкой точки плавления, формируя экстремально узкое технологическое окно. В этом диапазоне достигается оптимальный баланс пластичности и структурной целостности: ниже его материал проявляет хрупкость, выше – необратимо деградирует с выделением токсичных продуктов.

Таблица 1 – Таблица значений допустимых температур при формовании поверхностей из древесно-поливинилхлоридного композита.

Темпе- ратура	Tan $\delta$	Модуль упруго- сти, МПа	КТЛР, $10^{-4}$ С $^{-1}$	Формование
60 °С	0,174	948	0,93	Невозможно из-за высокого модуля упругости и появления трещин
70–80 °С	0,24– 0,39	152–315	0,77– 0,83	Формование возможно, оптимальные значения модуля упругости и угла механических потерь
90 °С	0,172	102	0,86	Невозможно из-за низкого модуля упругости и дехлорирования

Отсутствие кристаллической фазы исключает плато размягчения, типичное для полукристаллических полимеров, усиливая зависимость свойств от минимальных температурных колебаний. Результаты подтверждают, что успешное формование аморфных композитов требует строгого соблюдения реологического коридора.

### Список литературы

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of wood-polymer composites (WPC): A review and research proposal on thermo-physical and geometric design options using hot-pressing / D. Friedrich // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Vol. 80, № 1. – pp. 7-21.
2. Блазнов А.Н. Анализ методов термомеханических испытаний композитных материалов и сравнение результатов / А.Н. Блазнов, Е.В. Атясова, В.В. Самойленко // Южно-Сибирский научный вестник. – 2017. – № 1(17). – С. 54-69.
3. Ганиева Э.Н. Кинетика термического разложения древесно-полимерных композитов / Э.Н. Ганиева, М.Г. Ермоченков, М.Ю. Кладов // Системы. Методы. Технологии. – 2025. – № 2(66). – С. 143-149. – DOI 10.18324/2077-5415-2025-2-143-149.

### References

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of wood-polymer composites (WPC): A review and research proposal on thermo-physical and geometric design options using hot-pressing / D. Friedrich // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Vol. 80, № 1. – pp. 7-21.
2. Blaznov A.N. Analysis of thermomechanical testing methods of composite materials and comparison of results / A.N. Blaznov, E.V. Atyasova, V.V. Samoylenko // South Siberian Scientific Bulletin. – 2017. – № 1(17). – pp. 54-69.
3. Ganieva E.N. Kinetics of thermal decomposition of wood-polymer composites / E.N. Ganieva, M.G. Ermochenkova, M. Kladov // Systems. Methods. Technologies. – 2025. – № 2(66). – pp. 143-149. – DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-143-149.

**УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ФОРМОВАНИЯ  
ДРЕВЕСНО-ПОЛИПРОПИЛЕНОВОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ  
АНАЛИЗА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

**Ганиева Э.Н., Ермоченков М.Г.**

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
г. Мытищи, Россия*

**ESTABLISHMENT OF OPTIMAL MOLDING TEMPERATURES OF  
WOOD-POLYPROPYLENE COMPOSITE BASED ON THE ANALYSIS OF  
THERMOMECHANICAL PROPERTIES**

**Ganieva E.N., Ermochenkov M.G.**

*Mytishchi branch of N.E. Bauman Moscow State Technical University,  
Mytishchi, Russia*

*Аннотация:* В исследовании выполнен анализ термической стабильности и механических характеристик древесно-полимерного композита на основе полипропилена при разных температурах. Результаты показывают важность учёта термомеханических свойств ДПК при разработке технологий формовки изделий, позволяя прогнозировать поведение материала, минимизировать дефекты изделий и повышать стабильность технологического процесса.

*Abstract:* The study analyzes the thermal stability and mechanical characteristics of wood-polymer composite based on polypropylene at different temperatures. The results show the importance of taking into account the thermomechanical properties of WPC in the development of product molding technologies, allowing to predict the behavior of the material, minimize product defects and increase the stability of the technological process.

*Ключевые слова:* динамический термомеханический анализ (ДТМА), коэффициент температурного линейного расширения (КТЛР), древесно-полимерный композит (ДПК), полипропилен (ПП), тангенс угла механических потерь ( $\tan \delta$ ).

*Keywords:* dynamic thermomechanical analysis (DTMA), coefficient of linear thermal expansion (CTLE), wood-polymer composite (WPC), polypropylene (PP), tangent of the angle of mechanical loss ( $\tan \delta$ ).

Древесно-полимерный композит на основе полипропилена применяются в строительстве, мебели и автопроме благодаря прочности и атмосферостойкости. Полипропиленовая матрица обеспечивает термостойкость и химическую инертность, повышая долговечность. Ключевой фактор успешного формования является точный контроль температуры, обеспечивающий пластичность, ста-

бильность геометрии изделий, снижение напряжений и улучшение эксплуатационных свойств [1,2].

Целью работы является определение оптимальных температурных условий формования древесно-полипропиленового композита с использованием комплексного анализа их термомеханических характеристик методами ДТМА и КТЛР.

Методы и материалы.

Проведено исследование ДПК на основе полипропиленовой матрицы методом ДТМА для оценки вязкоупругих свойств при испытании на трехточечный изгиб образцов по ГОСТ 57916-2017 ч. 5 (ISO 6721-5:1996), а также определением КТЛР материалов в соответствии с требованиями ГОСТ 32618.1-2014 (ISO 11359-1:1999) и ГОСТ 32618.2-2014 (ISO 11359-2:1999) на термомеханическом анализаторе серии ТМА модификации ТМА Q400 производства компании TA Instruments. Исследованный материал включает 55 % древесной муки в сочетании с полипропиленом (ПП) Для измерения теплового расширения изготовили образцы (3шт.) размерами 6,0×6,0×6,0 мм на отрезном станке. Для испытания на изгиб по методу ДТМА аналогичным образом изготовили образцы (3шт.) размерами 2,5×0,5×15,0 мм. К образцу автоматически прикладывалась предварительная нагрузка заранее установленной величины. При исследовании теплового расширения измерительная нагрузка составляла 0,005 Н, а темп нагрева 1 °С/мин. Во время испытаний на изгиб была установлена постоянная составляющая нагрузка в 0,020 Н, а переменная нагрузка составила 0,015 Н. Нагрев производили со скоростью 1,5 °С/мин. После этого прибор измерил длину образца и сохранил полученное значение. В эксперименте получили кривые изменения размеров и вязкоупругих свойств материала с ростом температуры. Управление прибором и обработка экспериментальных данных осуществляется с помощью программного обеспечения Universal Analysis. Результаты исследований методом КТЛР отображены на рис. 1, а показатели ДТМА на рис. 2.

Исследование ключевых температурных переходов ДПК\_ПП определило границы применимого диапазона для поверхностного формования. Установлена возможность сверхскоростного нагрева до температуры плавления (160°С) без признаков термодеструкции, что подтверждается результатами термогравиметрического анализа композита [3], обеспечивая контролируемое формование при сохранении структурной целостности композита. Оптимальные технологические окна сформированы в зависимости от применяемого способа и целевых параметров формования. Данные указаны в табл. 1.

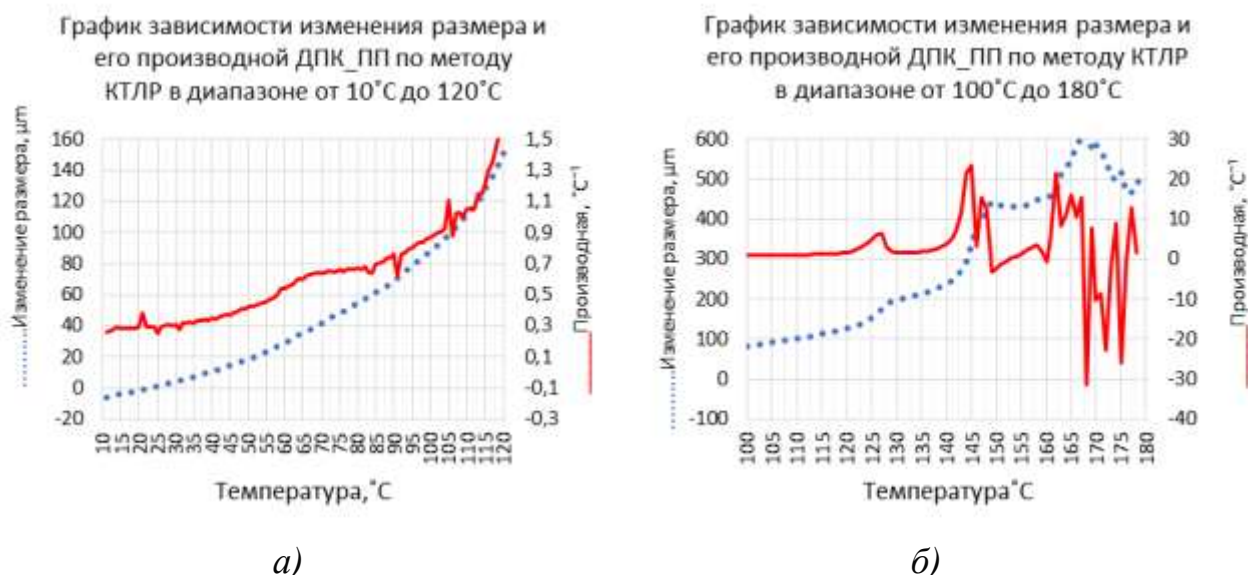


Рисунок 1 – Результаты по методу определения коэффициента термического линейного расширения древесно-полипропиленового композита в диапазоне температур от 10°C до 120°C (а) и от 100°C до 180°C (б)



Рисунок 2 – Результаты по динамическому термомеханическому анализу древесно-полипропиленового композита

Полученные данные помогают определить оптимальные режимы нагрева и охлаждения, что способствует улучшению качества изделий за счёт снижения внутренних напряжений. Результаты могут применяться в технологических процессах при разработке формовочной оснастки и выборе типа полимерной матрицы, а также позволяют установить допустимый температурный диапазон для термоформования. Кроме того, подтверждается, что каждый полимерный композит имеет уникальные температурные и реологические характеристики, зависящие от его состава.

Таблица 1 – Таблица значений допустимых температур при формировании поверхностей из древесно-полипропиленового композита.

Температура (°C)	Tan $\delta$	Модуль упругости (МПа)	КТЛР ( $\times 10^{-4}$ °C $^{-1}$ )	Формование
60	0,056	1277	2,821	Высокая жёсткость, низкая пластичность. Формование невозможно.
70-80	0,067 - 0,078	1140-1016	4,019 - 5,323	Начало размягчения. Риск неполного формования.
90-110	0,09-0,125	902 -676	6,7-10,18	Оптимальный. Пластичность хорошая (tan $\delta > 0.1$ ), модуль снижен. Подходит для многих операций формования.
120-130	0,153 - 0,227	558 - 267	12,64 - 19,72	Максимальная пластичность. Модуль резко падает после 120°C. Формование теряет стабильность
140-160	0,223-0,646	220- 19.55	23,78 - 45,77	Формование возможно только при кратковременном нагреве.

### Список литературы

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of wood-polymer composites (WPC): A review and research proposal on thermo-physical and geometric design options using hot-pressing / D. Friedrich // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Vol. 80, № 1. – pp. 7-21.
2. Блазнов А.Н. Анализ методов термомеханических испытаний композитных материалов и сравнение результатов / А.Н. Блазнов, Е.В. Атясова, В.В. Самойленко // Южно-Сибирский научный вестник. – 2017. – № 1(17). – С. 54-69.
3. Ганиева Э.Н. Кинетика термического разложения древесно-полимерных композитов / Э.Н. Ганиева, М.Г. Ермоченков, М.Ю. Кладов // Системы. Методы. Технологии. – 2025. – № 2(66). – С. 143-149. – DOI 10.18324/2077-5415-2025-2-143-149.

### References

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of wood-polymer composites (WPC): A review and research proposal on thermo-physical and geometric design options using hot-pressing / D. Friedrich // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Vol. 80, № 1. – pp. 7-21.
2. Blaznov A.N. Analysis of thermomechanical testing methods of composite materials and comparison of results / A.N. Blaznov, E.V. Atyasova, V.V. Samoylenko // South Siberian Scientific Bulletin. – 2017. – № 1(17). – pp. 54-69.
3. Ganieva E.N. Kinetics of thermal decomposition of wood-polymer composites / E.N. Ganieva, M.G. Ermochenkova, M. Kladov // Systems. Methods. Technologies. – 2025. – № 2(66). – pp. 143-149. – DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-143-149



## **СУЩЕСТВУЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИСКОВЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ АКТИВНОГО ТИПА**

**Гончаров Д.А., Зимарин С.В., Князев А.Г.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

## **EXISTING DESIGNS OF ACTIVE-TYPE DISK MAIL PROCESSING TOOLS.**

**Goncharov D.A., Zimarin S.V., Knyazev A.G.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* В настоящее время учёные активно исследуют различные методы обработки почвы. Среди множества инструментов дисковые орудия показывают лучшие результаты по сравнению с лемешными. Благодаря усовершенствованиям дисковых рабочих органов удаётся улучшить качество обработки земли. Также это помогает оптимизировать конструктивные и тяговые характеристики лесохозяйственных орудий

*Ключевые слова:* предохранительные устройства, гидропривод, дисковый плуг, вырубки, диск с вырезами, обработка почвы

*Abstract:* Currently, scientists are actively researching various methods of tillage. Among the many tools, disc tools show the best results compared to ploughshares. Thanks to the improvements of the disk working bodies, it is possible to improve the quality of land cultivation. It also helps to optimize the design and traction characteristics of agricultural implements.

*Keywords:* safety devices, hydraulic drive, disc plough, cutting, cut-out disk, tillage.

В лесной отрасли одна из главных задач – восстановить леса после вырубки или стихийных бедствий. Для улучшения качества лесовосстановительных работ необходимо разработать современные образцы орудий для обработки почвы.

В работе [1] А.Б. Кудзаев изучил предложения производителей сельскохозяйственной техники и обнаружил, что многие модели плугов для работы на каменистых почвах оснащены разными типами защитных механизмов. Наиболее перспективными считаются предохранители в виде пневмобаллонов или пневмокамер, так как они экологически безопасны и легко регулируются.

В исследовании [2] А.Б. Кудзаев, Т.А. Уртаев и другие учёные выявили недостатки существующих решений, предложив способ их модернизации с использованием современных синтетических и композитных материалов.

И.Н. Шило рассмотрел применение механического предохранителя при использовании чизельных орудий, например, глубокорыхлитель РЦП-3 представленный на рис. 1, для почв, засоренных камнями. Для обеспечения надёжной работы на таких почвах применяются предохранительные механизмы, которые позволяют поддерживать постоянный уровень глубины обработки и стабильность хода орудия [3].

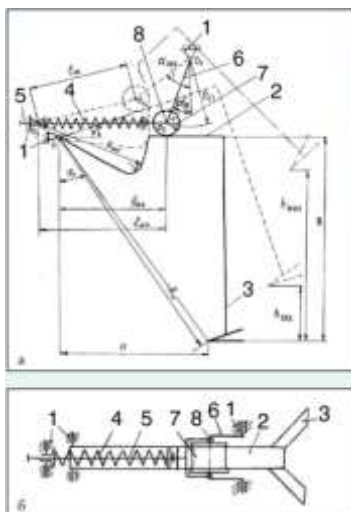


Рисунок 1 – Глубокорыхлитель: а – вид сбоку, б – вид сверху

Посметьев В.И. описал виды и классификацию предохранительных механизмов [4], отметив, что все средства защиты почвообрабатывающих орудий (рис. 2) от перегрузок можно разделить на амортизаторы и предохранительные механизмы рабочих органов.

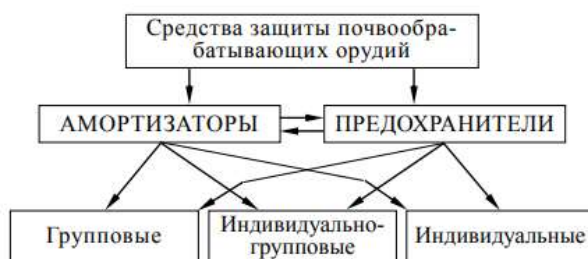


Рисунок 2 – Иерархическая структура средств защиты почвообрабатывающих орудий от перегрузок

По функциональным возможностям предохранительные механизмы (ПМ) можно разделить на две основные группы – полуавтоматические (одностороннего) и автоматические (двухстороннего действия), что показано на рис. 3 [4-5].



Рисунок 3 – Виды предохранителей по функциональным возможностям

В работе [6] П.И. Попиков, И.Н. Журавлёв и С.В. Пономарев разработали математическую модель процесса фрезерования и создали новые конструкции лесных фрез с гидроприводом (рис. 4). Экспериментальные исследования показали, что на лесных фрезах с гидроприводом целесообразно применять комбинированную защиту рабочих органов с помощью гидравлических и фрикционных предохранителей.

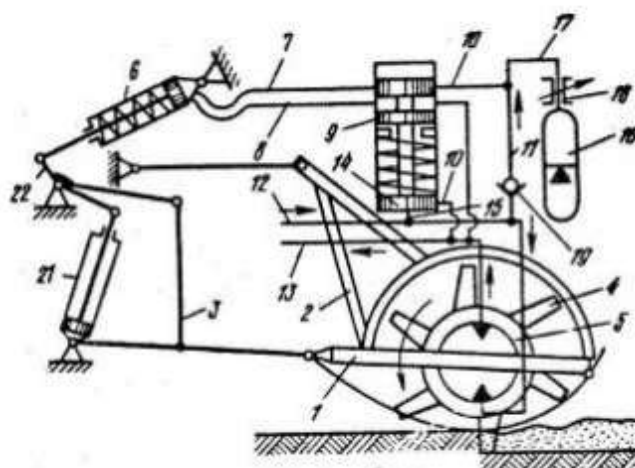


Рисунок 4 – Лесная фреза с гидроприводом (а.с. № 978745):

В ВГЛТА создана фрезерная машина для дополнительной обработки почвы на вырубках с пониженными пнями, защищенная двумя патентами на полезную модель. Передача энергии от трактора производится за счет механического привода с двухпоточным предохранителем (рис. 5).

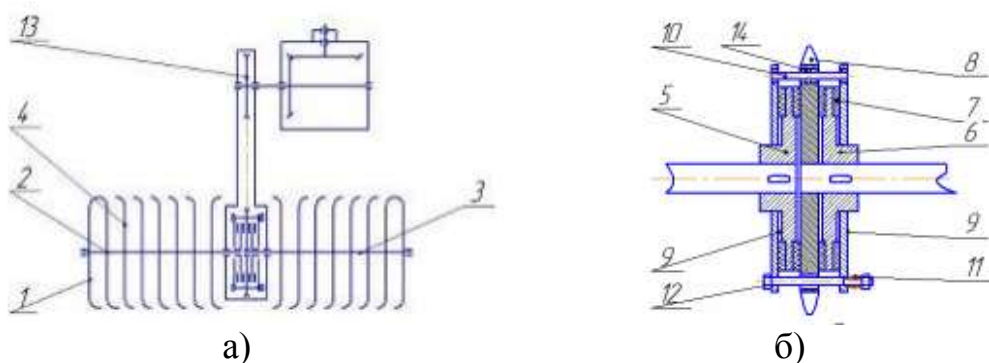


Рисунок 5 – Конструктивно-технологическая схема лесной фрезерной машины с двухпоточным предохранительным устройством с центральным приводом (рис. 5, а) и двухпоточный предохранитель (рис. 5, б):

Нами был разработан лесной дисковый плуг с гидроприводом рабочих органов представленный на рис. 6, имеющий предохранительно-догружающее устройство. Этот плуг обеспечивает качественную обработку почвы на вырубках и защищает задние диски при их контакте с препятствиями [7]. Необходимо проведение дальнейших исследований для обоснования параметров гидравлических предохранительных механизмов вырезных дисковых рабочих органов.

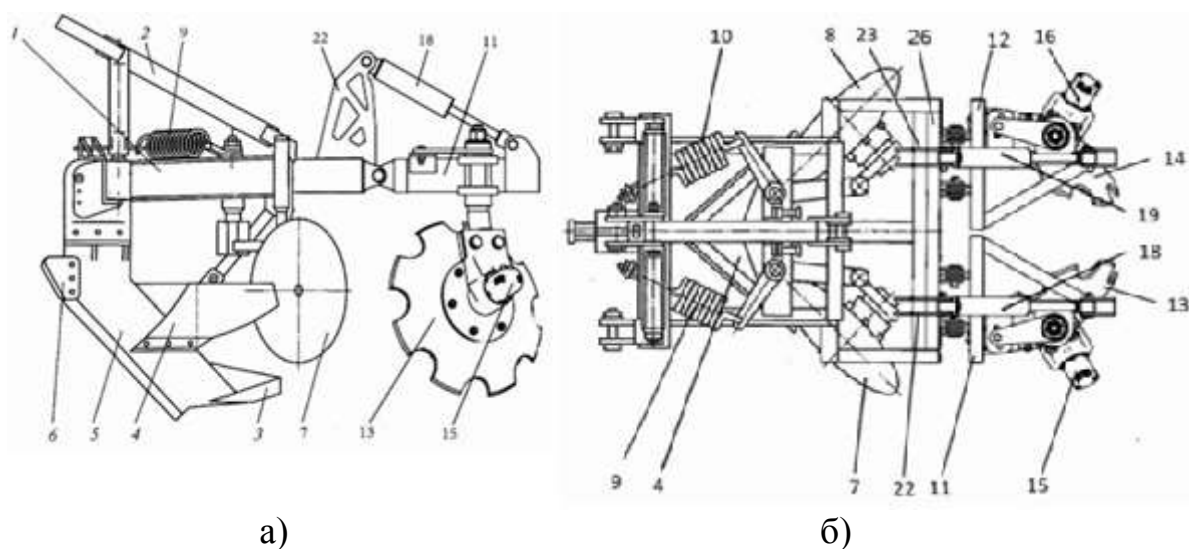


Рисунок 6 – Лесной дисковый плуг с гидроприводом рабочих органов (пат. RU 2817856 С1), а) вид слева, б) вид сверху

### Список литературы

1. Результаты лабораторных исследований пневматической предохранительной системы плуга / А.Б. Кудзаев, Д.В. Цгоев, Т.А. Уртаев [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 53, № 3. – С. 111-121.
2. Исследование экспериментальной секции оборотного плуга с рессорным предохранителем и ползуном / А.Б. Кудзаев, Т.А. Уртаев, Д.В. Цгоев [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 54, № 4. – С. 119-125.

3. Шило И.Н. Механический предохранитель рабочего органа машины для обработки почвы / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, В.А. Агейчик // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 1. – С. 30-33.
4. Посметьев В.И. Методика теоретического обоснования конструкции приспособления к навесному устройству трактора при его агрегатировании с лесными дисковыми орудиями / В.И. Посметьев, В.В. Посметьев, М.А. Латышева // Воронежский научно-технический Вестник. – 2015. – Т. 4, № 3-3(13). – С. 11-31. – DOI 10.12737/14006.
5. Основные причины недостаточной эффективности лесных почвообрабатывающих агрегатов и пути ее повышения / В.И. Посметьев, В.А. Зеликов, М.А. Латышева [и др.] // Воронежский научно-технический Вестник. – 2015. – Т. 4, № 3-3(13). – С. 45-59. – DOI 10.12737/14008.
6. Попиков П.И. Совершенствование систем приводов лесных фрезерных машин за счет упругодемпфирующих элементов / П.И. Попиков, И.Н. Журавлев, С.В. Пономарев // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 1(9). – С. 146-155.
7. Лесной дисковый плуг с гидроприводом рабочих органов: патент на изобретение RU 2817856 C1. Заявка №2023136335 / Драпалюк М.В., Попиков П.И., Князев А.Г., Поздняков Е.В., Гончаров Д.А.; заявл. 30.12.2023; опубл. 22.04.2023, Бюл. №12. 7 с.

### References

1. Results of laboratory studies of the pneumatic safety system of a plow / A.B. Kudzaev, D.V. Tsgoev, T.A. Urtaev [et al.] // Bulletin of the Gorsk State Agrarian University. – 2016. – Vol. 53, № 3. – pp. 111-121.
2. Study of the experimental section of a reversible plow with a spring safety device and a runner / A.B. Kudzaev, T.A. Urtaev, D.V. Tsgoev [et al.] // Bulletin of the Gorsk State Agrarian University. – 2017. – Vol. 54, № 4. – pp. 119-125.
3. Shilo I.N. Mechanical safety device of the working element of a soil cultivation machine / I.N. Shilo, N.N. Romanyuk, V.A. Ageychik // Agricultural Machinery and Technologies. – 2014. – № 1. – pp. 30-33.
4. Posmetev V.I. Methodology of theoretical substantiation of the design of an attachment to a tractor hitch when it is aggregated with forest disk implements / V.I. Posmetev, V.V. Posmetev, M.A. Latysheva // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2015. – Vol. 4, № 3-3(13). – pp. 11-31. – DOI 10.12737/14006.
5. The main reasons for the insufficient efficiency of forest tillage units and ways to improve it / V.I. Posmetev, V.A. Zelikov, M.A. Latysheva [et al.] // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2015. – V. 4, № 3-3(13). – pp. 45-59. – DOI 10.12737/14008.
6. Popikov P.I. Improvement of drive systems of forestry milling machines due to elastic damping elements / P.I. Popikov, I.N. Zhuravlev, S.V. Ponomarev // Forestry Engineering Journal. – 2013. – № 1(9). – pp. 146-155.
7. Forestry disc plow with hydraulic drive of working bodies: patent for invention RU 2817856 C1. Application No. 2023136335 / Drapalyuk M.V., Popikov P.I., Knyazev A.G., Pozdnyakov E.V., Goncharov D.A.; declared 30.12.2023; published 22.04.2023, Bulletin № 12. 7 p.

**ЗАКОН АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДВИЖЕНИЯ  
ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ**

**Клубничкин В.Е.**

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
г. Мытищи, Россия*

**THE LAW OF AUTOMATED MOVEMENT OF A SKIDDING  
MACHINE ALONG A GIVEN TRAJECTORY**

**Klubnichkin V.E.**

*Mytishchi branch of N.E. Bauman Moscow State Technical University,  
Mytishchi, Russia*

*Аннотация:* Представлен закон автоматизированного движения трелевочной машины, обеспечивающий энергоэффективную и безопасную трелевку пачки деревьев по заданной траектории без участия оператора. Закон описывает алгоритм управления поворотом машины, учитывающий ее габариты, длину пачки и геометрию волока для предотвращения выезда за его пределы. Траектория движения задается последовательностью точек и корректируется в реальном времени на основе данных спутникового позиционирования и систем распознавания окружающей обстановки.

*Abstract:* The law of automated movement of a skidding machine is presented, which ensures energy-efficient and safe skidding of a stack of trees along a given trajectory without operator involvement. The law describes an algorithm for controlling the rotation of a machine, taking into account its dimensions, the length of the bundle and the geometry of the portage to prevent it from going beyond its limits. The trajectory is set by a sequence of points and adjusted in real time based on satellite positioning data and environmental recognition systems.

*Ключевые слова:* автоматизированное управление, траектория движения, беспилотная трелевочная машина, энергоэффективность, экологическая безопасность.

*Keywords:* automated control, motion trajectory, unmanned skidding machine, energy efficiency, environmental safety.

Современное лесозаготовительное производство характеризуется активным внедрением принципов Индустрии 4.0, ключевыми из которых являются автоматизация и роботизация технологических процессов [1-3]. Одним из перспективных направлений является разработка коллаборативных систем, где часть операций выполняется техникой автономно, а другая часть под управлением оператора, что позволяет оптимизировать логистику на лесосеке, повысить общую производительность и безопасность труда [4, 5]. В рамках такой

модели возникает критическая необходимость в создании надежных алгоритмов для полностью автономного движения машин, таких как беспилотных трелевочных машин (БПТМ), по сложным траекториям в условиях реальной лесосеки [6, 7].

Данный закон представляет собой элемент системы управления поворотом БПТМ, обеспечивающий энергоэффективное и безопасное движение с пачкой деревьев в полупогруженном положении по заданному пути волока без участия оператора.

Траектория движения БПТМ задана точками  $T_i$ , расположенными по центру волока. Машина должна последовательно перемещаться из точки  $T_0$  в  $T_1$ , затем в  $T_2$ ,  $T_3$  и так далее (рис. 1). Считается, что этап завершен, когда центр масс БПТМ  $C$  достигает очередной целевой точки. После этого система управления переключает направление движения к следующей точке.

Координаты всех точек заданы в виде  $(x_i; y_i)$ , а расстояние между ними  $\Delta S_i$  вычисляется по формуле:

$$\Delta S_i = \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (x_i - x_{i-1})^2}, \quad (1)$$

Рассматриваемое движение по центру волока характерно для движения порожней БПТМ или БПТМ с сортиментами в полностью груженом состоянии.

Однако при трелевке пачки деревьев по участку волока, характеризуемым определенным радиусом поворота, необходимо исключать движение пачки вне волока, для этого необходимо, чтобы БПТМ двигалась по внешнему радиусу ( $R_4^n$ ) поворота волока без выезда за его приделы, таким образом для БПТМ с пачкой деревьев необходимо осуществлять последовательное перемещение из точки  $T_1$ , в точку  $T_2^n$ , далее в  $T_3^n$ ,  $T_4^n$  и т. д. (рис. 1).

В этом случае расстояние между точками  $\Delta S_i$  для II, III и IV участков волока может быть найдено выражениям представленными ниже.

С целью исключения выезда конца пачки деревьев за пределы волока при подъезде БПТМ к повороту необходимо обеспечить выравнивание пачки вдоль продольной оси машины. Для этого на участке II осуществляется перемещение БПТМ с пачкой из центра ( $T_1$ ) волока к краю ( $T_2^n$ ) на величину  $k_n$ .

$$k_n = \frac{b}{2} - \frac{B_{\text{БПТМ}}}{2}, \quad (2)$$

где  $b$  – ширина волока ( $b = B_{\text{БПТМ}} + 1,5 \cdot 2$ ), минимальная ширина волока составляет 5 м;

$B_{\text{БПТМ}}$  – ширина БПТМ.

$$\Delta S_2^n = \sqrt{(y_i - (y_{i-1} - k_n))^2 + (x_i - (x_i + k_n \cdot 2))^2}, \quad (3)$$



Участок III характеризуется прямолинейным движением БПТМ вдоль края волока от точки  $T_2^n$  к началу поворота ( $T_3^n$ ). Длина данного участка ( $L_{TC}$ ) определяется общей длиной БПТМ ( $L_{БПТМ}$ ) с пачкой деревьев ( $L_{\Pi}$ ).

$$L_{TC} = L_{БПТМ} + L_{\Pi} \quad (4)$$

$$\Delta S_3^n = \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + L_{TC}^2} \quad (5)$$

На криволинейном участке (IV) волока точки координат ( $x_i^n$ ;  $y_i^n$ ) и расстояние между ними  $\Delta S_i^n$  может быть найдено:

$$\Delta S_i^n = \sqrt{[(y_i^n - k_{\Pi}) - (y_{i-1}^n - k_{\Pi} \cdot 0,7)]^2 + [x_i^n - (x_{i-1}^n + k_{\Pi} \cdot 0,7)]^2}, \quad (6)$$

При перемещении между точками траектория центра масс БПТМ  $C$  должна представлять собой кривую радиусом  $R$ :

$$R_i \approx \frac{\Delta S_i}{\Delta \theta}, \quad (7)$$

где  $\Delta \theta$  – угол между осью симметрии БПТМ и отрезком, соединяющим две соседние точки.

Данный угол вычисляется по формуле:

$$\Delta \theta = \arcsin \frac{y_i - y_{i-1}}{\Delta S_i} - \theta_{M_0}, \quad (8)$$

где  $\theta_{M_0}$  – текущий угол поворота корпуса БПТМ относительно оси  $X$  неподвижной системы координат.

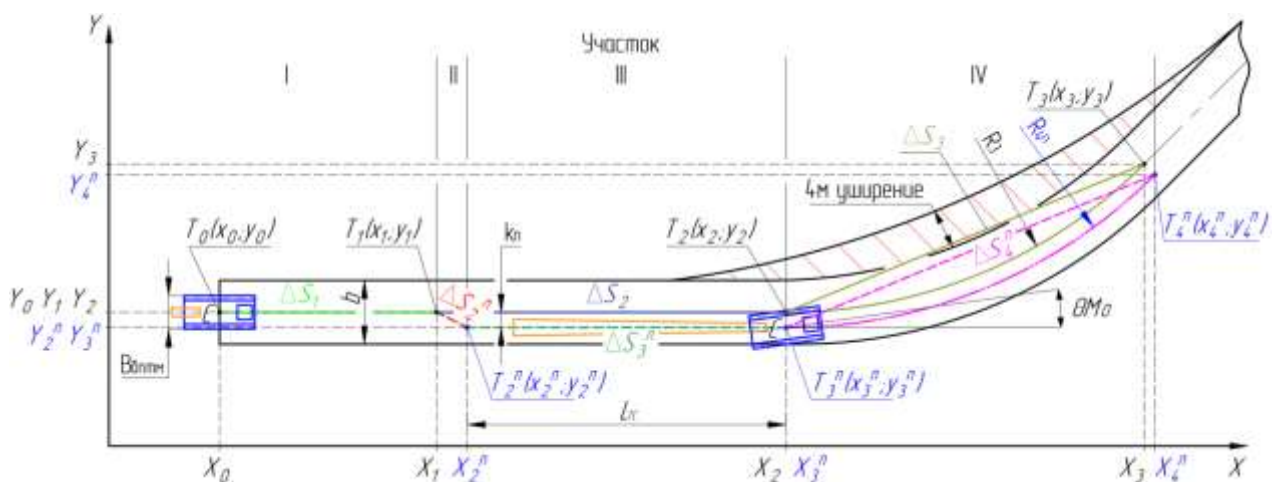


Рисунок 1 – Схема движения БПТМ с пачкой деревьев по заданной траектории



Электронный блок управления БПТМ непрерывно рассчитывает траекторию на основе приведенных уравнений при переходе от одной точки к следующей.

Координаты пути движения БПТМ можно фиксировать с помощью ГЛОНАСС/GPS-оборудования, записывая их в выбранной системе координат. Эта траектория будет использоваться в качестве эталонной при повторных проходах машины по трелевочному волоку. Движение по траектории должно осуществляться с минимальными отклонениями от нее и с высокой энергоэффективностью при этом определяется и фиксируется скоростной режим по пути с учетом ограничений по безопасности и кривизна пути.

На основе информации, получаемой от систем распознавания условий движения, в траекторию маршрута вносятся корректировки с целью повышения экологической безопасности при выполнении маневров на лесосеке, направленные на предотвращение выезда БПТМ за пределы волока.

### **Вывод**

Разработанный закон управления позволяет реализовать полностью автоматизированное движение БПТМ с пачкой деревьев по заданному волоку, что повышает безопасность и энергоэффективность процесса трелевки. Ключевым аспектом закона является адаптация траектории движения машины (смещение от центра волока на внешний радиус поворота) для учета габаритов состава «машина-пачка», что исключает повреждение окружающего лесного массива и обеспечивает экологическую безопасность. Практическая реализация алгоритма основана на непрерывном расчете координат и поправок к курсу между точками пути с использованием спутниковых систем навигации (ГЛОНАСС/GPS), что обеспечивает высокую точность следования по эталонной траектории при повторных проходах.

### **Список литературы**

1. Клубничкин В.Е. Краткий анализ тенденций развития лесозаготовительных машин / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.Б. Карташов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. № 3 (130). С. 93–102.
2. Клубничкин В.Е. Автоматизация технологических процессов лесозаготовительной машины / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, Д.И. Рогачев // Научно-технический вестник Поволжья. - 2021. - № 12. - С. 114-117.
3. Рогачев Д.И. Развитие Отечественной робототехники в лесной отрасли / Д.И. Рогачев, И.В. Козлов // Студенческий вестник. – 2020. – № 1-6(99). – С. 22-23.
4. Клубничкин В.Е. Коллаборативная технология трелевки древесины / В.Е. Клубничкин // В сборнике: Современный лесной комплекс страны: проблемы и тренды развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редактор А.А. Платонов. Воронеж, 2022. С. 26-31.
5. Клубничкин В.Е. Формирование облика гусеничных беспилотных трелевочных машин / В.Е. Клубничкин // Материалы XX Международной научно-технической конференции. «Актуальные проблемы развития лесного комплекса». – Вологда: ВГУ, 2022. С. 287-291.
6. Редькин А.К. Технология и оборудование лесозаготовок: учеб.пособие /

А.К. Редькин. – М: МГУЛ, 2010. 178 с.

7. Запруднов В.И. Технологии и технические средства процессов лесосечных работ / В.И. Запруднов, С.П. Карпачев, М.А. Быковский // Лесной вестник. 2017. Т. 21. № 1. С. 108–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-108-117

### References

1. Klubnichkin V.E. Brief analysis of trends in the development of logging machines / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.B. Kartashov // Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseev. 2020. № 3 (130). pp. 93–102.

2. Klubnichkin V.E. Automation of technological processes of a logging machine / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, D.I. Rogachev // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2021. – № 12. – pp. 114–117.

3. Rogachev D.I. Development of Domestic Robotics in the Forestry Industry / D.I. Rogachev, I.V. Kozlov // Student Bulletin. – 2020. – № 1-6(99). – pp. 22-23.

4. Klubnichkin V.E. Collaborative technology of timber skidding / V.E. Klubnichkin // In the collection: Modern forest complex of the country: problems and development trends. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Editor-in-chief A.A. Platonov. Voronezh, 2022. pp. 26-31.

5. Klubnichkin V.E. Formation of the appearance of tracked unmanned skidding machines / V.E. Klubnichkin // Proceedings of the XX International scientific and technical conference. «Actual problems of forest complex development». – Vologda: VSU, 2022. Pp. 287-291.

6. Redkin A.K. Technology and equipment for logging: textbook / A.K. Redkin. – М: MGUL, 2010. 178 p.

7. Zaprudnov V.I. Technologies and technical means of logging processes / V.I. Zaprudnov, S.P. Karpachev, M.A. Bykovsky // Forest Bulletin. 2017. Vol. 21. № 1. pp. 108–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-108-117

**ПРИМЕНЕНИЕ RAP-МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ**

**Мануковский А.Ю., Курдюков Р.П.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**THE USE OF RAP MATERIALS IN THE CONSTRUCTION OF  
LOGGING ROADS**

**Manukovsky A.Yu., Kurdyukov R.P.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* В статье рассмотрена задача применения RAP-материалов в строительстве лесовозных дорог.

*Abstract:* The article considers the problem of using RAP materials in the construction of logging roads.

*Ключевые слова:* RAP-материалы, асфальтобетонный гранулят, строительство лесовозных дорог

*Keywords:* RAP materials, asphalt-concrete granules, construction of logging roads

Актуальной проблемой в сфере лесозаготовок является затрудненность транспортировки лесоматериалов, обусловленная отсутствием на территории большинства предприятий лесовозных дорог с капитальной или переходной конструкцией дорожной одежды.

Согласно актуальным данным на конец 2023...2024 годов, протяженность лесовозных дорог в Российской Федерации составляет приблизительно 1,9 млн км. При этом значительная часть данных дорог представляет собой грунтовые пути либо эксплуатируется исключительно в зимний период. Для сравнения: протяженность автомобильных дорог общего пользования в России составляет около 1,5 млн км.

Однако, несмотря на внушительную цифру, существующая лесовозно-дорожная инфраструктура остается крайне недостаточной и фрагментированной для освоения огромной лесной территории страны, значительная часть которой остается недоступной из-за отсутствия дорог с капитальным или переходным типом конструкции дорожной одежды.

Сложившаяся транспортная сеть лесовозных дорог представляет собой организованную структуру, включающую магистрали, соединенные с дорогами общего пользования, ответвляющиеся от них ветки, а также разветвленную си-

стему лесовозных усов и вспомогательных волоков. Лесовозные дороги являются ключевым элементом инфраструктуры лесозаготовительных предприятий.

Важной составляющей процесса эксплуатации является не только непосредственное использование путей, но и обеспечение их содержания и поддержания в рабочем состоянии.

Согласно статистическим данным, неудовлетворительное состояние и отсутствие лесных дорог приводят к среднему перерасходу рабочего времени на 27,31%. Данные издержки обусловлены следующими факторами:

- невозможностью проезда автотранспорта к месту работ;
- необходимостью доставки материалов и рабочих пешим ходом;
- затратами времени на эвакуацию застрявшей в распутицу техники.

Согласно действующим требованиям СП 288.1325800.2016 «Дороги лесные. Правила проектирования и строительства» лесовозные дороги классифицируются [1, 2]:

1. По назначению:

- лесовозные лесные дороги (для вывозки древесины, перевозки техники, грузов и персонала, а также лесохозяйственных целей);
- лесохозяйственные лесные дороги (охраны, защиты и воспроизводства лесов).

2. По сроку действия:

- лесовозные дороги постоянного действия (капитальные, с твердым покрытием или переходным типом конструкции лесовозной дороги);
- лесовозные дороги временного действия (обустраиваются на период заготовки леса, часто без капитального покрытия).

3. По категориям:

- магистральные (основные пути, соединенные с дорогами общего пользования);
- ветки (ответвления от магистралей);
- усы (временные пути, ведущие к лесосекам).

Неоднородность инженерно-геологических условий на территории лесозаготовок создает существенные затруднения в организации вывозки заготовленной древесины [3].

Лесовозные автопоезда и лесозаготовительная техника формируют свыше 80% общей транспортной нагрузки на лесовозных дорогах. В связи с данным обстоятельством, для обеспечения надежности и бесперебойности функционирования транспортной инфраструктуры отрасли требуется устройство дорожных покрытий капитального или переходного типа.

Значительные нагрузки от большегрузного транспорта приводят к прогрессирующему ухудшению состояния дорожных одежд лесовозных дорог, выполненных из классических материалов, с каждым сезоном эксплуатации.

Следовательно, ключевой задачей отрасли является приведение лесовозных дорог в нормативное состояние для обеспечения бесперебойной транспортной доступности как к лесосекам, так и к объектам лесохозяйственной деятельности.

Сокращение затрат и времени строительства лесовозных дорог с целью исключения экономических потерь предприятий, связанных с неудовлетворительным состоянием или отсутствием лесных автодорог возможно за счет:

1. Применение RAP-материалов, которое позволяют исключить от 60% до 100% необходимость применения дополнительных строительных материалов;
2. Замена применяемой специализированной дорожно-строительной техники на лесозаготовительных комплексах и машин-механизмов для лесовосстановления.

Развивая тему инновационных технологий с применением RAP-материалов в конструкции дорожной одежды можно отметить необходимость соблюдения технологии и применение специализированной техники на участках дорог постоянного действия.

Технология приготовления смесей из RAP-материалов предполагает использование двух вариантов проведения работ:

- смешивание RAP-материалов в специальных установках с последующим его вывозом обратно на объект и укладкой (рис. 1);
- смешивание RAP-материалов непосредственно «на дороге» рис. 2 и рис. 3.

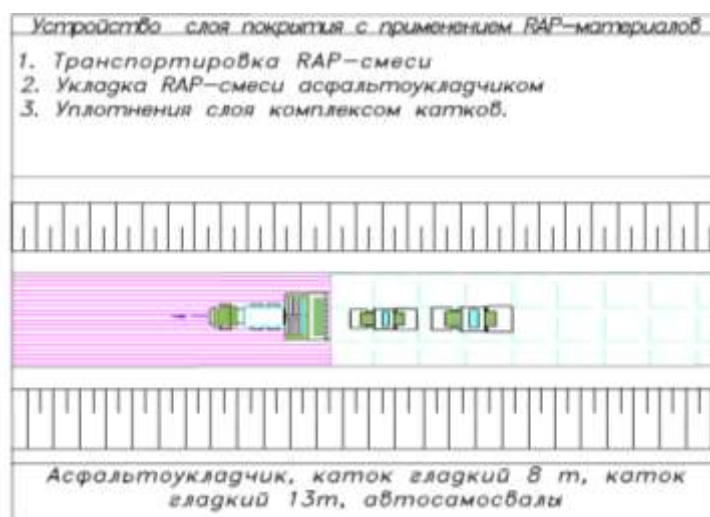


Рисунок 1 – Устройство слоя покрытия из готовой смеси с применением RAP-материалов

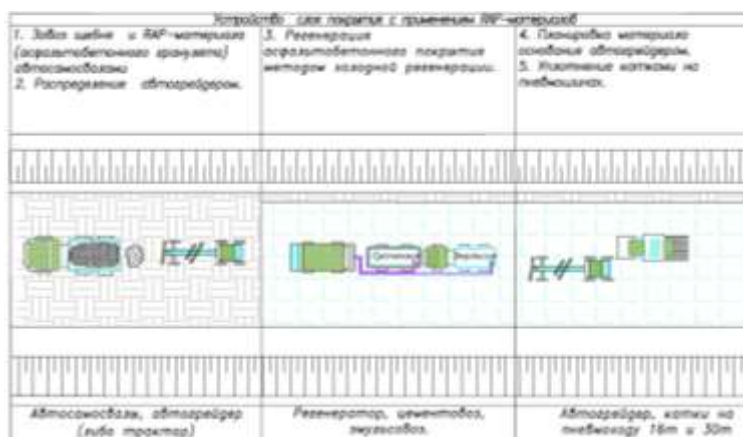


Рисунок 2 – Устройство слоя покрытия из RAP-материалов с транспортировкой и распределением материалов на объекте.

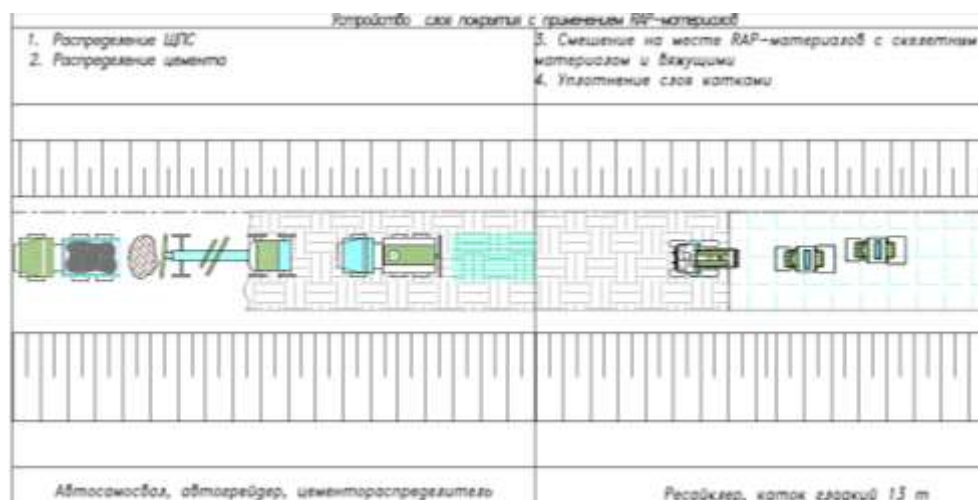


Рисунок 3 – Устройство слоя покрытия из RAP-материалов с фрезерованием существующего асфальтобетонного покрытия и распределением материалов на объекте.

В отличие от стандартных методов устройства лесовозных дорог, RAP-материалы обеспечивают полную переработку существующего асфальтобетона с последующим его использованием в новом покрытии [4, 5].

В процессе ремонта и содержания автомобильных дорог местного значения и элементов улично-дорожной сети при фрезеровании асфальтобетонного покрытия образуются вторичные материалы от фрезерования асфальтобетонного покрытия (RAP-материалы). Несмотря на успешную практику их применения на федеральных трассах для устройства монолитных слоев дорожной одежды, на дорогах местного значения данные материалы, как правило, складываются и не находят дальнейшего использования [6].

Поскольку лесовозные дороги часто не имеют капитальной тип дорожной одежды источником для получения RAP-материала служат склады в пределах городской агломерации.

### Список литературы

1. Свод правил СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства (приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 952/пр, дата введения 17 июня 2017 г.)
2. Ведомственные строительные нормы ВСН 166-70 «Технические указания по возведению земляного полотна автомобильных дорог из переувлажненных грунтов» (утв. Техническим управлением Министерства транспортного строительства 24 апреля 1970 г., приказ № 31, дата введения 01.09.1970 г.)
3. Расчет сопротивления грунтов основания при устройстве малых искусственных сооружений / Д.П. Курдюков, Р.П. Курдюков, Н.И. Шамарин [и др.] // Энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологии лесопромышленного комплекса: Материалы Международной научной конференции ученых и студентов, Воронеж, 26 сентября 2024 года. – Воронеж: Воронежский

государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 89-94. – DOI 10.58168/E-SEFTFI2024\_89-94.

4. Результат применения RAP технологии в рамках реализации объекта «Капитальный ремонт автомобильной дороги р-280 «Новороссия» Ростов-на-Дону – Мариуполь – Мелитополь – Симферополь на участке км 156+000 – км 162+100, Донецкая Народная Республика». Анализ использования RAP технологии в строительстве лесовозных дорог на базе полученных результатов / А.Ю. Мануковский, Д.П. Курдюков, Р.П. Курдюков [и др.] // Циркулярная экономика для целей устойчивого развития отраслей и территорий: Материалы Национальной научно-практической конференции, Воронеж, 14-15 мая 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 224-236. – DOI 10.58168/CIRCULAR2024\_224-236.

5. Курдюков Р.П. Регенерация асфальтобетонного покрытия / Р.П. Курдюков, Д.П. Курдюков, А.Ю. Мануковский // Леса России в XXI веке: сборник научных трудов по итогам международной научно-технической интернет-конференции, Санкт-Петербург, 26 ноября 2015 года. Том Выпуск 12. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2015. – С. 130-135.

6. Курдюков Р.П. Применение технологии ресайклинга при восстановлении асфальтобетонного покрытия магистральных лесовозных дорог / Р.П. Курдюков, А.Ю. Мануковский // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: Материалы Всероссийской студенческой конференции: в 8 частях, Йошкар-Ола, 23–28 ноября 2015 года. Том Часть 5. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. – С. 108-112.

### References

1. Code of Practice SP 288.1325800.2016 Forest Roads. Design and Construction Rules (Order of the Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 16, 2016 № 952/pr, effective June 17, 2017)

2. Departmental Building Codes VSN 166-70 «Technical Guidelines for the Construction of Roadbeds from Waterlogged Soils» (approved by the Technical Directorate of the Ministry of Transport Construction on April 24, 1970, Order № 31, effective September 1, 1970)

3. Calculation of Foundation Soil Resistance in the Construction of Small Artificial Structures / D.P. Kurdyukov, R.P. Kurdyukov, N.I. Shamarin [et al.] // Energy-saving and environmentally friendly technologies of the forest industry complex: Proceedings of the International Scientific Conference of Scientists and Students, Voronezh, September 26, 2024. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. – pp. 89-94. – DOI 10.58168/E-SEFTFI2024\_89-94.

4. The result of applying RAP technology within the framework of the implementation of the project «Major repairs of the R-280 «Novorossiya» Rostov-on-Don – Mariupol – Melitopol – Simferopol road on the section km 156+000 - km 162+100,

Donetsk People's Republic». Analysis of the use of RAP technology in the construction of logging roads based on the results obtained / A.Yu. Manukovsky, D.P. Kurdyukov, R.P. Kurdyukov [et al.] // Circular economy for the purposes of sustainable development of industries and territories: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference, Voronezh, May 14-15, 2024. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. – pp. 224-236. – DOI 10.58168/CIRCULAR2024\_224-236.

5. Kurdyukov R.P. Regeneration of asphalt concrete pavement / R.P. Kurdyukov, D.P. Kurdyukov, A.Yu. Manukovsky // Forests of Russia in the 21st century: collection of scientific papers based on the results of the international scientific and technical Internet conference, St. Petersburg, November 26, 2015. Volume Issue 12. – St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov, 2015. – pp. 130-135.

6. Kurdyukov R.P. Application of recycling technology in the restoration of asphalt concrete pavement of main logging roads / R.P. Kurdyukov, A.Yu. Manukovsky // Engineering personnel – the future of Russia's innovative economy: Proceedings of the All-Russian student conference: in 8 parts, Yoshkar-Ola, November 23–28, 2015. Volume Part 5. – Yoshkar-Ola: Volga Region State Technological University, 2015. – pp. 108-112.



## **ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЁННОЕ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

**Платонов А.А.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

## **EQ EQUIPMENT USED IN EXPERIMENTAL RESEARCH OF NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES AND TECHNICAL MEANS**

**Platonov A.A.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Выполнение работ по удалению нежелательной древесно-кустарниковой растительности целесообразно выполнять с применением новых машин и механизмов. В статье рассматриваются вопросы обеспечения экспериментальных исследований новых технических средств удаления растительности.

*Abstract:* It is advisable to perform work on removing unwanted trees and shrubs using new machines and mechanisms. The article examines issues of providing experimental studies of new technical means of removing vegetation.

*Ключевые слова:* нежелательная растительность, удаление, механизация, техническое средство, исследование, устройство.

*Keywords:* unwanted vegetation, removal, mechanization, technical means, research, device.

В ходе выполнения исследований, посвящённых вопросу повышения эффективности существующих технологических процессов [1, 2] удаления нежелательной растительности с территорий линейных объектов инфраструктуры [3, 4] возникла необходимость проведения лабораторных и полевых экспериментов созданных технических средств, обеспечивающих указанное удаление.

В экспериментальные исследования принимались технические средства, связанные с вырыванием нежелательной древесно-кустарниковой растительности (НДКР), её корчеванием, сгребанием и измельчением. В качестве новых технологических процессов (ТП) рассматривался процесс корчевания НДКР с её последующей вывозкой, вырывания НДКР с её последующим сгребанием и измельчением и иные ТП.

Для проведения экспериментальных исследований принимались экземпляры нежелательной древесно-кустарниковой растительности высотой 1...1,5 м при диаметре корневой шейки у основания 10...15 мм, конкретные экземпляры

которых намечались в ходе предварительно выполненного маршрутного обследования территории. Для измерения габаритных размеров (в том числе, длин, высот) экземпляров НДКР и отдельных их составных частей, куч порубочных остатков, а также для измерения размеров вороха волочения ПБО (при исследовании лесных граблей) применялась рулетка измерительная Р10УЗП ГОСТ 7502-98 со шкалой (диапазон измерения 0...10 м), лентой из углеродистой стали, 3-го класса точности, прямоугольным торцом на вытяжном конце ленты, предельной погрешностью измерений  $\pm 2$  мм. Для измерения диаметра экземпляров НДКР применялся штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 166-89 с диапазоном измерений 0...250 мм и предельной погрешностью измерений  $\pm 0,05$  мм. Для выявления расстояния между кучами порубочных остатков (при исследовании корчевателя) применялась лента мерная геодезическая (100 м  $\times$  12,5 мм) EXTREM KRAFTOOL 34185-100, класс точности 2. Для контроля временных характеристик элементов технологического процесса корчевания экземпляров нежелательной растительности [5, 6], а также для контроля времени поступления щепы в приёмный контейнер при исследованиях системы сбора щепы применялся секундомер Jögel JA-129, обладающий памятью на 2 результата при погрешности измерений 0,3 с.

При исследовании ТП, связанного с вырыванием НДКР, для контроля плотности корнеобитаемого слоя почвы в непосредственной близости от произрастающей нежелательной растительности (рис. 1, поз. 1) применялся плотномер динамический Д-51 с глубиной зондирования  $300 \pm 2$  мм.



- 1 – плотномер динамический Д-51; 2 – приспособление зажимное;  
3 – влагомер для почвы (модель 46908); 4 – манометр ДМ60-1,5;  
5 – аппаратный комплекс ZetLab; 6 – датчик динамических показателей

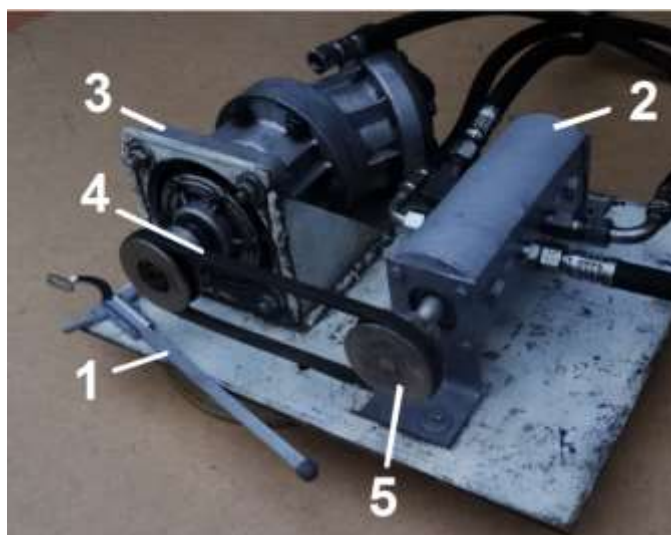
Рисунок 1 – Применяемое оборудование при экспериментальных исследованиях манипулятора лесохозяйственной машины с гидравлическим вибратором

Для обеспечения надёжной фиксации ствола (стволов) удаляемой методом выдёргивания нежелательной растительности применялось приспособление зажимное (рис. 1, поз. 2). Для контроля влажности и температуры корнеобитаемого слоя почвы (в том числе – при экспериментальных исследованиях корче-

вателя) в непосредственной близости от намеченного к удалению экземпляра нежелательной растительности применялся влагомер для почвы модели 46908 с диапазонами измерения 0...100 % для влажности и -5...50 °С для температуры при точности измерения  $\pm 1$  % (рис. 1, поз. 3).

Для контроля давления гидроцилиндра применялся манометр ДМ60-1,5 ГОСТ 2405-88 с верхним пределом измерений 60 МПа, класс точности 1,5 (рис. 1, поз. 4). Для регистрации формирующихся в гидроцилиндре величин давления рабочей жидкости, а также временной характеристики его изменения, использовалась система снятия динамических показателей компании ZetLab, представляющая собой аппаратный комплекс (рис. 1, поз. 5) с установленной на персональный компьютер ZETLAB TENZO программой и внедрённый в гидравлическую магистраль датчик (рис. 1, поз. 6), снимаемые показания которого преобразовывались в графическую и цифровую форму на экран монитора, удобные для их дальнейшей обработки и анализа.

Для контроля смещения штока гидроцилиндра применялось съёмное концевое приспособление, представляющее в своей основе штангенглубиномер ШГ-250-0,05 ГОСТ 162-90 с диапазоном измерений 0...250 мм и предельной погрешностью измерений  $\pm 0,05$  мм (рис. 2, поз 1).



1 – приспособление для контроля смещения штока гидроцилиндра;  
2 – гидравлический вибратор; 3 – гидромотор; 4 – ремённая передача; 5 – сменный шкив

Рисунок 2 – Применяемое оборудование при экспериментальных исследованиях манипулятора лесохозяйственной машины с гидравлическим вибратором

Для повышения точности создания усилия, предотвращающего неконтролируемое смещение измерительной штанги относительно рамки при вибрации стрелы манипулятора в опытно-производственных условиях проведения эксперимента, приспособление обладало увеличенным зажимным винтом. Также на задней стенке рамки штангенглубиномера размещался опорный кронштейн для закрепления приспособления с возможностью его поворота (рис. 3). По оконча-

нии первого вибрационного цикла форма кронштейна обеспечивала вывод измерительного наконечника приспособления под действием силы тяжести из зоны его взаимодействия с корпусом гидроцилиндра. Кроме того, принятые форма и размеры кронштейна обуславливали последующее расположение измерительной штанги под углом к поверхности почвы много меньше  $90^\circ$ , что также способствовало предотвращению неконтролируемого смещения указанной штанги относительно рамки приспособления при последующих вибрационных циклах стрелы манипулятора.

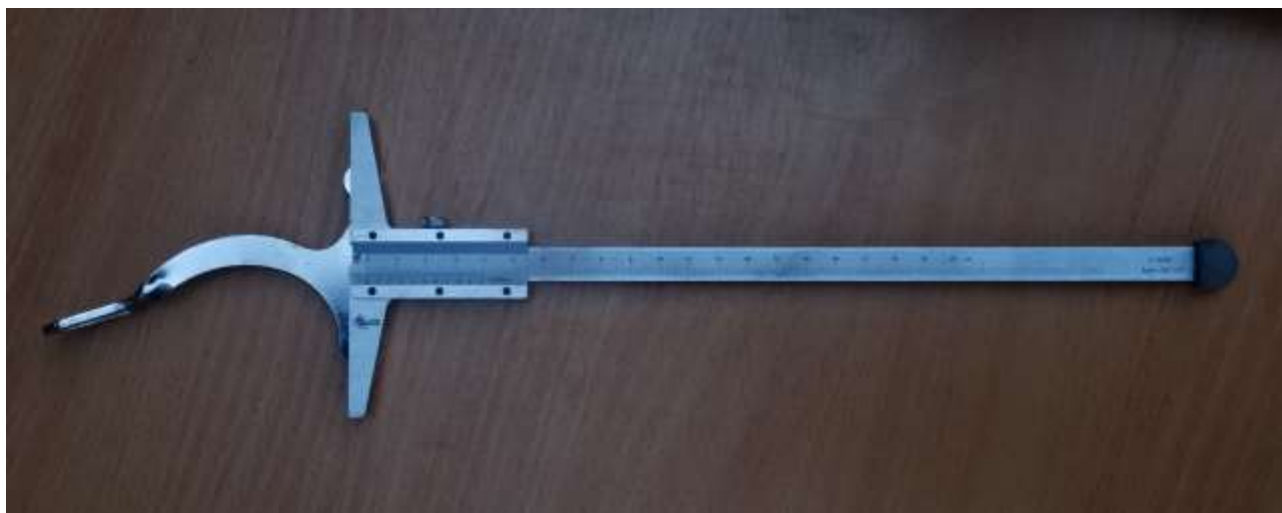


Рисунок 3 – Приспособление для контроля смещения штока гидроцилиндра

Гидравлический вибратор (рис. 2, поз. 2), подключённый к гидроцилиндру [7] манипулятора посредством рукавов высокого давления, представлял собой конструкцию параллелепипедной внешней формы, внутри которой (в соответствии с патентом на изобретение № 2433001[8]) находился распределительный золотник, выполненный в виде вала со взаимно перпендикулярными отверстиями, распределяющими рабочую жидкость по соответствующим каналам подвода и отвода рабочей среды к (от) поршневой (штоковой) полостей указанного гидроцилиндра. Привод гидравлического вибратора осуществлялся от аксиально-поршневого гидромотора [9] с наклонным блоком (рис. 2, поз. 3) посредством ремённой передачи (рис. 2, поз. 4), при этом на выходном конце распределительного золотника устанавливались сменные шкивы (рис. 2, поз. 5) различных диаметров, обеспечивающие изменение требуемой частоты вращения золотника в соответствии с уровнями варьирования влияющих факторов [10].

Между гидравлическим вибратором и гидроцилиндром устанавливались сменные рукава высокого давления (шланги) РВД 1SN 8×1200, РВД 1SN 10×1200 и РВД 1SN 12×1200 длиной 1200 мм с величиной условного прохода (внутренним диаметром) соответственно 8, 10 и 12 мм [11].

При экспериментальном исследовании лесных граблей массы транспортируемых ворохов волочения порубочных остатков были определены на весах электронных настольных общего назначения МК-15.2-А20-2 (диапазон измере-

ния 0,04...15 кг, допускаемая погрешность измерения  $\pm 3$  г, Россия) путём трёхкратного их взвешивания и определения среднего значения.

Лабораторные исследования лесных граблей осуществлялись в почвенном канале ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Перед проведением каждой серии опытов выполнялось выравнивание уровня почвы 1, находящейся в почвенном канале 2 (по направляющим которого перемещалось тяговое энергетическое средство 3) специальным приспособлением 4, при этом в качестве базовой («нулевой») поверхности была принята поверхность взаимодействия колёс тягового средства с направляющими почвенного канала (рис. 4). Выравнивание поверхности почвы осуществлялось до высоты грунта  $h_{зр}$ , при необходимости выполнялась подсыпка грунта (зоны «а») или его выемка (зона «б»). По окончании выравнивания выполнялось уплотнение почвы почвенного канала специализированным катком с обеспечением движения катка вдоль и поперёк продольной оси канала. Дополнительно перед проведением каждого наблюдения осуществлялось подравнивание поверхности почвенного канала специализированным правилом длиной 1,5 м с выполнением двукратного прохода по выравниваемой поверхности при перекрёстном расположении указанного правила (рис. 5). Контроль ровности поверхности почвенного канала осуществлялся мерной штангой, размещаемой через 0,5 м вдоль и поперёк продольной оси канала.

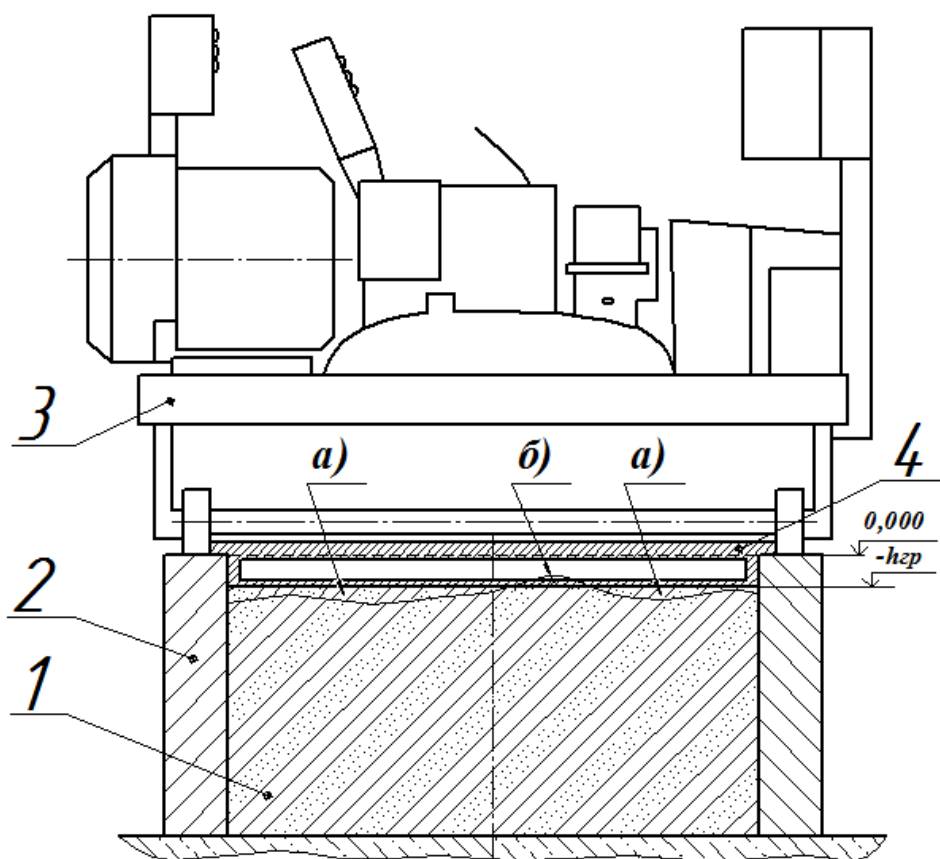


Рисунок 4 – Схема выравнивания почвы в почвенном канале





Рисунок 5 – Выравнивание поверхности почвенного канала

При экспериментальном исследовании измельчителя порубочных остатков (рис. 6, а) для контроля отклонения расположения верхней кромки приёмного контейнера от горизонтали применялся уровень Hanskonner HK2015-03-0600 (Россия, 600 мм, погрешность измерения 0,03 град.). Расстояние от нижнего торца поворотного патрубка до верхней кромки приёмного контейнера контролировалось штангенглубиномером ШГ-250-0,05 ГОСТ 162-90 с диапазоном измерений 0...250 мм и предельной погрешностью измерений  $\pm 0,05$  мм.



а)



б)

Рисунок 6 – Экспериментальные исследования измельчителя порубочных остатков

Для измерения массы щепы, а также массы экспериментального приёмного контейнера применялись лабораторные весы (весоизмерительный прибор) КСК-18 (Россия), класса точности – III, обеспечивающие точность измерения в измеряемом диапазоне массы 0,5 кг (рис. 6, б).

Для взвешивания пустых буюкс и буюкс с измельчённым материалом (щепой) использовались электронные технические весы модели UX 220H производства Японии (рис. 7, а) со следующими метрологическими характеристиками:

- наибольший предел взвешивания (НПВ) 220 г;

- наименьший предел взвешивания (НмПВ) 0,02 г;
- дискретность отсчёта 0,001 г;
- класс точности весов по ГОСТ 24101-2001 II.

Для высушивания измельчённых порубочных остатков (щепы) использовался сушильный шкаф КВС G-100/250 (Польша), позволяющий устанавливать и поддерживать необходимую температуру в 100...105°C (рис. 7, б).



а)



б)

Рисунок 7 – Оборудование, применяемое для определения влажности щепы

Применение вышеозначенного оборудования позволило провести серию экспериментальных исследований новых технических средств, обеспечивающих удаление нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий линейных инфраструктурных объектов.

### Список литературы

1. Хакимзянов Р.Р. Технологические рабочие процессы удаления древесно-кустарниковой растительности / Р.Р. Хакимзянов, А.Э. Корабеков, А.А. Шуленин // Транспортное строительство: Сборник статей третьей всероссийской научно-технической конференции, Москва, 12-13 апреля 2022 года. – М: Издательство «Перо», 2022. – С. 99-107.
2. Фаталиев Н.Г. Оптимизация параметров режима технологического процесса скашивания растительности на оросительных каналах / Н.Г. Фаталиев, Ф.М. Магомедов, И.М. Меликов // Проблемы развития АПК региона. – 2011. – Т. 5, № 1. – С. 78-84.
3. Платонов А.А. Классификация линейных инфраструктурных объектов: линии электропередачи / А.А. Платонов // Актуальные проблемы современного транспорта. – 2023. – № 1(11). – С. 14-22.
4. Платонов А.А. Современная классификация линий трубопроводного транспорта - как объектов для формирования защитных лесонасаждений / А.А. Платонов, М.А. Платонова // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2025»): Сборник статей Международной научно-практической конференции, Воронеж, 23-25 апреля 2025 года. – Воронеж: Ростовский государственный университет путей сообщений, 2025. – С. 182-186.



5. Платонов А.А. Моделирование складочного объёма бурта нежелательной растительности / А.А. Платонов, В.Н. Коротких // Энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологии лесопромышленного комплекса-2025: Материалы международной научной конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова и 80-летию Победы в Великой Отечественной войне, Воронеж, 27-28 марта 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 374-379. – DOI 10.58168/E-SESTTI2025\_374-379.

6. Платонов А.А. Особенности экспериментальных исследований нового корчевального оборудования / А.А. Платонов // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2025»): Сборник статей Международной научно-практической конференции, Воронеж, 23-25 апреля 2025 года. – Воронеж: Ростовский государственный университет путей сообщений, 2025. – С. 179-182.

7. Гидроцилиндры подъёма [Электронный ресурс] / Рынок спецтехники [сайт] [2024]. – URL: <https://www.cdminfo.ru/spetstehnika/zapchasti-dlya-tehniki/11.-gidrotsilindryi-podema.html> (Дата обращения: 7.09.2024)

8. Патент № 2433001 С1 Российская Федерация, МПК В06В 1/18. Гидравлический вибратор: № 2010114610/28: заявл. 12.04.2010: опубл. 10.11.2011 / П.И. Попиков, Р.В. Юдин, М.А. Платонова, А.А. Платонов; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежская государственная лесотехническая академия».

9. Гидравлические моторы [Электронный ресурс] // АО «РГ-Ремсервис» [сайт] [2024]. – URL: [https://rg-gidro.ru/production/gidravlicheskie-nasosy-motory/?PAGEN\\_2=3](https://rg-gidro.ru/production/gidravlicheskie-nasosy-motory/?PAGEN_2=3) (Дата обращения: 15.09.2024)

10. Драпалюк М.В. Моделирование рабочего процесса гидравлического пульсатора манипулятора лесных машин / М.В. Драпалюк, А.А. Платонов, П.И. Попиков // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15, № 2(58). – С. 191-206. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2025.2/12

11. Рукава высокого давления (РВД): типы, назначение и характеристики [Электронный ресурс] // ООО «РВД Урал» [сайт] [2024]. – URL: <https://store.rvdural.ru/tipy-rukavov-vysokogo-davleniya-rvd/> (Дата обращения: 23.08.2024)

## References

1. Khakimzyanov R.R. Technological work processes for removing woody and shrubby vegetation / R.R. Khakimzyanov, A.E. Korabekov, A.A. Shulenin // Transport construction: Collection of articles of the third all-Russian scientific and technical conference, Moscow, April 12-13, 2022. – M: Pero Publishing House, 2022. – pp. 99-107.

2. Fataliev N.G. Optimization of the parameters of the technological process of mowing vegetation on irrigation canals / N.G. Fataliev, F.M. Magomedov, I.M. Melikov // Problems of development of the regional agro-industrial complex. – 2011. – Vol. 5, № 1. – pp. 78-84.

3. Platonov A.A. Classification of linear infrastructure facilities: power transmission lines / A.A. Platonov // Actual problems of modern transport. – 2023. – № 1 (11). – pp. 14-22.
4. Platonov A.A. Modern classification of pipeline transport lines - as objects for the formation of protective forest plantations / A.A. Platonov, M.A. Platonova // Transport: science, education, production («Transport-2025»): Collection of articles from the International scientific and practical conference, Voronezh, April 23-25, 2025. – Voronezh: Rostov State University of Transport, 2025. – pp. 182-186.
5. Platonov A.A. Modeling the stack volume of a pile of unwanted vegetation / A.A. Platonov, V.N. Korotkikh // Energy-saving and environmentally friendly technologies of the forest industry complex-2025: Proceedings of the international scientific conference dedicated to the 95th anniversary of the VSTU named after G.F. Morozov and the 80th anniversary of Victory in the Great Patriotic War, Voronezh, March 27-28, 2025. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2025. – pp. 374-379. – DOI 10.58168/E-SESTTI2025\_374-379.
6. Platonov A.A. Features of experimental studies of new uprooting equipment / A.A. Platonov // Transport: science, education, production («Transport-2025»): Collection of articles of the International scientific and practical conference, Voronezh, April 23-25, 2025. – Voronezh: Rostov State University of Transport, 2025. – pp. 179-182.
7. Lifting hydraulic cylinders [Electronic resource] / Special equipment market [website] [2024]. – URL: <https://www.cdminfo.ru/spetstechnika/zapchasti-dlya-tehniki/11.-gidrotsilindryi-podema.html> (Accessed: 7.09.2024)
8. Patent № 2433001 C1 Russian Federation, IPC B06B 1/18. Hydraulic vibrator: No. 2010114610/28: declared. 12.04.2010: published. 10.11.2011 / P.I. Popikov, R.V. Yudin, M.A. Platonova, A.A. Platonov; applicant State Educational Institution of Higher Professional Education «Voronezh State Forest Engineering Academy».
9. Hydraulic Motors [Electronic Resource] // JSC «RG-Remservis» [website] [2024]. – URL: [https://rg-gidro.ru/production/gidravlicheskie-nasosy-motory/?PAGEN\\_2=3](https://rg-gidro.ru/production/gidravlicheskie-nasosy-motory/?PAGEN_2=3) (Accessed: 15.09.2024)
10. Drapalyuk M.V. Modeling the Working Process of a Hydraulic Pulser of a Forest Machine Manipulator / M.V. Drapalyuk, A.A. Platonov, P.I. Popikov // Forest Engineering Journal. – 2025. – Vol. 15, № 2 (58). – pp. 191-206. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2025.2/12
11. High-pressure hoses (HPH): types, purpose and characteristics [Electronic resource] // OOO RVD Ural [website] [2024]. – URL: <https://store.rvdural.ru/tipy-rukavov-vysokogo-davleniya-rvd/> (Accessed: 08/23/2024)

**ПОВЫШЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ  
ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА В  
СЛУЧАЕ ЭКСТРЕННОЙ РАЗГРУЗКИ ЗАХВАТА**

**Попиков С.К.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**INCREASING THE TRANSVERSE STABILITY OF A MANIPULATOR-  
TYPE TIMBER TRANSPORT MACHINE IN THE CASE OF EMERGENCY  
UNLOADING OF THE GRIPPER**

**Popikov S.K.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Проведен анализ способов повышения устойчивости грузоподъемных машин. Предложена гидросистема механизма автоматической разгрузки захвата гидроманипулятора лесотранспортной машины и математическая модель рабочего процесса гидроманипулятора в случае экстренной разгрузки захвата.

*Abstract:* The analysis of methods for increasing the stability of lifting machines is carried out. A hydraulic system of the mechanism for automatic unloading of the gripper of a hydraulic manipulator of a timber transport machine and a mathematical model of the working process of a hydraulic manipulator in the case of emergency unloading of the grip are proposed.

*Ключевые слова:* лесотранспортная машина, гидроманипулятор, поперечная устойчивость, разгрузка захвата, математическая модель.

*Keywords:* timber transport machine, hydraulic manipulator, transverse stability, unloading of the gripper, mathematical model.

В настоящее время, согласно статистическим сведениям, приведенным Ростехнадзором, выявлена тенденция роста чрезвычайных происшествий при эксплуатации грузоподъемных кранов и машин в различных отраслях народного хозяйства. Данная проблема характерна и для лесного комплекса [1]. В наши дни для повышения безопасности производства погрузочно-разгрузочных работ предлагается организация погрузочных площадок, а также обеспечение грузоподъемной техники средствами безопасной эксплуатации (ограничители грузоподъемности, выравниватели кабин и опорных платформ, аутригеры, демпферы, средства сигнализации и др.). Кроме того, следует отметить, что лесные почвы имеют неоднородную структуру и неравномерное увлажнение, что в совокупности со сложным рельефом местности может способствовать внезапно-

му проседанию грунта под опорными элементами аутригеров и наклону рамы базовой машины оснащенной гидравлическим манипулятором [2].

Совместно с профессором Дорняк О.Р. [3, 4] проведены теоретические исследования влияния угла наклона рамы базовой машины в диапазоне от 0 до 15 градусов на усилия в гидроцилиндрах стрелы, рукояти и телескопического удлинителя манипулятора Атлант-С100, выпускаемого Майкопским машиностроительным заводом, при различных положениях звеньев в статическом и динамическом режимах работы с учетом установки автоматического выравнивателя опорно-поворотного устройства. Полученные графики зависимостей давления рабочей жидкости и усилий в гидроцилиндрах манипулятора позволяют выявить оптимальные соотношения угловых параметров звеньев манипулятор, при которых обеспечивается поперечная устойчивость и требуемая производительность погрузки и выгрузки древесины. Однако предлагаемые выравниватели опорно-поворотных устройств гидроманипуляторов не обладают достаточным быстродействием и не оказывают существенного влияния на коэффициент поперечной устойчивости в момент возникновения критической ситуации. Предлагаемая принципиальная схема гидросистемы манипулятора лесотранспортной машины (рис. 1), обладает большим быстродействием, благодаря механизму автоматической разгрузки захвата.

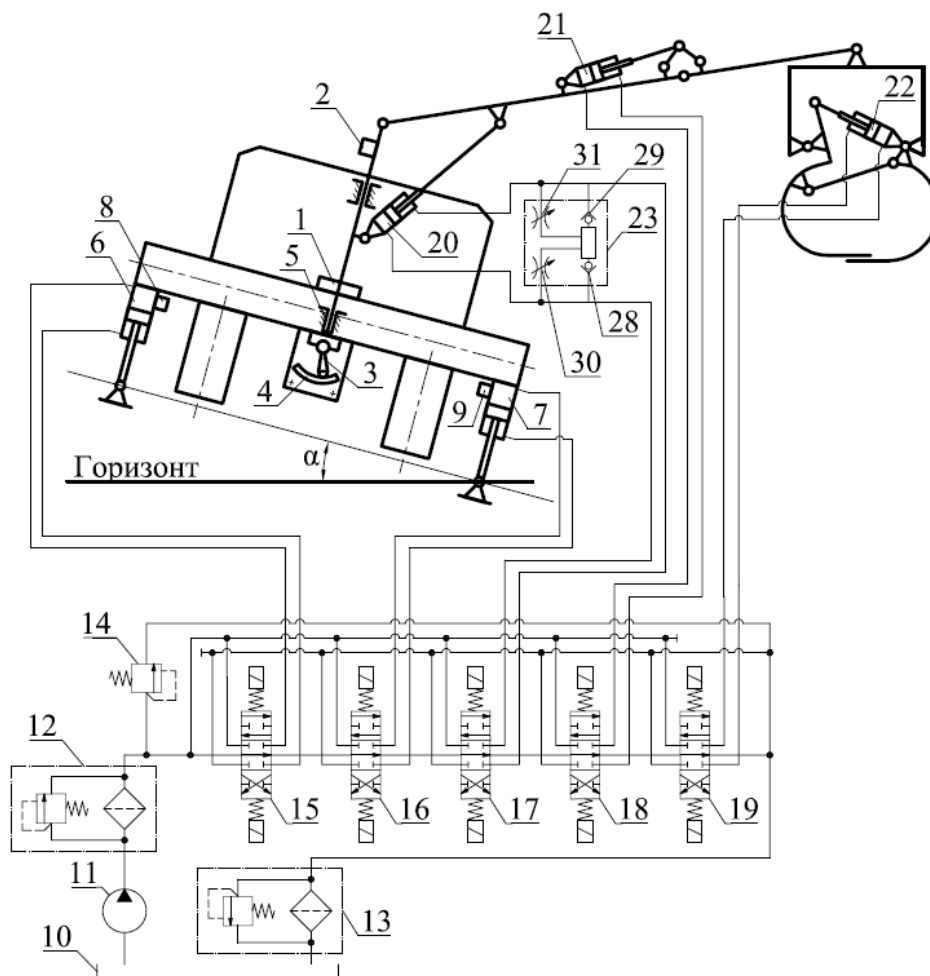


Рисунок 1 – Принципиальная схема механизма автоматической разгрузки захвата

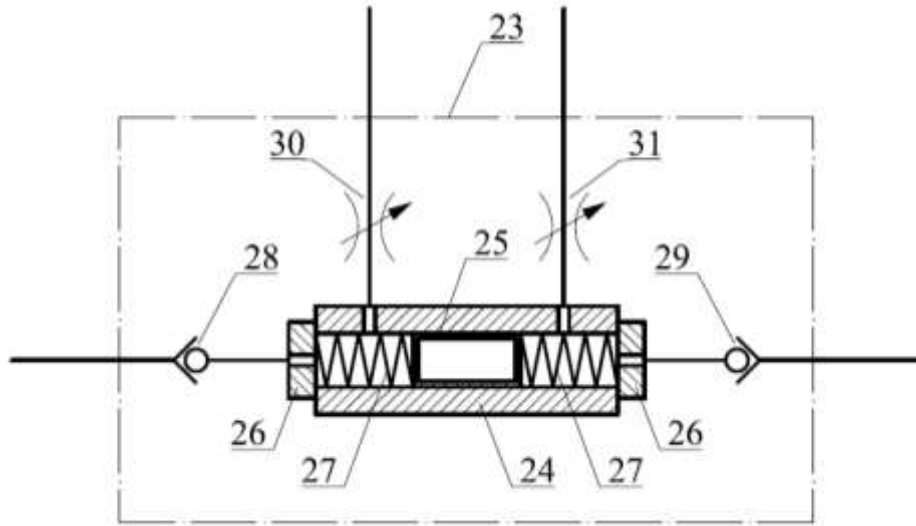


Рисунок 2 – Схема демпфера

Предлагаемая гидросистема содержит блок управления 1, панель управления 2, отвесной датчик 3 с реостатной направляющей 4, опорно-поворотное устройство 5, датчики 8 и 9 контакта с опорной поверхностью, гидроцилиндры 6, 7, 20, 21 и 22 звеньев манипулятора, демпфер 24 (рис. 2), включающий пустотелый плунжер 25, крышки 26, возвратные пружины 27, обратные клапаны 28 и 29, регулируемые дроссели 31 и 32.

Для определения параметров данной гидросистемы была разработана математическая модель рабочего процесса манипулятора в момент автоматической разгрузки захвата при аварийной ситуации, включающая в себя четыре дифференциальных уравнения: уравнение поворота стрелы, уравнение расхода рабочей жидкости, уравнение движения поршня гидроцилиндра захвата и уравнение движения плунжера демпфера:

$$\left\{ \begin{array}{l} (J_{\text{бр}} + J_c) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{\pi d_c^2 b_1 \sin \beta}{4} p + 0,25 (G_{\text{бр}} L + G_c l_n) (\cos \varphi \cos \alpha + \sin \varphi \sin \alpha), \\ q_n n_n = \frac{\pi d_c^2 b_1 \sin \beta}{4} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\pi (d_3^2 - d_{\text{шт}}^2)}{4} \frac{dh_3}{dt} + \frac{\pi d_n^2}{4} \frac{dx_n}{dt} + a_y p + K_p \frac{dp}{dt}, \\ m_{\text{бр}} \frac{d^2 h_3}{dt^2} = \frac{\pi (d_3^2 - d_{\text{шт}}^2)}{4} p - F_{\text{тр}} - F_c, \\ m_n \frac{d^2 x_n}{dt^2} = \frac{\pi d_n^2}{4} \left( p - \xi \rho \frac{v_{\text{др}}^2}{2} \right) - c_n x_n - k_n \frac{dx_n}{dt}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $J_{\text{бр}}, J_c$  – моменты инерции пачки бревен и стреловой группы манипулятора относительно точки  $O_1$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$G_{\text{бр}}, G_c$  – силы тяжести пачки бревен и стреловой группы манипулятора, Н;

$F_{\text{тр}}$  – сила трения в гидроцилиндре захвата, Н;

$F_c$  – сила сопротивления раскрытию захвата, Н;

$m_{\text{бр}}$  – масса бревен, кг;

$\alpha$  – угол наклона погрузочной площадки, град;  
 $b_1$  – расстояние между точкой крепления стрелы к колонне и точкой крепления гидроцилиндра подъема стрелы к стреле, м;  
 $L$  – длина стрелы манипулятора, м;  
 $l_n$  – расстояние между точкой крепления стрелы к колонне и центром тяжести стрелы манипулятора, м;  
 $\varphi$  – угол подъема стрелы манипулятора, град;  
 $\beta$  – угол между осью штока гидроцилиндра подъема стрелы и осью стрелы манипулятора, град;  
 $q_n$  – рабочий объем насоса, м<sup>3</sup>/об;  
 $n_n$  – частота вращения насоса, об/с;  
 $p$  – текущее значение давления в гидроприводе, Па;  
 $a_y$  – коэффициент, учитывающий утечки жидкости, м<sup>5</sup>/(Н·с);  
 $K_p$  – коэффициент податливости гидропривода, м<sup>5</sup>/(Н·с);  
 $d_c, d_3, d_{шт}, d_{п}$  – диаметры гидроцилиндров стрелы, захвата, штока, плунжера демпфера м;  
 $h_3$  – ход штока гидроцилиндра захвата, м;  
 $x_{п}$  – ход плунжера демпфера, м;  
 $m_{п}$  – масса плунжера демпфера, кг;  
 $k_{п}$  – коэффициент трения плунжера демпфера;  
 $\rho$  – плотность рабочей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\xi$  – коэффициент сопротивления дросселя;  
 $v_{др}$  – скорость жидкости, проходящей через дроссель, м/с;  
 $c_{п}$  – жёсткость пружины демпфера, Н/м.

Расчёт был произведён в программе MathCad и получены графики зависимостей ускорения подъёма стрелы и давления в гидравлической системе от времени при различных значениях массы брёвен и длинах стрелы (рис. 3-6).



Рисунок 3 – Графики зависимости ускорения подъёма стрелы от времени при различных значениях массы брёвен

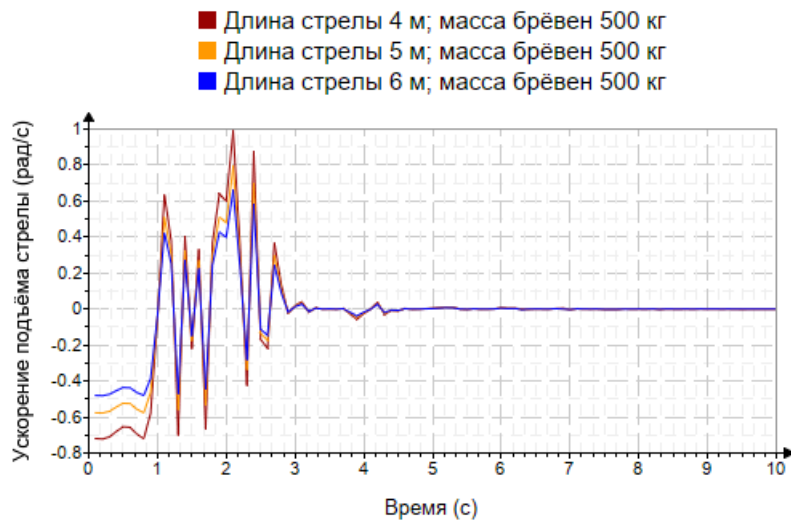


Рисунок 4 – Графики зависимости ускорения подъёма стрелы от времени при различных длинах стрелы с учетом телескопического удлинителя

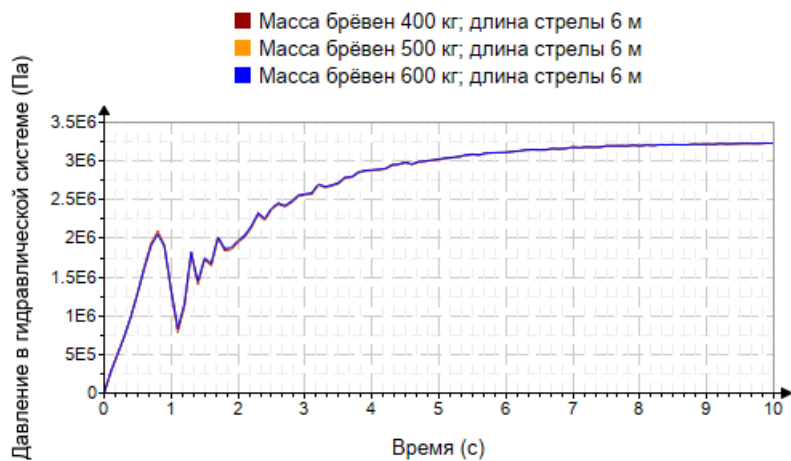


Рисунок 5 – Графики зависимости давления в гидравлической системе от времени при различных значениях массы брёвен

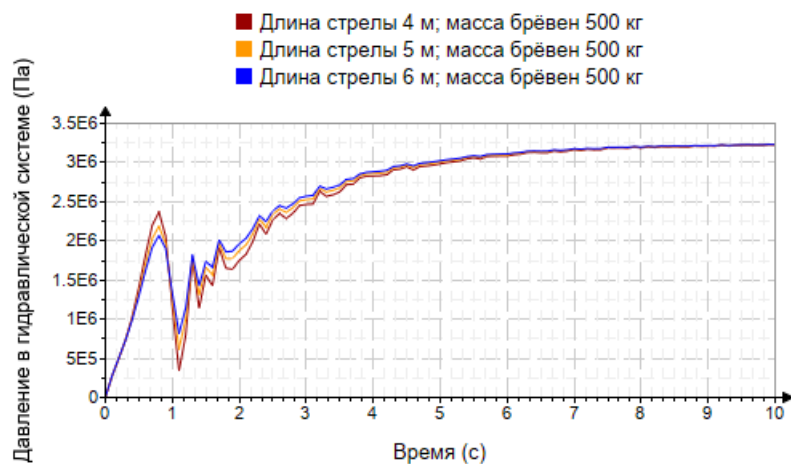


Рисунок 6 – Графики зависимости давления в гидравлической системе от времени при различных длинах стрелы с учетом телескопического удлинителя



С учетом решения математической модели можно получить значения статических и динамических коэффициентов устойчивости лесотранспортной машины при различных комбинациях угловых параметров звеньев манипулятора и углах наклона опорно-поворотного устройства.

Статический коэффициент поперечной устойчивости  $K_{ст}$ :

$$K_{ст} = \frac{M_{уд}}{M_{опр(ст)}} \geq 1,4 \quad (2)$$

Динамический коэффициент поперечной устойчивости  $K_{дин}$ :

$$K_{дин} = \frac{M_{уд}}{M_{опр(ст)} \pm M_{опр(дин)}} \geq 1,2 \quad (3)$$

В формулах (2) и (3):

$M_{уд}$  – удерживающий момент, Нм;

$M_{опр(ст)}$  – статический опрокидывающий момент, Нм;

$M_{опр(дин)}$  – динамический опрокидывающий момент, Нм.

Из формулы (3) для определения динамического коэффициента поперечной устойчивости видно, что, снижая динамический момент от сил инерции за счет демпфирования колебаний давления в гидроприводе, можно повысить значение динамического коэффициента поперечной устойчивости.

Таким образом, предлагаемая гидросистема манипулятора лесотранспортной машины может повысить значение динамического коэффициента поперечной устойчивости, что обеспечивает повышение безопасности и надежности лесотранспортной машины, а также расширяет ее технологические возможности при эксплуатации в лесном комплексе в различных условиях.

### Список литературы

1. Гидроманипуляторы и лесное технологическое оборудование: монография / [И.М. Бартенев и др.]; под ред. И.М. Бартенева. – М: Флинта-Наука, 2011. – 408 с.
2. Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин / В.А. Александров, А.В. Александров. – СПб: Лань, 2016. – 368 с.
3. Статическое нагружение силового гидропривода звеньев манипулятора лесотранспортной машины в критическом режиме / О.Р. Дорняк, Л.В. Маркова, С.К. Попиков, П.В. Танчук // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 2(50). – С. 87-104. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/5.
4. Динамическое нагружение элементов гидравлической системы манипулятора лесотранспортной машины при выравнивании рамы опорно-поворотного устройства / О.Р. Дорняк, Л.В. Маркова, П.В. Танчук, С.К. Попиков // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14, № 2(54). – С. 168-187. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/10.

## References

1. Hydraulic manipulators and forest processing equipment: monograph / [I.M. Bartenev et al.] ; edited by I.M. Bartenev. M: Flinta-Nauka, 2011. – 408 p.
2. Alexandrov V.A. Modeling of technological processes of forest machines / V.A. Aleksandrov, A.V. Aleksandrov. – St. Petersburg: Lan, 2016. – 368 p.
3. Static loading of the power hydraulic drive of the manipulator links of the timber transport machine in critical mode / O.R. Dornyak, L.V. Markova, S.K. Popikov, P.V. Tanchuk // Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering journal]. – 2023. – Vol. 13, № 2 (50) – pp. 87-104. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/5.
4. Dynamic loading of the hydraulic system elements for the timber transport machine manipulator during alignment of the frame of the pivoting device / O.R. Dornyak, L.V. Markova, P.V. Tanchuk, S.K. Popikov // Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering journal]. – 2024. – Vol. 14, № 2(54)/ – pp. 168-187. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/10.

**К ОЦЕНКЕ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ  
НА ВЫРУБКАХ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА С РЕКУПЕРАТИВНОЙ  
НАВЕСНОЙ СИСТЕМОЙ И НАВЕСНЫМ ОРУДИЕМ В  
ТРАНСПОРТНОМ ПОЛОЖЕНИИ**

**Савинков М.А.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**TO ASSESS THE LONGITUDINAL STABILITY OF A WHEELED  
TRACTOR WITH A REGENERATIVE HITCH SYSTEM AND A  
MOUNTED TOOL IN THE TRANSPORT POSITION**

**Savinkov M.A.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Рассмотрены условия и особенности работы на вырубках колесного трактора, оснащенного рекуперативной навесной системой в агрегате с усовершенствованным навесным лесным дисковым культиватором, предложена более точная методика расчета максимального угла уклона при движении исследуемого колесного трактора с находящимся в транспортном положении навесным орудием, определены максимальный угол уклона и коэффициент запаса продольной устойчивости рассматриваемого агрегата, обеспечивающие ему надежную и эффективную работу на вырубке.

*Abstract:* The article discusses the conditions and features of working on clearings with a wheeled tractor equipped with a regenerative mounted system in combination with an improved mounted forest disc cultivator. A more accurate method for calculating the maximum slope angle when the studied wheeled tractor is moving with the mounted tool in the transport position is proposed. The maximum slope angle and the longitudinal stability factor of the considered unit are determined, ensuring reliable and efficient operation on clearings.

*Ключевые слова:* продольная устойчивость, колесный трактор, рубка, лесной дисковый культиватор, расчет угла уклона, коэффициент устойчивости.

*Keywords:* longitudinal stability, wheeled tractor, logging, forest disc cultivator, slope angle calculation, stability coefficient.

При лесовосстановлении на лесных объектах (вырубках, гарях, терассах, рекультивируемых землях и др.) используются преимущественно навесные орудия, агрегатируемые с колесными тракторами соответствующего тягового класса. Лесные объекты насыщены различными препятствиями в виде пней, поверхностных корней, кочек, порубочных остатков, валунов, выходов скаль-

ных пород и др. Обрабатываемая поверхность таких объектов часто отличается неровностями в виде холмов, оврагов и косогоров. При этом, как правило, лесные объекты располагаются на удалении друг от друга, вследствие чего почвообрабатывающие агрегаты перед началом работы перемещаются своим ходом к местам выполнения технологических операций, а также вынуждены часто совершать непроизводительные повороты в конце борозды, а также переходы с участка на участок. Такие случаи составляют по разным оценкам от 15 до 25 % производственного времени и характеризуются тем, что навесные орудия находятся в транспортном положении навесного устройства. Все это предъявляет повышенные требования к обеспечению безопасной и производительной работы агрегатов на лесных объектах. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что наибольшее влияние на безопасную работу агрегатов с поднятыми в транспортное положение орудиями на вырубках оказывает продольная устойчивость трактора и особенно случаи движения агрегата по уклону вверх, при которых вероятность его опрокидыванию назад существенно повышается. Существующие методики расчета продольной устойчивости все еще не в полной мере учитывают влияние сил, действующих на почвообрабатывающие агрегаты, находящиеся в транспортном положении и движущиеся вверх по уклону [1-3]. В связи с этим очевидно, что правильная оценка продольной устойчивости и комплектование, с учетом особенностей лесных объектов, заметно влияют на безопасность и общую производительность почвообрабатывающих агрегатов на лесных объектах [4, 5].

При лесовосстановлении наибольшие объемы работы приходятся на операции по уходу за лесными культурами на вырубках, выполняемых в соответствии с рекомендуемыми нормативами в течение трех лет. В этой связи выполним расчеты по оценке продольной устойчивости почвообрабатывающего агрегата в составе колесного трактора МТЗ-82.1 тягового класса 15 кН, оснащенного разработанными учеными ВГЛТУ рекуператорной навесной системой трактора и усовершенствованной конструкцией лесного дискового культиватора, что заметно улучшило его технико-экономические показатели (рис. 1) [6, 7]. При этом принятый по тяговому классу колесный трактор гарантированно обеспечивает работу усовершенствованного культиватора на вырубках, рабочее сопротивление которого не превышает 10 кН. Разработанная рекуперативная навесная система трактора позволяет заметно повысить транспортную скорость движения агрегата, его маневренность и проходимость на вырубках за счет демпфирования динамических нагрузок и обеспечения возможности перекосов рамы культиватора в поперечно вертикальной плоскости при наезде одной из дисковых батарей на препятствия. В тоже время изменение геометрических параметров и массы культиватора требуют проверки такого почвообрабатывающего агрегата на продольную устойчивость при его движении с поднятым в транспортное положение культиватором. При этом необходимо выполнить расчеты с целью проверки движения агрегата как на ровной поверхности, так и при его движении вверх на холмистой поверхности с определением максимального и безопасного угла уклона [8-11].

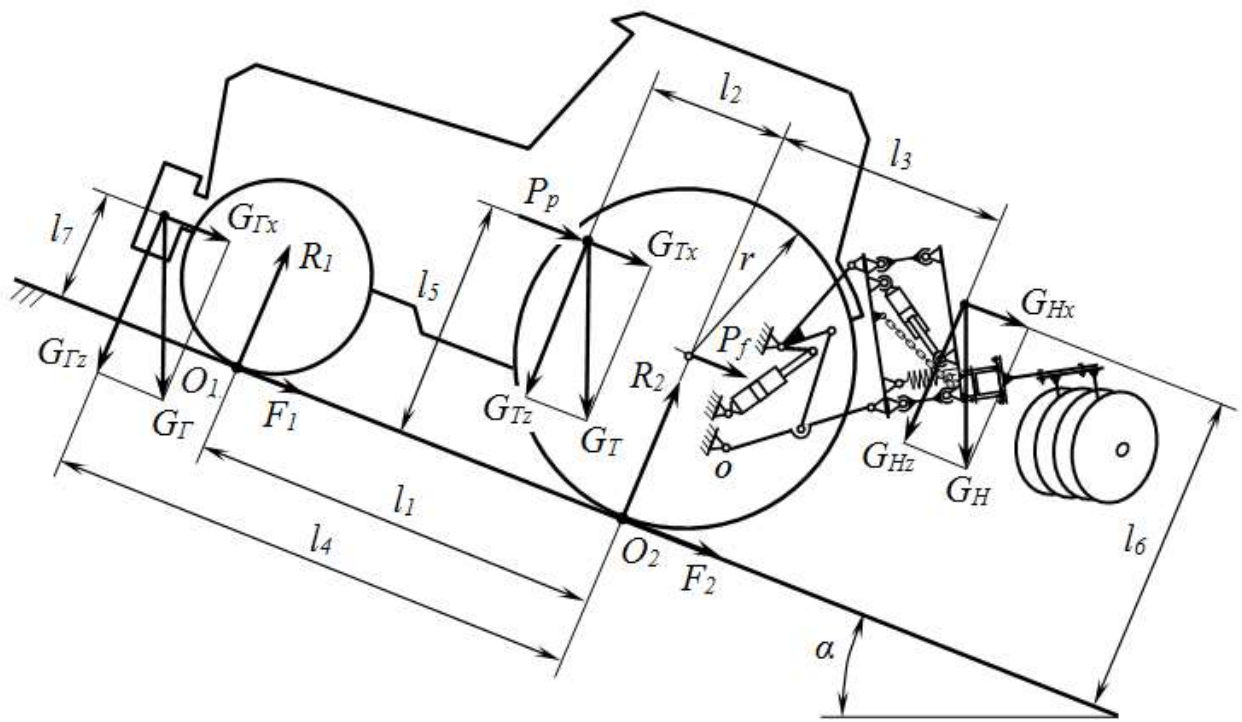


Рисунок 1 – Схема к расчету продольной устойчивости колесного трактора с рекуперативной навесной системой при движении вверх по уклону с лесным дисковым культиватором в транспортном положении

Проходимость и устойчивость, при движении по неровностям на лесных объектах рассматриваемого агрегата, характеризуются критическим углом  $\alpha$ , при котором агрегат, движущийся вверх, начинает опрокидываться назад, то есть когда в начальный момент опрокидывания реакция на передних колесах будет равна  $R_1 = 0$ . При этом силы сопротивления качению  $F_1$  и  $F_2$ , соответственно передних управляемых и задних ведущих колес, вследствие их малости по сравнению с другими силами, в расчетах не учитываем. Тогда в соответствии с расчетной схемой (рис. 1) для предельного положения исследуемого агрегата уравнение суммы моментов сил, действующих относительно точки  $O_2$  вращения системы ( $\sum M_{O_2} = 0$ ), можно записать в виде:

$$g \cdot G_{\Gamma} \cdot \cos \alpha \cdot l_4 - g \cdot G_{\Gamma} \cdot \sin \alpha \cdot l_7 + (g \cdot G_T + P_p) \cdot \cos \alpha \cdot l_2 - \\ - (g \cdot G_T + P_p) \cdot \sin \alpha \cdot l_5 - g \cdot G_H \cdot \cos \alpha \cdot l_3 - g \cdot G_H \cdot \sin \alpha \cdot l_6 - P_f = 0, \quad (1)$$

где  $G_{\Gamma}$ ,  $G_T$ ,  $G_H$  – массы груза, трактора и навесного культиватора, соответственно, кг;  $P_p$  – сила сопротивления агрегата разгону, Н;  $P_f$  – сила сопротивления трактора перекачиванию, Н;  $l_1$  – продольная база трактора, м;  $l_2$ – $l_7$  – горизонтальные и вертикальные плечи действия сил  $G_{\Gamma}$ ,  $G_T$ ,  $G_H$ ,  $P_p$ ,  $P_f$ , м.

В выражении (1) силы  $P_p$  и  $P_f$  способствуют отрыву передних колес при трогании, разгоне или торможении трактора и которые приближенно можно определить с помощью следующих выражений [2]:

$$P_p = \pm g (G_T + G_H) \cdot \delta \cdot a, \quad (2)$$

где  $g$  и  $a$  – ускорение свободного падения и ускорение агрегата,  $\text{м/с}^2$ ;  $\delta$  – коэффициент учета вращающихся частей двигателя, трансмиссии и колес трактора, который приближенно можно определить по эмпирической формуле:

$$\delta = 1,04 + 0,05 \cdot u_k^2, \quad (3)$$

где  $u_k$  – передаточное отношение коробки передач трактора.

$$P_f = R_2 \cdot f = g (G_T + G_H) \cdot f \cdot r \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления перекачиванию трактора;  $r$  – радиус ведущего колеса трактора.

После подстановки выражения (4) в выражение (1), деления последнего на  $\cos \alpha$  и простейших преобразований получим в общем виде следующее выражение для определения угла  $\alpha$  уклона при движении агрегата вверх

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{g \cdot G_T \cdot l_4 + (g \cdot G_T + P_p) \cdot l_2 - g \cdot G_H \cdot l_3 - g \cdot (G_T + G_H) \cdot f \cdot r}{g \cdot G_T \cdot l_7 + (g \cdot G_T + P_p) \cdot l_5 + g \cdot G_H \cdot l_6}. \quad (5)$$

С помощью выражения (5) и исходных данных были получены численным методом результаты расчетов параметров  $P_p$ ,  $\alpha$ ,  $K_y$  исследуемого агрегата, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные и результаты расчетов

Исходные данные														Результаты		
$G_T$ , кг	$G_H$ , кг	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$l_3$ , м	$l_4$ , м	$l_5$ , м	$l_6$ , м	$l_7$ , м	$r$ , м	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$f$	$u_{\kappa}$	$G_T$ , кг	$P_p$ , Н	$\alpha$ , град.	$K_y$
4000	642	2.45	0,82	2,28	4	0,97	1,8	0,71	0,82	0,5	0,07	3,17	0	35029	29	0,45

Как следует из результатов расчета, максимальный угол уклона опорной поверхности при подъеме для рассматриваемого почвообрабатывающего агрегата составил  $29^\circ$ , что на много превышает рекомендуемое значение такого угла для колесных тракторов  $8^\circ$ .

Для оценки степени обеспечения продольной устойчивости рассматриваемого почвообрабатывающего агрегата, используем принимаемый в таких случаях коэффициент  $K_y$  запаса устойчивости, который обеспечивается выбором трактора, соответствующего по тяговому классу навесному орудию и (или) применением груза  $G_T$ , закрепляемого на раме в передней части трактора. В соответствии с известными рекомендациями значение этого коэффициента для колесных тракторов, в зависимости от условий их работы на горизонтальной поверхности, должно находиться в пределах 0,3-0,5. Определим  $K_y$  из следующего отношения моментов [2]:

$$K_y = M_{Ho2}/M_{To2}, \quad (6)$$

где  $M_{Ho2}$  и  $M_{To2}$  – моменты сил относительно опорной точки  $O_2$ , создаваемые соответственно весом поднятого в транспортное положение навесного орудия, способного оторвать от опорной поверхности передние колеса трактора и противодействующих сил со стороны трактора и груза, Н/м.

Согласно расчетной схеме (рис. 1), выражение (6) можно представить в виде

$$K_y = \frac{g \cdot G_H \cdot l_2}{g \cdot G_T \cdot l_2 + g \cdot G_T \cdot l_4}. \quad (7)$$

После подстановки соответствующих значений параметров в выражение (7) и принимая при этом  $G_T = 0$ , получим величину коэффициента продольной устойчивости агрегата равной  $K_y = 0,45$ . Такое значение коэффициента  $K_y$  свидетельствует о гарантированной надежной работе рассматриваемого почвообрабатывающего агрегата при его движении на вырубке с поднятым в транспортное положение навесным дисковым культиватором даже без использования груза, что способствует снижению расхода топлива трактором.

Таким образом, принятое в расчетах агрегатирование предлагаемой рекуперативной навесной системы и усовершенствованного лесного дискового культиватора с колесным трактором тягового класса 15 кН обеспечивает надежную и эффективную работу такого почвообрабатывающего агрегата на вырубках, как в рабочем, так и в транспортном положениях.

### Список литературы

1. Баранов А.И. Машины и механизмы для лесного хозяйства / А.И. Баранов. – М: Гослесбумиздат, 1962. – 380 с.
2. Нартов П.С. Проектирование и расчет лесохозяйственных машин: учеб. пособие / П.С. Нартов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980. – 192 с.
3. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов – М: Машино-строение, 1977. – 328 с.
4. Посметьев В.И. Состояние и пути повышения эффективности почвообрабатывающих агрегатов при лесовосстановлении на вырубках: монограф. / В.И. Посметьев, В.А. Зеликов; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ Воронеж. гос. лестех. акад. – Воронеж, 2015. – 235 с.
5. Савинков М.А. Состояние и пути повышения эффективности лесных дисковых культиваторов на вырубках и гарях / М.А. Савинков, В.И. Посметьев, В.О. Никонов // Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки и исследования: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 03 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 54-62. – DOI 10.58168/MFCC2024\_54-62.
6. Патент № 2830434 С1 Российская Федерация, МПК А01В 63/10, А01В 63/32. Навесная система трактора: № 2023136342: заявл. 30.12.2023: опубл. 19.11.2024 / В.И. Посметьев, М.А. Савинков, В.О. Никонов [и др.]; заявитель



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова».

7. Перспективы разработки рекуперативного навесного механизма трактора с приспособлением для агрегатирования его с лесными дисковыми орудиями / В.И. Посметьев, В.О. Никонов, М.А. Савинков, Е.В. Снятков // Проблемы эксплуатации и перспективы развития автомобильного транспорта: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 05-06 октября 2023 года / Отв. редактор В.О. Никонов. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2023. – С. 101-111. – DOI 10.58168/OPPRTD\_101-111.

8. Припоров Е.В. Повышение продольной устойчивости навесных агрегатов / Е.В. Припоров // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 5(15). – С. 115-119.

9. ГОСТ ISO 730-2019 Тракторы колесные сельскохозяйственные. Трехточечное заднее навесное устройство. Категории 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N и 4. – Введ. 2020-08-01. – М: Стандартинформ, 2019. – 20 с.

10. ГОСТ 12.2.019-2015 Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. – Введ. 2017-07-01. – М: Стандартинформ, 2019. – 20 с.

11. Кальбус Г.Л. Основы эксплуатации навесных систем тракторов: учеб. пособие / Г.Л. Кальбус. – Киев: Издательство Украинской Академии сельскохозяйственных наук, 1976. – 150 с.

## References

1. Baranov A.I. Machines and mechanisms for forestry / A.I. Baranov. – M: Goslesbumizdat, 1962. – 380 p.

2. Nartov P.S. Design and calculation of forestry machines: textbook / P.S. Nartov. – Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 1980. – 192 p.

3. Sineokov G.N. Theory and calculation of tillage machines / G.N. Sineokov, I.M. Panov – M: Mashinostroenie, 1977. – 328 p.

4. Posmetev V.I. Status and ways to improve the efficiency of tillage units in reforestation in clearings: monograph. / V.I. Posmetev, V.A. Zelikov; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, FGBOU Voronezh. state forestry academy. – Voronezh, 2015. – 235 p.

5. Savinkov M.A. Status and ways to improve the efficiency of forest disk cultivators in clearings and burnt-out areas / M.A. Savinkov, V.I. Posmetyev, V.O. Nikonov // Modern forest complex of the country: innovative developments and research: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, October 3, 2024. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. – pp. 54-62. – DOI 10.58168/MFCC2024\_54-62.

6. Patent № 2830434 C1 Russian Federation, IPC A01B 63/10, A01B 63/32. Tractor mounted system: № 2023136342: declared 30.12.2023: published 19.11.2024 / V.I. Posmetyev, M.A. Savinkov, V.O. Nikonov [et al.]; applicant Federal State

Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov».

7. Prospects for the development of a regenerative tractor mounted mechanism with a device for aggregating it with forest disk tools / V.I. Posmetyev, V.O. Nikonov, M.A. Savinkov, E.V. Snyatkov // Problems of operation and development prospects of automobile transport: Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference, Voronezh, October 5-6, 2023 / Responsible. editor V.O. Nikonov. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2023. – pp. 101-111. – DOI 10.58168/OPPRTD\_101-111.

8. Priporov E.V. Increasing the longitudinal stability of mounted units / E.V. Priporov // Innovations in agriculture. – 2015. – № 5 (15). – pp. 115-119.

9. GOST ISO 730-2019 Agricultural wheeled tractors. Three-point rear linkage. Categories 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N and 4. – Introduced on 2020-08-01. – M: Standartinform, 2019. – 20 p.

10. GOST 12.2.019-2015 Occupational safety standards system. Tractors and self-propelled agricultural machines. General safety requirements. – Introduced on 2017-07-01. – M: Standartinform, 2019. – 20 p.

11. Kalbus G.L. Basics of operation of tractor mounted systems: textbook / G.L. Kalbus. – Kyiv: Publishing House of the Ukrainian Academy of Agricultural Sciences, 1976. – 150 p.

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ БИОТОПЛИВА: ВЫЗОВЫ  
ХРАНЕНИЯ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ  
РОССИЙСКОГО КЛИМАТА**

**Сердюкова Н.А., Татаренко И.Р.**

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия*

**BIOFUEL TEMPERATURE INSTABILITY: STORAGE CHALLENGES  
AND WAYS TO OVERCOME THEM UNDER CONDITIONS**

**Serdyukova N.A., Tatarenko I.R.**

*Military Education and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky  
and Y.A Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Статья посвящена исследованию температурной неустойчивости биотоплива в условиях холодного климата России. Рассмотрены основные эксплуатационные ограничения биодизеля. Представлены сравнительные данные физических и химических свойств биодизеля, смесей с минеральным дизельным топливом и различными добавками.

*Abstract:* The article is devoted to the study of the temperature instability of biofuels in the cold climate of Russia. The main operational limitations of biodiesel are considered. Comparative data of physical and chemical properties of biodiesel, mixtures with mineral diesel fuel and various additives are presented.

*Ключевые слова:* биотопливо, хранение, температурная неустойчивость топлива, окружающая среда, экология.

*Keywords:* biofuels, storage, fuel temperature instability, environment, ecology.

Бурное развитие альтернативной энергетики, в том числе биотопливных технологий, наталкивается на ряд серьёзных проблем, связанных с эксплуатацией таких топлив в низкотемпературных условиях. Российский климат, особенно в средней полосе и северных регионах, накладывает строгие ограничения на использование биотоплива, особенно в зимние месяцы. Наиболее существенным фактором, ограничивающим практическое применение, выступает температурная неустойчивость топлива – его склонность к помутнению, загустеванию, расслоению и кристаллизации при пониженных температурах. Биодизель, несмотря на его экологические преимущества, проявляет особенно чувствительную реакцию на климатические колебания.

По сравнению с традиционным дизельным топливом, метиловые эфиры жирных кислот (FAME), производимые из растительных масел, характеризуются заметно более высокой температурой застывания и началом помутнения.

Например, биодизель на основе рапсового масла застывает уже при  $-9^{\circ}\text{C}$ , а его прозрачность нарушается при  $-3^{\circ}\text{C}$ . В то же время зимние сорта минерального дизельного топлива сохраняют текучесть до  $-35^{\circ}\text{C}$ , а кристаллизация парафинов начинается лишь при  $-25^{\circ}\text{C}$  [1-3]. Это означает, что даже умеренное понижение температуры делает использование чистого биотоплива затруднительным или невозможным без дополнительных мер.

Российские прикладные исследования показывают, что параметры плотности и вязкости биодизеля, особенно при снижении температуры, значительно отличаются от привычных значений дизеля. В работе, опубликованной в журнале «Автомобильный транспорт», были представлены результаты анализа топлива, полученного из использованного кулинарного масла. При температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  плотность такого топлива составила  $880\text{ кг/м}^3$ , что превышает аналогичный показатель у зимнего дизеля (около  $825\text{ кг/м}^3$ ). Вязкость же оказалась настолько высокой, что при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  требовалось её снижение путём добавления спиртовых компонентов [4].

Ниже представлена сравнительная таблица, иллюстрирующая основные физико-химические параметры различных топлив и смесей (табл. 1).

Таблица 1 – Основные характеристики различных топлив и смесей

Параметр	Биодизель	Смесь В20 (BD + 20 % спирта)	Зимнее дизтопливо
Плотность при $+20^{\circ}\text{C}$ , $\text{кг/м}^3$	880	–	825
Вязкость при $0^{\circ}\text{C}$ , $\text{мм}^2/\text{с}$	Высокая	Уменьшается на 40...50 %	Нормативная
Температура текучести, $^{\circ}\text{C}$	$\approx -5$	до $-10$ при спиртовой добавке	до $-35$

Несмотря на улучшения при смешивании, практические испытания показали: смеси, содержащие более 40 % биодизеля, уже при  $-10^{\circ}\text{C}$  теряют фильтруемость, а при  $-15^{\circ}\text{C}$  наблюдается полный отказ текучести. Поэтому эксплуатация таких смесей в регионах с типичными зимними температурами требует дополнительных решений.

Рассмотрим результаты исследований влияния на морозоустойчивость биодизельных смесей с добавлением различных концентраций рапсового масла (табл. 2) [4, 5].

Из таблицы видно: даже при содержании всего 20 % растительного компонента характеристики смеси значительно ухудшаются – вязкость увеличивается в 20 раз, а застывание наступает на 15 градусов раньше. Это накладывает ограничение на возможный процент биокомпонентов в зимних условиях и указывает на необходимость добавления депрессорных присадок.

Таблица 2 – Параметры топлива при различных концентраций рапсового масла

<b>Композиция топлива</b>	<b>Плотность, кг/м<sup>3</sup></b>	<b>Вязкость, мм<sup>2</sup>/с</b>	<b>Точка застывания, °С</b>	<b>Температура помутнения, °С</b>
Минеральное дизтопливо (ДТ)	830	3,8	-35	-25
ДТ + 20 % рапсового масла	916	75	-20	–9
ДТ + 40 % масла	848	19	–	–
ДТ + 60 % масла	865	30	–	–

Ряд опытов показал, что использование депрессоров может радикально изменить поведение биотоплива при низких температурах. Так, при добавлении всего 0,05 % присадки D-110 температура застывания биодизеля снизилась с -5 до -31 °С, а использование Viscoplex-7-610 позволило достичь показателя в -35 °С [6, 7]. Это позволяет судить о высокой эффективности данных добавок, особенно при разработке зимних рецептов биотоплива (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние присадок на температуру застывания биотоплива

<b>Присадка</b>	<b>Концентрация, %</b>	<b>Температура застывания, °С</b>
Без добавок	–	-5
D-110	0,05	-31
Viscoplex-7-610	0,05	-35
Dodiflow (этиленвинилацетат)	0,10	-18
Dodiflow (этиленвинилацетат)	0,20	-25

Полученные данные подтверждают, что, несмотря на изначальную непригодность большинства биотопливных композиций для холодного климата, существует возможность адаптации таких топлив под российские реалии за счёт изменения рецептуры, смешения с зимним дизтопливом и использования современных химических модификаторов.

Однако важно отметить, что большинство присадок разработано под минеральные топлива, и их совместимость с FAME требует дальнейших исследований. Кроме того, биотоплива склонны к гигроскопичности и быстрой деградации при температурных колебаниях, что требует создания специализированных условий хранения – термоизолированных резервуаров, систем подогрева и фильтрации, исключающих попадание влаги.

Температурная нестабильность является критическим ограничением для широкого внедрения биотоплива в России. Исследования подтверждают, что даже при малейшем понижении температуры большинство биотопливных ком-

позиций теряют эксплуатационные свойства. Для преодоления этой проблемы необходим комплексный подход, включающий:

- Использование адаптированных депрессорных присадок;
- Стандартизацию зимних биотопливных смесей;
- Региональную корректировку нормативов по вязкости, фильтруемости и температуре застывания;
- Разработку специализированной логистической и складской инфраструктуры.

Научные данные подтверждают реальность адаптации биотоплива к суровому климату. Однако для этого требуется системная поддержка со стороны государственных структур, научного сообщества и производителей топлива.

### Список литературы

1. Биодизель: преимущества, недостатки и перспективы применения в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] // Агровестник [сайт] [2025]. – URL: <https://biokorova.ru/biodizel-preimushhestva-nedostatki-i-perspektivy-primeneniya-v-selskom-hozyajstve> (дата обращения: 17.09.2025)
2. Пономарева А.А. Топливно-энергетические ресурсы / А.А. Пономарева, Е.О. Самуйлова, А.В. Лесных. – СПб: Университет ИТМО, 2021. – 107 с.
3. Анализ и прогноз рынка биотоплива в России и в мире [Электронный ресурс] // Polymery.ru [сайт] [2025]. – URL: <https://www.polymery.ru/rep.php?id=1416&x=1&folder=> (дата обращения: 25.08.2025)
4. Кривцов С.Н. Низкотемпературные свойства топливных смесей на основе биодизеля, полученного из отработанного фритюрного масла / С.Н. Кривцов, Т.И. Кривцова, Н.И. Ковалёва // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90. – №2. – С. 91-98. DOI: 10.17816/0321-4443-171148
5. Марков В.А. Исследование вязкостных характеристик биотоплив на основе растительных масел / В.А. Марков, С.Н. Девянин, С.А. Зыков [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – Т. 83. – №12. – С. 3-9. DOI: 10.17816/0321-4443-66237
6. Татаренко И.Р. Исследование влияния условий хранения биодизельного топлива на его свойства / И.Р. Татаренко, Н.А. Сердюкова, А.А. Шевцов // Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки и исследования: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 03 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 105-110.
7. Левин М.Ю. Сохранение качества биодизельного топлива за счет совершенствования технологии его хранения: специальность 05.20.01 , 05.20.03: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Левин Максим Юрьевич. – Мичуринск-Наукоград РФ, 2012. – 186 с.

### References

1. Biodiesel: Advantages, Disadvantages, and Prospects for Application in Agriculture [Electronic resource] // Agrovestnik [website] [2025]. – URL:

<https://biokorova.ru/biodizel-preimushhestva-nedostatki-i-perspektivy-primeneniya-v-selskom-hozyajstve> (accessed: 17.09.2025)

2. Ponomareva A.A. Fuel and Energy Resources / A.A. Ponomareva, E.O. Samoylova, A.V. Lesnykh. – St. Petersburg: ITMO University, 2021. – 107 p.

3. Analysis and Forecast of the Biofuel Market in Russia and Globally [Electronic resource] // Polymery.ru [website] [2025]. – URL: <https://www.polymery.ru/rep.php?id=1416&x=1&folder=> (date accessed: 25.08.2025)

4. Krivtsov S.N. Low-temperature properties of fuel mixtures based on biodiesel obtained from waste frying oil / S.N. Krivtsov, T.I. Krivtsova, N.I. Kovaleva // Tractors and agricultural machinery. – 2023. – Vol. 90. – № 2. – pp. 91-98. DOI: 10.17816/0321-4443-171148

5. Markov V.A. Study of viscosity characteristics of biofuels based on vegetable oils / V.A. Markov, S.N. Devyanin, S.A. Zykov [et al.] // Tractors and agricultural machinery. – 2016. – Vol. 83. – № 12. – pp. 3-9. DOI: 10.17816/0321-4443-66237

6. Tatarenko I.R. Study of the influence of storage conditions of biodiesel fuel on its properties / I.R. Tatarenko, N.A. Serdyukova, A.A. Shevtsov // Modern forestry complex of the country: innovative developments and research: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, October 3, 2024. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. – pp. 105-110.

7. Levin M.Yu. Maintaining the quality of biodiesel fuel by improving its storage technology: specialty 05.20.01, 05.20.03: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Levin Maxim Yuryevich. – Michurinsk-Science City of the Russian Federation, 2012. – 186 p.

## **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ**

**Фокин С.В., Шпортько О.Н.**

*Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия*

## **ABOUT THE OPERATION OF THE FEEDING MECHANISM OF THE DE- VICE FOR GRINDING CUTTING RESIDUES**

**Fokin S.V., Shportyko O.N.**

*Saratov State Technical University named after Gagarin Y.A.  
Saratov, Russia*

*Аннотация:* В статье приводятся конструктивная схема и результаты расчета основных конструктивно-технологических параметров механизма подачи машины для измельчения порубочных остатков. Проектируемая рубильная машина оснащается вальцовым винтовым механизмом подачи для продольного перемещения порубочных остатков к рубильному диску.

*Abstract:* The article presents the structural diagram and the results of the calculation of the main design and technological parameters of the feeding mechanism for the machine used to shred chopped residues. The designed chopping machine is equipped with a roller screw feeding mechanism for the longitudinal movement of the chopped residues toward the chopping disc.

*Ключевые слова:* рубильная машина, порубочные остатки, измельчение винтовой механизм подачи.

*Keywords:* chopping machine, chopping waste, grinding screw feed mechanism.

Система загрузки рубильной машины для древесных отходов включает в себя ряд основных компонентов: прежде всего, приемный бункер, конструктивно содержащий скошенные верхние и горизонтальные нижние плоскости, направляющие элементы и параллельные боковые стенки; во-вторых, крестообразный подающий механизм; в-третьих, ременную передачу клинового типа; в-четвертых, вальцы с винтовой нарезкой; и, в завершение, наклонные уплотнительные щитки (рис. 1) [1-3].

Конструкция загрузочной воронки механизма подачи условно делится на три различных участка, каждый из которых выполняет свою роль:

Первый участок – это область загрузки, где расположены направляющие элементы, крестообразный подающий механизм и вальцы.

Второй участок – область уплотнения, сформированная вальцами.

Третий участок – зона финального уплотнения, в которой находятся валь-



цы и наклонные пластины для доуплотнения.

Перемещение древесных отходов, отобранных для дальнейшего дробления, осуществляется следующим образом: первично, исходный материал поступает в приемную область (участок один). Посредством направляющих элементов и крестообразной системы подачи, он продвигается к вальцовому механизму. На данном этапе происходит минимальное сжатие сырья [4-6].

В области приема сырья создается некоторый запас необработанного материала, готового к последующей транспортировке в следующие секции с использованием вальцов. Для качественного захвата и продвижения перерабатываемого вещества, вальцы оборудованы спиралевидными направляющими зубцами, гарантирующими уверенное зацепление [7-9].

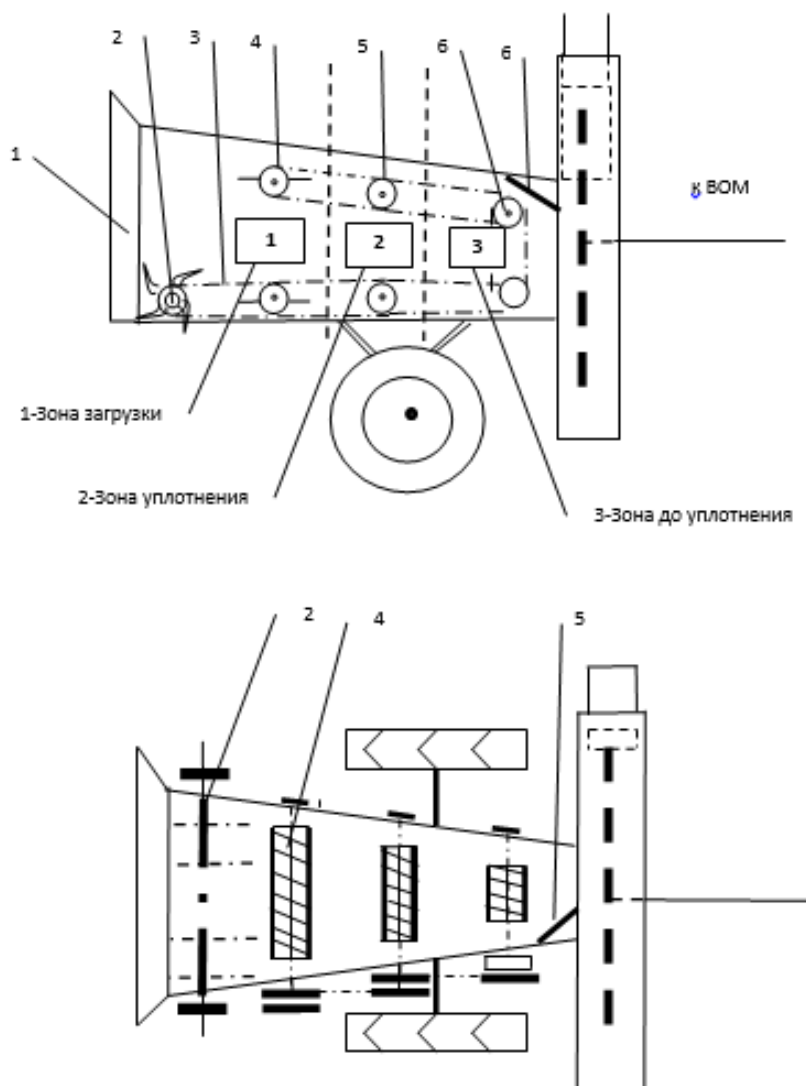


Рисунок 1 – Схема механизма подачи устройства для измельчения порубочных остатков

Первоначально, остатки лесозаготовительной деятельности попадают в зону прессования (участок два), где валки 4 осуществляют сжатие подаваемой массы перерабатываемого сырья. Процесс сжатия обеспечивается за счет того, что количество перемещаемых отходов, благодаря валкам 4, ограничивается в

пределах плоскости приемного отверстия. Затем, винтовая нарезка, находящаяся на поверхности вала 4, способствует перемещению материала в сторону измельчающего диска.

При этом происходит сжатие материала в горизонтальной плоскости. Наклонная верхняя часть загрузочного отверстия 1 сжимает сырье в вертикальной плоскости. Направляющие зубья, расположенные на поверхности ролика, способствуют дальнейшему продвижению материала.

Когда спрессованная масса отходов лесопиления попадает в зону компрессии (участок три), выступы на поверхности валков 4 продвигают субстанцию через скошенные прессовочные элементы 5 и 6. Угол наклона этих элементов служит не только для сдавливания сырья, но и для задания требуемого угла направления, обеспечивающего оптимальное размельчение материала. Направление перемещения обрабатываемых отходов лесозаготовки отображено на рис. 2.

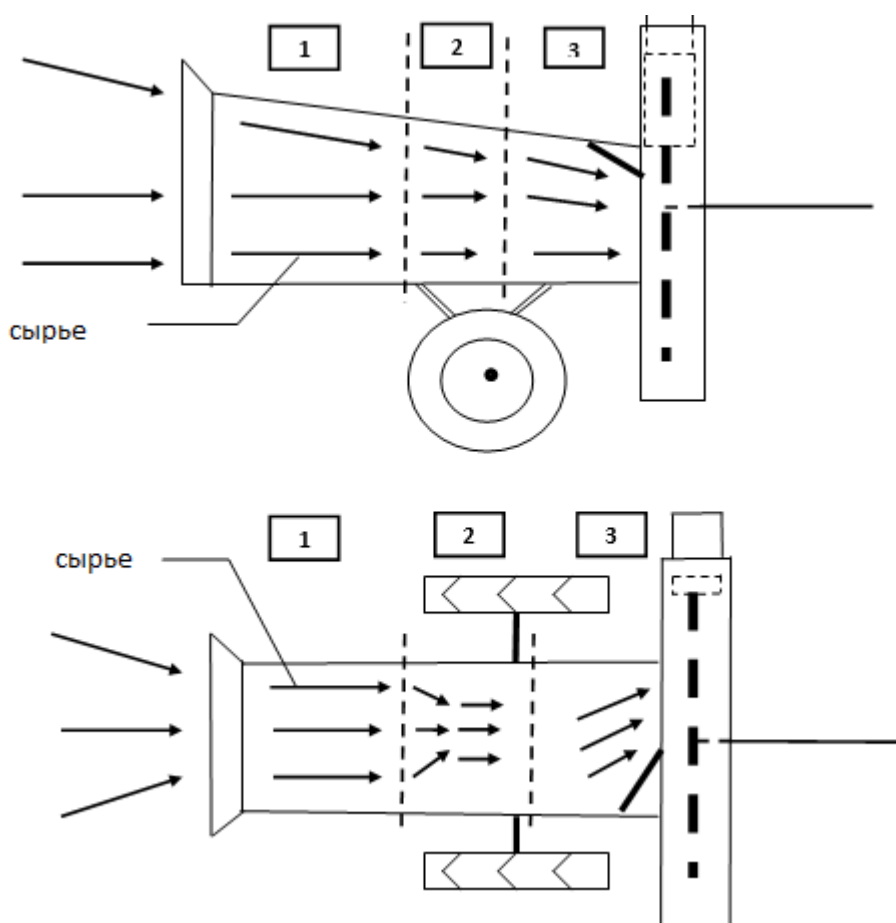


Рисунок 2 – Схема движения материала в механизме подачи на порубочные остатки

Для успешной реализации цели исследования необходимо определить основополагающие характеристики конструкции и технологического процесса механизма, осуществляющего транспортировку сырья в дробилку древесных отходов. Спроектирован вальцово-шнековый механизм подачи для измельчительной машины, предназначенной для переработки порубочных остатков, гарантирующий их поступательное движение в направлении рубильного диска. В

конечном участке системы вальцово-шнековой подачи расположен боковой ограничитель, размещенный под углом  $\beta^\circ$  к продольной оси вальцов [10].

Вычисления, базирующиеся на исследованиях Фокина С.В., принимают во внимание следующие величины: длина приемного отсека – 2,4 м; протяженность обрабатываемых отходов – 3,2 м; доминирующая порода дерева – дуб; удельный вес древесины – 800 кг/м<sup>3</sup>; требуемая выработка – 28 линейных метров в час; объем загрузочной области – 2,3 м<sup>3</sup>; размер валка – 0,6 м; полезное действие механизма – 0,85.

На основе установленной производительности вычисляется скорость перемещения порубочных остатков в продольном направлении, при условии коэффициента заполнения  $\varphi = 0,3$ .

$$V = \frac{Ql}{3600\varphi} = \frac{28 \cdot 3,2}{3600 \cdot 0,3} = \frac{89,6}{1080} = 0,08 \text{ м/с}$$

Угол подъема винтовой линии ролика при диаметре гребня  $D_z=160$  мм и шаге винта  $t = 70$  мм определим из зависимости:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{tn_0}{\pi D_z}\right),$$

где  $n_0$  – число заходов винта, равное 1:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{tn_0}{\pi D_z}\right) = \arctg\left(\frac{70 \cdot 1}{3,14 \cdot 160}\right) = 7,93^\circ$$

Определим количество роликов при  $l_B=0,6$  м и длине загрузочного патрона  $L=2,3$  м по зависимости вида:

$$n_{\text{г}} = \frac{L}{l_{\text{г}}} + 1 = \frac{2,4}{0,6} + 1 = 5 \text{ шт. в одном ряду.}$$

Определим вес объема порубочных остатков по зависимости:

$$G_{\text{о}} = gv\gamma = 9,81 \cdot 2,3 \cdot 800 = 18050,4 \text{ Н}$$

Определим вес ролика по зависимости:

$$G_p = g(20B + 4) = 9,81 \cdot (20 \cdot 0,6 + 4) = 156,9 \text{ Н}$$

Находим значения коэффициентов сцепления, трения качения, трения скольжения в подшипниковой опоре и диаметра оси вальца механизма подачи:

$$\mu = 0,62 + 0,00115D = 0,62 + 0,00115 \cdot 160 = 0,8;$$

$$K = 0,45 + 0,0022D = 0,45 + 0,0022 \cdot 160 = 0,9 \text{ мм};$$

где  $f = 0,05$  для подшипников качения;

$$d_o = (1/5 - 1/6)D = 0,2 \cdot 160 = 32 \text{ мм};$$

Определим максимальное тяговое усилие вальца при затормаживании порубочных остатков направляющей пластиной:

$$F_m = G\mu = 18050,4 \cdot 0,8 = 14440,3 \text{ Н}$$

Соппротивление трения при движении порубочных остатков определим по формуле:

$$F_{mp} = \alpha_3 (z_0 G_{zp} \cdot \frac{2K + fd_0}{D_p} + n G_p \cdot \frac{fd_0}{D_p}) = 1,5 \cdot (1 \cdot 18050,4 \cdot \frac{2 \cdot 0,9 + 0,05 \cdot 32}{160} + 5 \cdot 156,9 \cdot \frac{0,05 \cdot 32}{160}) = 553 \text{ Н}$$

Определим мощность двигателя, необходимую для работы механизма подачи:

$$P = \frac{F_m \cdot V}{1000\eta} = \frac{14440,3 \cdot 0,08}{1000 \cdot 0,85} = 1,3 \text{ кВт}$$

На основании проведенных вычислений были установлены ключевые параметры конструкции и технологии механизма подачи измельчителя древесных отходов:

1. Скорость перемещения материала к режущему диску составила 0,08 м/с;
2. Количество роликов в одном ряду – 5 единиц;
3. Мощность, необходимая для привода роликов, – 1,3 кВт.

### Список литературы

1. Фокин С.В. Об использовании математических методов моделирования рубительных машин / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Фундаментальные исследования, методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы 17-ой Международной молодежной научно-практической конференции, Новочеркасск, 06-07 сентября 2018 года. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2018. – С. 158-159.
2. Есков Д.В. Ресурсосберегающие технологии при проектировании лесных грунтометательных машин / Д.В. Есков, С.В. Фокин, Д.В. Цыбаев [и др.] //

Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2, № 3-4(8-4). – С. 62-65.

3. Фокин С.В. К вопросу переработки древесных отходов на предприятиях АПК / С.В. Фокин, О.Н. Шпортько, К.С. Манышев // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: II международная научно-практическая интернет-конференция, с. Соленое Займище, 28 февраля 2017 года / ФГБНУ «Прикаспийский НИИ аридного земледелия». – с. Соленое Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2017. – С. 1822-1825.

4. Фокин С.В. Обоснование конструкции машин фрезерного типа для получения биотоплива в условиях лесов степной и лесостепной зон Поволжья / С.В. Фокин, О.Н. Шпортько // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2, № 5-3(10-3). – С. 156-160.

5. Фокин С.В. Способы транспортирования щепы из рубительных машин / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Научная жизнь. – 2018. – № 2. – С. 10-15.

6. Фокин С.В. Моделирование машины для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 258-265.

7. Фокин С.В. О конструктивных особенностях дисковой рубительной машины для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Саратов, 17-19 марта 2020 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2020. – С. 390-393.

8. Фокин С.В. О перспективных технических средствах для ведения агролесомелиоративных мероприятий / С.В. Фокин, А.Н. Фетяев, О.Н. Шпортько // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. – С. 158.

9. Фетяев А.Н. Об имитационной модели процесса измельчения порубочных остатков / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 2. – С. 291-294.

10. Фокин С.В. К обоснованию конструктивно-технологических параметров механизма выброса щепы из дисковой рубительной машины / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2021. – Т. 25, № 2. – С. 99-107.

## References

1. Fokin S.V. On the Use of Mathematical Methods for Modeling Chopping Machines / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Fundamental Research, Methods and Algorithms of Applied Mathematics in Engineering, Medicine, and Economics: Proceedings of the 17th International Youth Scientific and Practical Conference, Novocherkassk, September 6-7, 2018. – Novocherkassk: LLC «Lik», 2018. – pp. 158-159.

2. Eskov D.V. Resource-Saving Technologies in the Design of Forest Soil-Dumping Machines / D.V. Eskov, S.V. Fokin, D.V. Tsybaev [et al.] // Relevant Directions of Scientific Research in the 21st Century: Theory and Practice. – 2014. – Vol. 2, № 3-4(8-4). – pp. 62-65.

3. Fokin S.V. On the Processing of Wood Waste in Agricultural Enterprises / S.V. Fokin, O.N. Shportyko, K.S. Manychev // Current Ecological State of the Natural Environment and Scientific-Practical Aspects of Rational Use of Natural Resources: II International Scientific and Practical Internet Conference, Solenoe Zaimishche, February 28, 2017 / Federal State Budgetary Scientific Institution «Caspian Research Institute of Arid Agriculture». – Solenoe Zaimishche: Caspian Scientific Research Institute of Arid Agriculture, 2017. – pp. 1822-1825.
4. Fokin S.V. Justification of the design of milling-type machines for obtaining biofuel in the conditions of forests of the steppe and forest-steppe zones of the Volga region / S.V. Fokin, O.N. Shportko // Actual directions of scientific research in the 21st century: theory and practice. – 2014. – Vol. 2, № 5-3(10-3). – pp. 156-160.
5. Fokin S.V. Methods of transporting wood chips from chopping machines / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Nauchnaya Zhizn. – 2018. – № 2. – pp. 10-15.
6. Fokin S.V. Modeling of a machine for grinding logging residues / S.V. Fokin // Scientific Review. 2011. № 5. pp. 258-265.
7. Fokin S.V. On the Design Features of a Disc Chopper Machine for Grinding Tree Stumps / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Innovations in Environmental Management and Protection in Emergency Situations : Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference, Saratov, March 17-19, 2020. – Saratov: Amirit LLC, 2020. – pp. 390-393.
8. Fokin S.V. On Promising Technical Means for Conducting Agroforestry Measures / S.V. Fokin, A.N. Fetyaev, O.N. Shportko // Modern Problems of Science and Education. – 2015. – № 2-1. – pp. 158.
9. Fetyaev A.N. On the Simulation Model of the Process of Chopping Tree Stumps / A.N. Fetyaev, S.V. Fokin // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2012. – № 2. – pp. 291-294.
10. Fokin S.V. To substantiation of constructive and technological parameters of the mechanism of chip ejection from the disc chopping machine / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Forest Bulletin. Forestry Bulletin. – 2021. – Vol. 25, № 2. – pp. 99.

**О КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКАХ ПРИВОДА  
РУБИЛЬНЫХ МАШИН**

**Фокин С.В., Шпортько О.Н.**

*Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия*

**ABOUT CLASSIFICATION FEATURES OF GRINDING MACHINES**

**Fokin S.V., Shportyko O.N.**

*Saratov State Technical University named after Gagarin Y.A.  
Saratov, Russia*

*Аннотация:* В данной работе представлены классификационные признаки привода рубильных машин. Проводится анализ использования различных типов приводов на рубильных машинах.

*Abstract:* This paper presents the classification features of the drive of chopping machines. It analyzes the use of different types of drives on chopping machines.

*Ключевые слова:* плантационные леса, рубильная машина, энергетическая древесина, измельчение древесных отходов.

*Keywords:* plantation forests, chopping machine, energy wood, wood waste grinding.

Интенсивное лесное хозяйство, основанное на плантационном выращивании, представляет собой многообещающий путь к решению разнообразных социально-экономических проблем лесных регионов и экологической модернизации национальной экономики, включая ее топливно-энергетическую отрасль [1].

В государствах, таких как Швеция, Канада, Австрия и Соединенные Штаты, существуют специальные энергетические леса, предназначенные для производства тепла и электроэнергии из биомассы, что акцентирует значимость развития этого подхода.

Эффективное управление утилизацией древесных остатков, образующихся в процессе выращивания плантационных лесов и переработки древесины в конечные продукты, играет ключевую роль в успешном создании энергетических плантаций и планировании их размещения [2].

Использование передвижных измельчителей древесины позволяет эффективно перерабатывать тонкомерное древесное сырье. Ключевым шагом в этой технологии является превращение древесины в мелкую фракцию, что обеспечивает унифицированный размер щепы.

Данная процедура значительно упрощает транспортировку и дальнейшее применение произведенной щепы [3]. Среди всего многообразия оборудования,

применяемого для изготовления топливной щепы, измельчительная машина выделяется высокой энергозатратностью, сложностью конструкции и значительной стоимостью.

Далее приведем систематизацию существующих конструкций рубильных машин [4]:

Существует несколько способов классификации измельчителей древесины:

а) В зависимости от конструкции режущего элемента:

1. Дисковые измельчители, где измельчение происходит при помощи вращающегося плоского или фасонного диска с закрепленными на нем режущими лезвиями.
2. Барабанные измельчители, в которых режущие элементы установлены на внешней стороне вращающегося барабана, который может быть:
  - цилиндрическим;
  - коническим;
  - состоять из двух конусов, объединенных вершинами на одной оси.

б) В зависимости от мобильности:

1. Неподвижные (стационарные) установки.
2. Мобильные установки (буксируемые, полуприцепные или смонтированные на шасси трактора).

в) В зависимости от способа подачи древесины:

1. Измельчители с горизонтальным загрузочным устройством, в которое древесина подается посредством цепного, ленточного конвейера, роликового стола или шнеков.
2. Измельчители с наклонным загрузочным устройством, где перемещение древесины осуществляется под действием силы тяжести.
3. Измельчители с комбинированной системой загрузки, оборудованные двумя загрузочными устройствами.

г) В зависимости от способа удаления щепы:

1. Транспортировка щепы вверх по трубопроводу под воздействием воздушного потока.
2. Вывод щепы вниз на конвейерную ленту.
3. Безударная транспортировка щепы в том же направлении, что и подача сырья в измельчитель.

Следует подчеркнуть, что, несмотря на его значимость, привод зачастую недооценивается среди прочих классификационных характеристик. Однако, именно привод является сложной системой, обеспечивающей запуск и функционирование машин и их компонентов.

Его задача заключается в трансформации энергии из одной формы в другую и направлении этой энергии к конечному исполнительному органу. Привод играет роль связующего элемента между двигателем и рабочим механизмом, будь то машина или движитель [5].

В зависимости от типа используемого механизма привода, рубильные машины могут быть оснащены:

- автономным двигателем внутреннего сгорания (ДВС).
- приводом от вала отбора мощности (ВОМ).



– электрическим двигателем.

В рубильных машинах приводные механизмы играют ключевую роль, обеспечивая глубокую переработку древесины, увеличивая эффективность производства и снижая потребление энергии в ходе технологических процессов.

Использование общелогических методов исследования при анализе разнообразных приводных систем, применяемых в рубильном оборудовании для древесины, позволило выявить следующие типы приводов, используемых в современных моделях [6]:

– привод, использующий вал отбора мощности (ВОМ) или гидравлическую систему трактора.

– привод на основе электрического двигателя.

– привод от автономного двигателя (бензинового или дизельного).

Навесные и прицепные агрегаты получают вращательное движение от ВОМ посредством карданных валов, тогда как в стационарных установках применяются ременные передачи. В стационарных установках шкив крепится к заднему ВОМ трактора. Нередко в лесозаготовительной технике скорость вращения ВОМ остаётся постоянной независимо от скорости передвижения транспортного средства [7].

Тем не менее, определенные механизмы нуждаются в адаптации частоты вращения вала отбора мощности (ВОМ) к скорости передвижения трактора. В конструкции тракторных ВОМ данное условие принимается во внимание. Задний и боковой ВОМ могут активироваться как отдельно от других систем привода, так и согласованно с ними. Активация привода ВОМ контролируется посредством рычагов, расположенных в пределах досягаемости оператора.

Гидравлическая система представляет собой ключевой элемент для обеспечения энергией навесного оборудования сельскохозяйственных и промышленных тракторов. Ее также можно применять для упрощения рулевого управления трактором в форме гидроусилителя.

В сравнении с механическими и пневматическими приводами, гидравлический привод демонстрирует повышенную multifunctionality, меньшую чувствительность к материалоемкости и высокую степень безотказности. Указанная система состоит из насоса, гидравлического двигателя, распределительного устройства, масляного резервуара, маслопроводов и клапанов.

Электропривод представляет собой электромеханическую систему, состоящую из электродвигателя, преобразователя и блока управления. Его задача заключается в обеспечении движения и контроля рабочих элементов оборудования. Для реализации этих функций привод использует электрическую энергию. Механическая энергия, производимая электроприводом, передается на рабочие органы машин и механизмов через разнообразные промежуточные элементы (например, валы и муфты).

В случае необходимости, энергоснабжение регулируется в зависимости от потребностей технологического процесса, в котором задействован рабочий орган. Используя полученную энергию, рабочий орган совершает необходимое

механическое перемещение, обеспечивая выполнение производственных и технологических задач.

В качестве основного источника энергии для самоходных рубильных машин широко применяются двигатели внутреннего сгорания (ДВС) различных типов, в том числе карбюраторные и дизельные. Дизельные ДВС, благодаря своей повышенной топливной эффективности, используются в приводе рубильных машин значительно чаще, чем карбюраторные аналоги. Их коэффициент полезного действия (КПД) варьируется в пределах 25-37%, тогда как карбюраторные двигатели демонстрируют КПД, не превышающий 18-25%. Помимо этого, дизельные двигатели потребляют на 40-50% меньше топлива в сравнении с карбюраторными моделями [8].

Необходимо учитывать, что работа ДВС сопряжена с определенными ограничениями по величине нагрузки, поэтому при подборе двигателя принимается во внимание его максимальная нагрузочная способность. С целью облегчения запуска двигателя при наличии нагрузки, обеспечения возможности остановки рабочих органов машины без необходимости глушения двигателя, а также для уменьшения динамических нагрузок в системе и защиты от перегрузок между двигателем и трансмиссией устанавливаются фрикционные либо гидравлические муфты [9, 10].

### Список литературы

1. Фетяев А.Н. Об имитационной модели процесса измельчения порубочных остатков / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 2. – С. 291-294..
2. Цыплаков В.В. О применении устройства для измельчения порубочных остатков при реконструкции защитных лесонасаждений / В.В. Цыплаков, С.В. Фокин // Научное обозрение. – 2011. – № 5. – С. 253-257..
3. Фокин С.В. О конструктивных особенностях дисковой рубильной машины для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : Материалы VII Международной научно-практической конференции, Саратов, 17-19 марта 2020 года. – Саратов: Амирит, 2020. – С. 390-393.
4. Фокин С.В. Об основных видах энергетической древесины / С.В. Фокин, О.А. Фомина // В сборнике: Forest Engineering. материалы научно-практической конференции с международным участием. 2018. – С. 273-276.
5. Фокин С.В. Технические средства, применяемые при очистке вырубок от отходов лесосечных работ / С.В. Фокин, А.В. Храмченко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 9-2(20-2). – С. 280-283.
6. Фокин С.В. Моделирование машины для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин // Научное обозрение. 2011. № 5. – С. 258-265.
7. Фокин С.В. О проблемах измельчения порубочных остатков на лесосеке / С.В. Фокин, Е.В. Саввин // Лесотехнический журнал. 2011. № 2 (2). - С. 30-31.

8. Фокин С.В. Об использовании древесных отходов при восстановлении защитных лесных полос / С.В. Фокин, О.Н. Шпортько, В.В. Цыплаков // Научная жизнь. 2015. № 6. – С. 134-142.

9. Фокин С.В. Об использовании математических методов моделирования рубительных машин / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Фундаментальные исследования, методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы 17-ой Международной молодежной научно-практической конференции, Новочеркасск, 06-07 сентября 2018 года. – Новочеркасск: Лик, 2018. – С. 158-159.

10. Фокин С.В. Способы транспортирования щепы из рубительных машин / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Научная жизнь. – 2018. – № 2. – С. 10-15.

### References

1. Fetyaev A.N. On the Simulation Model of the Process of Grinding Cutting Remnants / A.N. Fetyaev, S.V. Fokin // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2012. – № 2. – pp. 291-294.

2. Tsyplakov V.V. On the Use of a Device for Grinding Cutting Remnants in the Reconstruction of Protective Forest Plantations / V.V. Tsyplakov, S.V. Fokin // Scientific Review. – 2011. – № 5. – pp. 253-257.

3. Fokin S.V. On the Design Features of a Disc Chopper Machine for Grinding Tree Stumps / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Innovations in Environmental Management and Protection in Emergency Situations : Materials of the VII International Scientific and Practical Conference, Saratov, March 17-19, 2020. – Saratov: Amirit, 2020. – pp. 390-393.

4. Fokin S.V. On the main types of energy wood / S.V. Fokin, O.A. Fomina // In the collection: ForestEngineering. materials of the scientific and practical conference with international participation. 2018. – pp. 273-276.

5. Fokin S.V. Technical means used in the cleaning of clearings from logging waste / S.V. Fokin, A.V. Khranchenko // Actual Directions of Scientific Research in the 21st Century: Theory and Practice. – 2015. – Vol. 3, № 9-2(20-2). – pp. 280-283.

6. Fokin S.V. Modeling of a Machine for Chopping Stumps / S.V. Fokin // Scientific Review. 2011. № 5. – pp. 258-265.

7. Fokin S.V. On the problems of grinding logging residues in the logging area / S.V. Fokin, E.V. Savvin // Lesotekhnichesky Zhurnal. 2011. № 2 (2). – pp. 30-31.

8. Fokin S.V. On the use of wood waste in the restoration of protective forest belts / S.V. Fokin, O.N. Shportko, V.V. Tsyplakov // Scientific Life. 2015. № 6. pp. 134-142.

9. Fokin S. On the Use of Mathematical Methods for Modeling Chopping Machines / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Fundamental Research, Methods and Algorithms of Applied Mathematics in Engineering, Medicine, and Economics : Proceedings of the 17th International Youth Scientific and Practical Conference, Novocherkassk, September 6-7, 2018. – Novocherkassk: Lik, 2018. – pp. 158-159.

10. Fokin S.V. Methods of transporting wood chips from chopping machines / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Scientific Life. – 2018. – № 2. – pp. 10-15.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ  
В ПЛЁНОЧНЫХ БИОРЕАКТОРАХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
БИОТОПЛИВА НА ОСНОВЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ**

**Шевцов А.А., Сердюкова Н.А., Зотов Р.Л.**

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия*

**ENSURING TEMPERATURE STABILITY IN FILM BIOREACTORS  
FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS BASED ON MICROALGAE**

**Shevtsov A.A., Serdyukova N.A., Zotov R.L.**

*Military Education and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky  
and Y.A Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* В статье предложена конструкция биореактора с вращающимися трубками, использующая центробежные силы для стабилизации жидкостной плёнки и улучшения теплообмена. Эксперименты показали, что увеличение частоты вращения трубок повышает продуктивность биосинтеза хлореллы и уменьшает температурные колебания, что улучшает эффективность получения бионефти из микроводорослей.

*Abstract:* The article proposes the design of a bioreactor with rotating tubes, which uses centrifugal forces to stabilize the liquid film and improve heat exchange. Experiments have shown that increasing the frequency of tube rotation increases the productivity of chlorella biosynthesis and reduces temperature fluctuations, which improves the efficiency of obtaining biofuel from microalgae.

*Ключевые слова:* фотоавтотрофные микроорганизмы, микроводоросли, биотопливо, возобновляемые источники энергии, биореактор, бионефть.

*Keywords:* photoautotrophic microorganisms, microalgae, biofuels, renewable energy, bioreactor, bioneft.

Бурное развитие альтернативной энергетики привело к росту интереса к технологии гидротермального сжижения микроводорослей, как способу получения жидкого биотоплива – сырой бионефти. Данный метод предполагает нагревание водной суспензии биомассы до температур 455-600 °С при давлениях 10-30 МПа в течение 1-9 минут с применением катализатора [1-3]. Однако его внедрение сдерживается высокой стоимостью получения биомассы, энергоёмкостью процесса и необходимостью термостабильных реакторов.

Технико-экономические исследования показывают, что себестоимость производства бионефти на основе водорослевой биомассы до сих пор в 2-3 раза выше, чем у ископаемых аналогов [4, 5]. Тем не менее, усиливающееся давле-

ние экологических стандартов и интерес к устойчивым источникам энергии создают стимул для улучшения параметров биосинтеза микроводорослей, особенно в части обеспечения температурной и гидродинамической устойчивости в биореакторах.

В ряде работ, выполненных в Воронежском государственном университете инженерных технологий (ВГУИТ), предложены варианты конструкций плёночных биореакторов, использующих вращающиеся цилиндрические трубки с винтовыми спиралями на внутренних стенках [6-8]. Такие конфигурации способствуют формированию жидкостной плёнки, устойчивой к температурным флуктуациям, и улучшает теплообмен внутри реактора за счёт постоянного обновления граничного слоя суспензии. Однако возникающая в подобных условиях гидродинамическая неустойчивость приводит к перераспределению биомассы по высоте трубок, что нарушает однородность контакта плёнки с газовой смесью, содержащей воздух и диоксид углерода. Это, в свою очередь, снижает эффективность массопереноса и ограничивает прирост биомассы в условиях автотрофного биосинтеза.

Для минимизации подобных отклонений предлагается увеличить прижимное давление жидкой плёнки к внутренней поверхности трубок за счет интенсификации действия центробежной силы. Конструктивные особенности нового биореактора [9] состоят в том, что прозрачная вращающаяся рециркуляционная труба соединена зубчатой передачей с прозрачными трубками, которые имеют возможность вращения относительно оси симметрии. Это направлено на увеличение центробежной силы с целью создания дополнительного давления жидкой плёнки на стенки прозрачных трубок, что обеспечит стабильное удержание плёнки, как следствие равномерное её прогревание и увеличение контакта с газовой смесью.

Прозрачные трубки равномерно освещаются лампами накаливания, а внутренняя поверхность корпуса выполнена зеркальной для равномерного распределения светового потока. Дополнительно реализована система воздушного охлаждения, предотвращающая перегрев и обеспечивающая термодинамическое равновесие в зоне биосинтеза [9].

Ключевую роль в поддержании стабильности играет воздействие центробежной силы. Она обеспечивает прижатие плёнки к внутренней поверхности трубок, тем самым уменьшая её разрывы и колебания толщины, которые обычно возникают при температурных перепадах [10, 11].

Для оценки давления плёнки, прижимаемой центробежной силой, использовалась следующая модель (1):

$$P = \frac{\overline{F}}{S} = \frac{V \overline{\rho} \omega^2 r}{2\pi r h}, \quad (1)$$

где  $F$  – центробежная сила кг,  $V$  – объемный расход культуральной жидкости через пленкообразующее устройство, м<sup>3</sup>/с;  $\overline{\rho}$  – плотность культуральной жид-

кости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\omega$  – угловая скорость (частота) вращения прозрачной трубки,  $\text{с}^{-1}$ ;  $r$  – радиус трубки (радиус вращения),  $\text{м}^3$ ;  $S$  – площадь внутренней поверхности прозрачной трубки в рабочей зоне биореактора,  $\text{м}^2$ ;  $h$  – высота прозрачной трубки в рабочей зоне биореактора,  $\text{м}$ .

Располагая результатами автотрофного биосинтеза в биореакторах пленочного типа [12, 13], а также объективными данными о влиянии центробежной силы на жидкостный слой, стекающий по внутренней поверхности цилиндрической трубы [13-15], на лабораторной установке были проведены экспериментальные исследования процесса культивирования микроводоросли хлореллы при температуре  $32^\circ\text{C}$  и варьировании следующих параметров:

- частота вращения трубок:  $60\text{-}90 \text{ мин}^{-1}$ ,
- освещённость:  $11,3\text{-}28,3 \text{ клк}$ ,
- концентрация  $\text{CO}_2$ :  $3\text{-}10 \%$ ,
- расход газа:  $13,6\text{-}23,3 \text{ кг/ч}$ ,
- шаг спирали:  $10\text{-}25 \text{ мм}$ .

Целью исследований являлась количественная оценка влияния давления культуральной жидкости на внутреннюю поверхность вращающейся прозрачной трубки, вызванного действием центробежной силы. Результаты подтвердили: увеличение скорости вращения трубок до  $80\text{-}90 \text{ мин}^{-1}$  приводит к росту давления плёнки на стенки, а также снижению локальных температурных перегревов за счёт более интенсивного перемешивания. Наивысшая продуктивность была достигнута при концентрации сухой биомассы  $1,5\text{-}4,0 \text{ г/дм}^3$  (рис. 1).

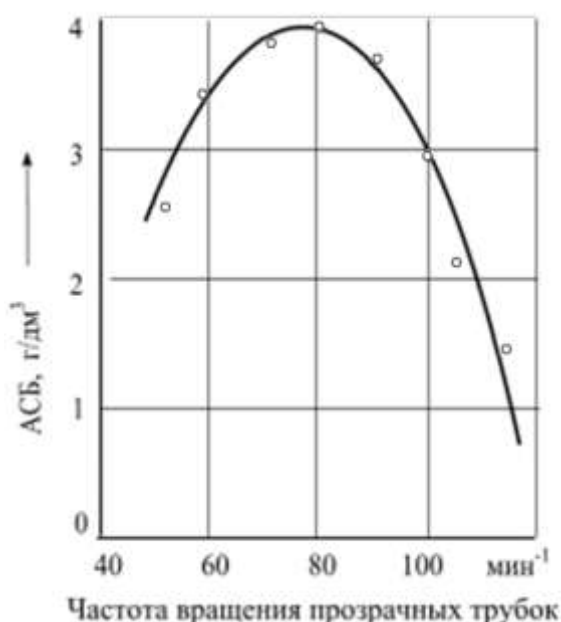


Рисунок 1 – Кривая роста биомассы хлореллы в зависимости от частоты вращения трубок

Таким образом, реализованный замкнутый цикл рециркуляции жидкости и газа, синхронное вращение плёночноформирующих элементов, а также освещение и охлаждение обеспечивают устойчивую работу биореактора даже при значительных температурных колебаниях.

Разработка высокотемпературных биореакторов, устойчивых к внутренним флуктуациям температуры и давления, имеет ключевое значение для промышленного масштабирования технологии получения бионефти из микроводорослей. Применение центробежных сил в конструкции плёночного биореактора позволило стабилизировать жидкостную плёнку, обеспечить равномерное освещение и теплообмен, а также увеличить производительность без потери качества биомассы.

### Список литературы

1. Получение бионефти путем гидротермального сжижения влажной биомассы микроводорослей / М.С. Власкин, А.В. Григоренко, Н.И. Чернова [и др.] // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2018. – № 22-24(270-272). – С. 68-79. – DOI 10.15518/isjaee.2018.22-24.068-079.
2. Патент № 2794959 С1 Российская Федерация, Способ получения биотоплива: № 2022113096: заявл. 16.05.2022: опубл. 26.04.2023 / М.С. Власкин, К. Винод, А.И. Курбатова [и др.]; заявитель «Российский университет дружбы народов».
3. Патент № 2689325 С1 Российская Федерация, Установка для производства биотоплива: № 2018146523: заявл. 26.12.2018: опубл. 27.05.2019 / М.С. Котелев, М.С. Власкин, И.А. Тиунов [и др.]; заявитель «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».
4. Рынок биотоплива и его взаимодействие с нефтепродуктами [Электронный ресурс] // REFRAT [сайт] [2025]. – URL: <https://refrat-oil.com/2024/09/07/biofuel> (дата обращения 14.08.2025).
5. Производство биотоплива. Будущее производства биотоплива: инновации и вызовы [Электронный ресурс] // Fastercapital [сайт] [2025]. – URL: <https://fastercapital.com/ru/content/Производство-биотоплива> (дата обращения 12.08.2025).
6. Патент № 2586534 С1 Российская Федерация, Аппарат для культивирования автотрофных микроорганизмов: № 2014153346/10: заявл. 29.12.2014: опубл. 10.06.2016 / А.А. Шевцов, А.В. Дранников, Е.А. Шабунина; заявитель «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО "ВГУИТ").
7. Современные тенденции совершенствования конструкций пленочных аппаратов для фотоавтотрофного биосинтеза светозависимых микроорганизмов / А.А. Шевцов, А.В. Дранников, А.В. Пономарев [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 3(69). – С. 68-76. – DOI 10.20914/2310-1202-2016-3-68-76.
8. Биореактор с применением импеллерных мешалок для культивирования биомассы микроводорослей / Л.И. Лыткина, Е.С. Шенцова, Д.В. Коптев [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – Т. 81, № 1(79). – С. 32-35. – DOI 10.20914/2310-1202-2019-1-32-35.
9. Патент № 2839375 С1 Российская Федерация. Биореактор для культиви-



рования автотрофных микроорганизмов: заявл. 25.03.2024: опубл. 30.04.2025 / А.А. Шевцов, Н.А. Сердюкова, Р.Л. Зотов; заявитель «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

10. Бурмистрова О.А. Равновесные формы жидкости на внутренней поверхности вращающегося цилиндра и их устойчивость / О.А. Бурмистрова // Вычислительная механика сплошных сред. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 5-14. – DOI 10.7242/1999-6691/2018.11.1.1.

11. Минухин А.А. Гидродинамика закрученной пленки жидкости, стекающей по внутренней поверхности вертикальной трубы / А.А. Минухин, И.П. Гальчак // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2022. – № 1. – С. 143-147.

12. Массообмен в проточном биореакторе с рециркуляцией жидкости / Н.А. Войнов, О.П. Жукова, О.В. Курганский [и др.] // Химия растительного сырья. – 2014. – № 3. – С. 241-246.

13. Schediwy K. Microalgal kinetics / K. Schediwy, A. Trautmann, C. Posten // Engineering in Life Sciences. – 2019. – Vol. 19(12). – pp. 830–843. DOI: 10.1002/elsc.201900107

14. Mink A. Comprehensive Computational Model for Coupled Fluid Flow, Mass Transfer, and Light Supply in Tubular Photobioreactors Equipped with Glass Sponges / A. Mink, K. Schediwy, C. Posten [et al] // Energies. – 2022. – Vol. 15(20), - p. 7671. DOI: 10.3390/en15207671

15. Математическое моделирование процесса культивирования светозависимых микроорганизмов в пленочном аппарате с противоточным движением фаз / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, С.Т. Антипов [и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2016. – Т. 50, № 3. – С. 344. – DOI 10.7868/S004035711603012X.

## References

1. Production of bio-oil by hydrothermal liquefaction of wet microalgae biomass / M.S. Vlaskin, A.V. Grigorenko, N.I. Chernova [et al.] // International scientific journal Alternative Energy and Ecology. – 2018. – № 22-24 (270-272). – pp. 68-79. – DOI 10.15518/isjaee.2018.22-24.068-079.

2. Patent № 2794959 C1 Russian Federation. Method for producing biofuel: № 2022113096: declared. 05.16.2022: published. 26.04.2023 / M.S. Vlaskin, K. Vinod, A.I. Kurbatova [et al.]; applicant «Peoples' Friendship University of Russia».

3. Patent № 2689325 C1 Russian Federation. Biofuel production unit: № 2018146523: filed 26.12.2018: published 27.05.2019 / M.S. Kotelev, M.S. Vlaskin, I.A. Tiunov [et al.]; applicant «Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)»

4. The Biofuel Market and Its Interaction with Petroleum Products [Electronic resource] // REFRAT [website] [2025]. – URL: <https://refrat-oil.com/2024/09/07/biofuel> (date of access 08/14/2025).

5. Biofuel Production. The Future of Biofuel Production: Innovations and Challenges [Electronic resource] // Fastercapital [website] [2025]. – URL:

<https://fastercapital.com/ru/content/Прослушать-биотоплива> (date of access 08/12/2025).

6. Patent № 2586534 C1 Russian Federation. Apparatus for culturing autotrophic microorganisms: No. 2014153346/10: declared 29.12.2014: published 10.06.2016 / A.A. Shevtsov, A.V. Drannikov, E.A. Shabunina; applicant «Voronezh State University of Engineering Technologies».

7. Current trends in improving the designs of film apparatuses for photoautotrophic biosynthesis of light-dependent microorganisms / A.A. Shevtsov, A.V. Drannikov, A.V. Ponomarev [et al.] // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2016. – №3 (69). – pp. 68-76. – DOI 10.20914/2310-1202-2016-3-68-76.

8.. Bioreactor using impeller mixers for cultivating microalgae biomass / L.I. Lytkina, E.S. Shentsova, D.V. Koptev [et al.] // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2019. – Vol. 81, № 1(79). – pp. 32-35. – DOI 10.20914/2310-1202-2019-1-32-35.

9. Patent № 2839375 C1 Russian Federation. Bioreactor for culturing autotrophic microorganisms: declared 25.03.2024: published 30.04.2025 / A.A. Shevtsov, N.A. Serdyukova, R.L. Zotov; applicant «Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin».

10. Burmistrova O.A. Equilibrium forms of liquid on the inner surface of a rotating cylinder and their stability / O.A. Burmistrova // Computational Continuous Media Mechanics. – 2018. – Vol. 11, № 1. – pp. 5-14. – DOI 10.7242/1999-6691/2018.11.1.1.

11. Minukhin A.A. Hydrodynamics of a swirling liquid film flowing down the inner surface of a vertical pipe / A.A. Minukhin, I.P. Galchak // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. – 2022. – № 1. – pp. 143-147.

12. Mass transfer in a flow-through bioreactor with liquid recirculation / N.A. Voynov, O.P. Zhukova, O.V. Kurgansky [et al.] // Chemistry of plant raw materials. – 2014. – № 3. – pp. 241-246.

13. Schediwy K. Microalgal kinetics / K. Schediwy, A. Trautmann, C. Posten // Engineering in Life Sciences. – 2019. – Vol. 19(12). – pp. 830–843. DOI: 10.1002/elsc.201900107

14. Mink A. Comprehensive Computational Model for Coupled Fluid Flow, Mass Transfer, and Light Supply in Tubular Photobioreactors Equipped with Glass Sponges / A. Mink, K. Schediwy, C. Posten [et al] // Energies. – 2022. – Vol. 15(20), - r. 7671. DOI: 10.3390/en15207671

15. Mathematical modeling of the process of culturing light-dependent microorganisms in a film apparatus with countercurrent phase movement / A.A. Shevtsov, L.I. Lytkina, S.T. Antipov [et al.] // Theoretical Foundations of Chemical Technology. – 2016. – Vol. 50, № 3. – pp. 344. – DOI 10.7868/S004035711603012X.

**СЕКЦИЯ 2**  
**ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ**  
**РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

DOI: 10.58168/MFCC2025\_85-90

УДК: 630\*24

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ НА РУБКАХ УХОДА**  
**В МОЛОДНЯКАХ ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**Анисимов И.С., Анисимов Н.С.**

*Поволжский государственный технологический университет,  
Йошкар-Ола, Россия*

**RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF MODERNIZED DEVICES**  
**IN THREETS IN YOUNG STOCKS BY THE CHEMICAL METHOD**

**Anisimov I.S., Anisimov N.S.**

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia*

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы апробации и оценки результативности (эффективности) работы модернизированных лабораторно-экспериментальных устройств для химического ухода в молодняках за счет ввода арборицида в стволы преимущественно лиственных деревьев нежелательных пород. В основу модернизации рассматривался иньектор «Кобра». Приведены результаты экспериментальных исследований усовершенствованных устройств в сравнении с иньектором «Кобра».

*Abstract.* The article considers the issues of testing and evaluating the effectiveness (efficiency) of modernized laboratory-experimental devices for chemical care in young stands by introducing arboricide into the trunks of mainly deciduous trees of undesirable species. The injector «Cobra» was considered as the basis for modernization. The results of experimental studies of improved devices in comparison with the injector «Cobra» are presented.

*Ключевые слова:* химический раствор, надрез, арборициды, заглушающие породы, иньектор «Кобра», нежелательные породы.

*Keywords:* chemical solution, incision, arboricides, drowning rocks, Cobra injection, unwanted rocks.

Использование малотоксичных реагентов (химикатов), не способных накапливаться в лесной биосистеме, на рубках осветлении и прочистке на сегодняшний день удовлетворяют требованиям экологической безопасности и является действенным, малозатратным и потенциальным методом на начальных этапах формирования молодняков [1-3].

Осуществляется воздействием арборицидов на нежелательные деревья лиственных пород для сдерживания роста или полного (возможно и частично-го) их уничтожения.

Выделяют следующие используемые методы химической обработки лесных участков на рубках осветления и прочистке:

- пневая химическая обработка после валки лиственных деревьев;
- впрыск арборицида в насечку на древесных стволах лиственных пород;
- обработка крон лиственных деревьев и кустарников путем опрыскивания с земли;
- обработка крон лиственных деревьев и кустарников путем авиаопрыскивания (с самолетов и квадрокоптеров) [3].

В статье рассматривается вопрос впрыска арборицида в насечку (зарубку) в стволы деревьев лиственных пород.

**Целью работы** является апробация и оценка результативности работы усовершенствованных лабораторно-экспериментальных устройств для химического ухода в молодняках за счет ввода арборицида в зарубки на стволах преимущественно лиственных деревьев нежелательных пород.

**Решение задачи.** В Поволжском государственном технологическом университете на филиалах кафедры Лесопромышленных и химических технологий ООО «Оршанский лес» и УОЛ ПГТУ предложены модернизированные устройства для химического ухода в молодняках на базе электрической и ручной дрели (рис. 1, б, в) [4, 5]. В основу модернизации стал иньектор «Кобра» (рис. 1, а) [6]. Проведены их натурные исследования на лесных участках филиалов кафедры Лесопромышленных и химических технологий. Критерием экспериментальных исследований являлась объективная оценка отмирания деревьев лиственных пород (в данном случае березы) по времени. Характеристика, подлежащих удалению пород (береза), на данных площадках представлена в табл.1.

Таблица 1 – Паспорта кварталов, где проводился химический уход за лесом

Филиал кафедры	Характеристика лесничества	Характеристика участка	Породы, за которыми проводится уход	Заглушающие породы
Оршанский Лес	квартал: 57, выдел 30, площадь участка 2,8 га	5Е2Б2ОсИв, возраст Е – 8 лет, Б – 10 лет, средняя высота Е – 3 м, Б – 4 м, Ос – 4 м, Ив – 4 м, полнота 0,8, тип леса Е, запас 14 м <sup>3</sup> /га	Ель, количество: Е – 4,302 тыс. шт./га, средняя высота 3 м	Б, Ос, Ив
Учебно-опытный лесхоз ПГТУ	квартал: 60, выдел 1, площадь участка 2,1 га	состав лесных культур: 7Е2Б1Ос, возраст Б – 20 лет, Ос – 20 лет, средняя высота Б – 7 м, Ос – 7 м, полнота 0,7, тип леса Елпш, запас 60 м <sup>3</sup> /га.	Ель, количество: Е – 3,511 тыс. шт./га, средняя высота 7 м	Ос, Б

В табл. 2 представлены данные для экспериментальных исследований. Общим для всех устройств являлся способ обработки – инъекция арборицида в стволы удаляемых деревьев.

Таблица 2 – Данные для проведения эксперимента

Устройства	Глубина впрыска, мм	Средняя высота впрыска от поверхности земли, см	Препарат (доля препарата и доля воды в растворе)
Кобра	3..5	10...12	Гелиос Экстра (1:3)
Устройства для химического ухода с электрическим и ручным приводом	½ среднего диаметра	15...20	Гелиос Экстра (1:3)

**Примечание:** Все химические растворы Раундап и Гелиос Экстра зарегистрированным и включенным в «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» и являлся малотоксичным препаратом III класса опасности (по классификации ВОЗ).



а)



б)



в)

а) инъектор «Кобра», б) на базе электродрели, в) на базе ручной дрели

Рисунок 1 – Устройства для химического ухода в молодняках

На лесных участках были заложены 10 пробных площадок размером 10x10 м. На каждом участке было отработано по 10 стволов, из которых 5 стволов устройством «Кобра» (рис. 2 а) и 5 стволов устройствами (попеременно), предложенными авторами (рис. 2б).



а)



б)

а) инъектором «Кобра», б) модернизированными конструкциями

Рисунок 2 – Стволы деревьев после впрыска химикатов

Через 15 дней, после проведения опыта (на лесных участках УОЛ ПГТУ), наблюдали, что кроны обработанных деревьев, с использованием новых конструкций, почти полностью усохли (рис. 3 а), в то время как кроны деревьев после обработки «Коброй» стали усыхать постепенно, лишь на вершинах (рис. 3, б).



а)



б)

а) модернизированными конструкциями, б) инъектором «Кобра»

Рисунок 3 – Результаты эксперимента после обработки деревьев в УОЛ ПГТУ на прочистке

На рис. 4 показаны экспериментальные результаты на осветлении на лесных участках ООО «Оршанский Лес».

Видно, что листва на 12.05.2023 г. (на 15 день после ввода инъекции) усыхает, а весной на 11.05.2023 г. листва на экспериментируемом дереве отсутствует, остался только ствол и нет признаков жизни, а на август-сентябрь 2024 г. береза не обнаружена и не наблюдается наличие корневой поросли.

**Вывод.** В результате апробаций предложенных конструкций доказано:

1. Результативность работы (эффективность);
2. Снижение веса конструкций в сопоставлении с инъектором «Кобра»;
3. Активизация процесса угнетения и гибели растения;
4. Отсутствует корневая поросль.





а)



б)



в)



г)



д)

а) до эксперимента (май 2023), б) после эксперимента (май, через 15 суток 2023), в) после эксперимента (сентябрь, 2023), г) май, 2023, д) август-сентябрь, 2024 (березы нет и нет корневой поросли)

Рисунок 4 – Экспериментальные результаты на осветлении в Шулкинском лесничестве ООО «Оршанский лес»

### Список литературы

1. Григорьева О.И. Безопасное использование пестицидов в лесном хозяйстве / О.И. Григорьева, О.И. Гринько, И.В. Григорьев. Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах, 2023. – № 3. – С. 48-68.
2. Muro-Sune N. Predictive property models for use in design of controlled release of pesticides / N. Muro-Sune, R. Gani, G. Bell, I. Shirley. Fluid Phase Equil, 2005. № 228-229. pp. 127-133. DOI: 10.1016/j.fluid.2004.08.007.
3. Денисов С.А. Опыт применения квадрокоптера для мониторинга возобновления леса / С.А. Денисов, А.А. Домрачев, А.С. Елсуков. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2016. №4 (32). С.32-46. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34.



4. Патент №2800996 Российская федерация, МПК A01G 23/00, A01M 21/00. Устройство для химического ухода за лесом / Царев Е.М., Анисимов С.Е. Рукомойников К.П., Анисимов Н.С., Анисимов И.С., Гилязова Т.А., Макаров В.Е., заявитель и патентообладатель ПГТУ, заявл. 19.04.2023, опубл. 01.08.2023. Бюл. №22.

5. Патент № 2690471 Российская Федерация, МПК A01G23/00. Устройство для химического ухода за лесом / Царев Е.М., Анисимов С.Е., Заболотский В.М., Конюхова Т.А., Кренев А.В., Коновалова Ю.А., Анисимов Н.С., Анисимов И.С., заявитель и патентообладатель ПГТУ, заявл. 22.05.2018, опублик. 03.06.2019. Бюл. №16.

6. Патент №2236780 Российская Федерация, МПК A01G23/00, A01M21/02. Устройство для химического ухода / Алексеев Г.А., Алексеев Ю.Г.; заявитель и патентообладатель Алексеев Г.А., Алексеев Ю.Г., заявл. 04.10.2001, опублик. 27.09.2004. Бюл. № 27.

### References

1. Grigorieva O. I. Safe use of pesticides in forestry / O.I. Grigorieva, O.I. Grigorieva, I.V. Grigorieva. Occupational safety and health in logging and wood-working industries, 2023. – № 3. – pp. 48-68..

2. Muro-Sune N. Predictive property models for use in design of controlled release of pesticides / N. Muro-Sune, R. Gani, G. Bell, I. Shirley. Fluid Phase Equil, 2005. № 228-229. pp. 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2004.08.007>.

3. Denisov S.A. Experience of using a quadcopter for monitoring forest regeneration / S.A. Denisov, A.A. Domrachev, A.S. Elsukov. Bulletin of the Volga Region State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management, 2016. № 4 (32). pp.32-46. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34.

4. Patent № 2800996 Russian Federation, IPC A01G 23/00, A01M 21/00. Device for chemical forest care / Carev E.M., Anisimov S.E. Rukomojnikov K.P., Anisimov N.S., Anisimov I.S., Gilyazova T.A., Makarov V.E., Applicant and patentee of Volga State University of Technology, Appl. 04.19.2023, publ. 08.01.2023. Bull. № 22.

5. Patent № 2690471 Russian Federation, IPC A01G23/00, Device for chemical forest care / Tsarev E.M., Anisimov S.E., Zabolotsky V.M., Konyukhova T.A., Krennev A.V., Konovalova Yu.A., Anisimov N.S., Anisimov I.S., applicant and patentee of VSTU, Appl. 05.22.2018 published 06.03.2019. Bull. № 16.

6. Patent № 2236780 Russian Federation, IPC A01G23/00, A01M21/02. Device for chemical care / Alekseev G.A., Alekseev Yu.G.; applicant and patent holder Alekseev G.A., Alekseev Yu.G., Appl. 04.10.2001, published. 09.27.2004. Bull. № 2.

**НЕЖЕЛАТЕЛЬНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ – КАК ФАКТОР  
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОПАСНОСТЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ДОРОГАХ**

**Богданова Л.Н., Шадрина Е.Л.**

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия*

**UNWANTED VEGETATION AS A FACTOR OF POTENTIAL  
HAZARDS ON HIGHWAYS**

**Bogdanova L.N., Shadrina E.L.**

*Military Education and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky  
and Y.A Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Нежелательная растительность оказывает неблагоприятное воздействие на процесс перемещения автомобильного транспорта по автодорогам. В статье рассматриваются потенциальные опасности, возникающие от произрастающей и не удаленной растительности.

*Abstract:* Unwanted vegetation has an adverse impact on road traffic. This article examines the potential hazards posed by overgrown and unremoved vegetation.

*Ключевые слова:* нежелательная растительность, автомобильные дороги, удаление, опасность, последствия, предупреждение.

*Keywords:* unwanted vegetation, roads, removal, danger, consequences, warning.

Безопасность выполнения своих производственных функций является приоритетом в работе таких линейных объектов, длина которых значительно превышает их ширину, как трассы ВЛ, автомобильные и железные дороги, трассы газопроводов и т.п. [1, 2]. При этом проблемой обеспечения указанной безопасности является хорошая и долгосрочная, желательна – проверенная временем, программа технического обслуживания указанных линейных объектов. Сотрудники соответствующих акционерных обществ (Газпром, Росавтодор, РЖД, Россети и т.п.) несут ответственность за проверку своих линейных объектов, в том числе – соответствующих полос отвода, выявление потенциальных опасностей и создание более безопасных условий функционирования линейных объектов.

Одной из потенциальных опасностей является нежелательная растительность [3, 4]. Деревья, растущие рядом с автомобильной или железной дорогой, внутри опоры ЛЭП, могут представлять опасность для неподвижного объекта. Трава, сорняки, кусты и ветки деревьев могут загораживать или ограничивать

обзор водителю (машинисту) устройств управления дорожным движением или транспортных средств (автомобиль, локомотив), диких животных и домашнего скота, а также пешеходов и велосипедистов. Контроль растительности помогает потенциально снизить количество аварий и травм, улучшает функционирование линейного объекта ввиду недопущения падения деревьев или веток на провода ЛЭП, дорогу и т.п.

Для более эффективной работы соответствующим организациям необходимо разработать программы управления нежелательной растительностью, не пуская всё «на самотёк», чтобы определить наилучшие методы воздействия на растительность для каждого места линейного объекта [5]. В общем виде комплексная программа управления придорожной растительностью (если это касается автомобильных дорог) состоит из уничтожения или контроля растительности с помощью различных методов, включая скашивание, обрезку кустарников (механическую и ручную), использование гербицидов, выпас скота (в случае травянистой растительности), выращивание и восстановление желаемой растительности.

Для определения типа растительности и лучшего способа борьбы с ней необходимо консультироваться с местным специалистом по борьбе с сорняками и нежелательной растительностью: некоторые виды не подвержены срезанию и после их «скашивания» (ручного или механизированного) начинают свое произрастание с удвоенной силой. Использование гербицидов может быть запрещено местным постановлением, или может присутствовать растение из списка исчезающих и находящихся под угрозой исчезновения видов. Если присутствуют ядовитые сорняки, скашивание, например, приведет к распространению семян и как следствие к распространению «скошенного сорняка», поэтому в следующем (а может быть и в текущем) году у организации, ответственный за такой участок линейного объекта, будет больше работы. Таким образом, разные виды требуют разного воздействия [6, 7].

Рассмотрим такой линейный объект, как автомобильная дорога.

Знаки, установленные на автодороге, всегда должны быть видны водителям. Патрули организации, ответственной за тот или иной участок дороги, должны следить за деревьями и кустами, которые блокируют обзор знаков и других устройств управления дорожным движением. Ветки деревьев или кусты перед знаком могут скрыть его от глаз автомобилистов. Важно, чтобы автомобилист видел предупреждающие, направляющие и иные знаки, поэтому загромождающую растительность перед этими знаками следует обрезать как можно скорее [8, 9]. В качестве примера на рис. 1 показан загороженный растительностью предупреждающий знак (обведен кружком), видимый лишь частично. Через некоторое время, если не принять мер, он будет полностью скрыт растительностью.

Высокая трава, сорняки и кусты на обочинах, канавах и откосах обочины могут создавать проблемы. Опасности с низкими неподвижными объектами, такими как оголовки водопропускных труб, дренажные отверстия, концы ограждений и любые указатели объектов перед ними, могут быть скрыты высокой травой, как и дикие животные и домашний скот.



Рисунок 1 – Загороженный растительностью предупреждающий знак

Высокая трава также может закрывать обочину. Обслуживание обочины, такое как выравнивание поверхности или скашивание (срезание) растительности, должно выполняться для определения края обочины и кювета, чтобы автомобилисты могли видеть форму, состояние и границы обочины. На рис. 2 представлена автомобильная дорога с четко очерченной обочиной и канавой, которые позволяют водителям оценивать состояние края автодороги. При этом вдалеке указанная обочина находится не в идеальном состоянии.



Рисунок 2 – Автомобильная дорога с частично расчищенной обочиной

Отдельно отметим, что на внутренней стороне горизонтальных кривых рост растительности у края тротуара может загораживать водителю обзор автомобилей (в том же или противоположном направлении), велосипедов и пешеходов и, веление последнего времени – самокатчиков. Уход за обочинами дорог таким образом, чтобы фары и задние фонари были видны внутри горизонтальных поворотов, может увеличить доступное горизонтальное расстояние обзора.

Сорняки и дерн могут мешать придорожному дренажу. Высокая обочина создает вторичную канаву и повреждает дорожное покрытие, особенно при нестабильной осенне-зимней погоде. Вода на тротуаре из-за высоких обочин создает проблемы с безопасностью, включая аквапланирование и отдельные гололедицы зимой.

Перекрёстки дорог увеличивают вероятность возникновения ДТП. Безопасное и эффективное движение транспортных средств через перекресток требует хорошей видимости, чего не наблюдается на рис. 3. Из-за чрезмерной растительности в угловом треугольнике обзора водители не могут вовремя увидеть приближающийся слева транспорт, чтобы безопасно въехать на перекресток или пересечь его. При приближении к перекрестку водители должны проверять каждый квадрант перекрестка на наличие въезжающих (в целом – двигающихся, хотя могут быть и стоящие) транспортных средств. Точно так же водителям, выезжающим из-под знака «СТОП», необходимо хорошо видеть встречный транспорт. Треугольник четкого обзора на каждом углу перекрестка помогает водителям избежать проблем при движении.



Рисунок 3 – Заросший нежелательной растительностью перекресток

Видимость (а вернее ее отсутствие) вызывает особую озабоченность на пересечениях железных дорог и автомагистралей из-за возможных серьезных аварий [10]. Кусты и деревья не должны заслонять железнодорожные пути и приближающиеся поезда. Необходимы совместные усилия железной дороги и дорожного агентства, при этом железные дороги несут ответственность за контроль за растительностью, произрастающей на полосе отчуждения.

Одной из наиболее распространенных причин аварий со смертельным исходом и серьезными травмами на сельских дорогах является выезд транспортных средств с дороги и наезд на дерево. Концепция чистой зоны, прилегающей к проезжей части, в которой нормативный уклон, чистая поверхность и отсутствие неподвижных объектов (например, деревьев, растущих чрезмерно близко



к дороге) могут позволить восстановить управление транспортным средством, съезжающим с проезжей части, что важно для обеспечения безопасности движения.

Деревья представляют собой потенциальную опасность из-за их размера и расположения по отношению к движению транспортных средств. Деревья диаметром более 100 мм могут представлять опасность для автомобиля. Чем ближе к полосе движения находятся деревья (рис. 4), тем больше вероятность их столкновения с транспортным средством, в том числе – по касательной. Отдельные деревья обеспечивают лучшую возможность для удаления по сравнению с лесными условиями, где удаление связано со значительными затратами. Первоочередной задачей должно стать удаление ближайших к дороге деревьев.



Рисунок 4 – Близко растущие к дороге деревья, задетые проезжающими автомобилями

Все деревья в пределах свободной зоны должны быть срублены, пока они еще являются маленькими саженцами, а не маленькими деревьями. В это время их легко срезать на уровне земли, и они не вызывают проблем с пнем. Также ни у кого не возникнет соблазна попытаться спасти красивое, но опасное дерево в свободной зоне проезжей части.

Мертвые и покосившиеся деревья в полосе отвода, представляющие опасность для проезжей части (в том числе над тротуарами и многоцелевыми тропами), должны быть срублены и утилизированы утвержденным методом. Потенциально опасные деревья за пределами полосы отчуждения должны быть переданы владельцам собственности для удаления.

Перечень указанных в данном исследовании опасностей, возникающих от произрастающей вблизи автодорог нежелательной растительности, не исчерпывающий. Однако это не означает, что на выявленные опасности не следует обращать внимание. Целесообразно вести неустанную работу по повышению безопасности движения на автомобильных дорогах, в том числе методами удаления неподвижных объектов, загораживающих обзор участникам движения.

### Список литературы

1. Перминов Н.А. Конструкционная безопасность длительно эксплуатируемых инфраструктурных объектов / Н.А. Перминов, А.Н. Перминов // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2023. – № 6-1(67). – С. 22-29. – DOI 10.55341/ptrbs.2024.67.6.002.
2. Платонов А.А. Классификация линейных инфраструктурных объектов: линии электропередачи / А.А. Платонов // Актуальные проблемы современного транспорта. – 2023. – № 1(11). – С. 14-22.
3. Платонов А.А. Оценка видового разнообразия растительности, произрастающей на территориях линейных инфраструктурных объектов Центральной России / А.А. Платонов // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 1(49). – С. 180-193. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/12.
4. Платонов А.А. О допустимой степени зарастания нежелательной растительностью территорий линейных инфраструктурных объектов / А.А. Платонов // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Восьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 24 мая 2022 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2022. – С. 153-155.
5. Платонов А. А. О местах воздействия на нежелательную растительность при её удалении с территорий транспортных инфраструктур / А. А. Платонов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : Материалы XVII Международной научно-технической конференции, Вологда, 03 декабря 2019 года / Ответственный редактор Ю.М. Авдеев. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2019. – С. 216-218.
6. Платонов А.А. Организация работ по удалению нежелательной древесно-кустарниковой растительности в полосе отвода железных дорог / А. А. Платонов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2016. – Т. 1, № 1(15). – С. 17-23.
7. Платонов А.А. Вариативность технологических процессов удаления нежелательной растительности по территориям линейных инфраструктурных объектов / А.А. Платонов // Перспективы транспортной отрасли : Труды 1-й международной научно-практической конференции, Воронеж, 10 июня 2021 года. – Воронеж: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 106-112.
8. Платонов А.А. Измельчители и кусторезы - как технические средства удаления нежелательной поросли на линейных инфраструктурных объектах / А.А. Платонов // Перспективы транспортной отрасли: Труды 1-й международной научно-практической конференции, Воронеж, 10 июня 2021 года. – Воронеж: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 113-120.
9. Платонов А.А. Анализ критериев оценки качества работ по удалению нежелательной поросли / А. А. Платонов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 1. – С. 177-181.
10. Карасевич С.Н. Обоснование безопасных условий видимости в зоне одноуровневого пересечения автомобильной и железной дорог / С.Н. Карасе-



вич, С.А. Аземша // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2023. – № 1(46). – С. 21-25.

### References

1. Perminov N.A. Structural safety of long-term operated infrastructure facilities / N.A. Perminov, A.N. Perminov // Natural and man-made risks. Safety of structures. – 2023. – № 6-1 (67). – pp. 22-29. – DOI 10.55341/ptrbs.2024.67.6.002.
2. Platonov A.A. Classification of linear infrastructure facilities: power transmission lines / A.A. Platonov // Actual problems of modern transport. – 2023. – № 1 (11). – pp. 14-22.
3. Platonov A.A. Assessment of species diversity of vegetation growing on the territories of linear infrastructure facilities of Central Russia / A.A. Platonov // Forestry journal. – 2023. – Vol. 13, № 1(49). – pp. 180-193. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/12.
4. Platonov A.A. On the permissible degree of overgrowth of undesirable vegetation in the areas of linear infrastructure facilities / A.A. Platonov // Improving the efficiency of the forest complex: Proceedings of the Eighth All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation, Petrozavodsk, May 24, 2022. – Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2022. – pp. 153-155.
5. Platonov A.A. On the impact locations on unwanted vegetation during its removal from transport infrastructure territories / A.A. Platonov // Actual problems of forest complex development: Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference, Vologda, December 3, 2019 / Editor-in-chief Yu. M. Avdeev. – Vologda: Vologda State University, 2019. – pp. 216-218.
6. Platonov A.A. Organization of works on removing unwanted trees and shrubs in the right-of-way of railways / A.A. Platonov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2016. – Vol. 1, № 1 (15). – pp. 17-23.
7. Platonov A.A. Variability of technological processes for removing unwanted vegetation in the territories of linear infrastructure facilities / A.A. Platonov // Prospects of the transport industry: Proceedings of the 1st international scientific and practical conference, Voronezh, June 10, 2021. – Voronezh: Rostov State Transport University, 2021. – pp. 106-112.
8. Platonov A.A. Shredders and brush cutters - as technical means of removing unwanted growth on linear infrastructure facilities / A.A. Platonov // Prospects of the transport industry: Proceedings of the 1st international scientific and practical conference, Voronezh, June 10, 2021. – Voronezh: Rostov State Transport University, 2021. – pp. 113-120.
9. Platonov A.A. Analysis of criteria for assessing the quality of work on removing unwanted growth / A.A. Platonov // Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 1. – pp. 177-181.
10. Karasevich S.N. Justification of safe visibility conditions in the zone of a single-level intersection of a road and a railway / S.N. Karasevich, S.A. Azemsha // Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport. – 2023. – № 1 (46). – pp. 21-25.

## **О СОЗДАНИИ ЕДИНОЙ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ОПОВЕЩЕНИЯ**

**<sup>1</sup>Качанов С.А., <sup>2</sup>Леонова Е.М., <sup>2</sup>Леонова А.Н.**

*<sup>1</sup>Российско-Сербский гуманитарный центр межправительственной гуманитарной организации, Белград, Сербия*

*<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, Россия*

## **ABOUT CREATING A UNIFIED DIGITAL MONITORING AND ALERTING ECOSYSTEM**

**<sup>1</sup>Kachanov S.A., <sup>2</sup>Leonova E.M., <sup>2</sup>Leonova A.N.**

*<sup>1</sup>Russian-Serbian Humanitarian Center of the Intergovernmental Humanitarian Organization, Belgrade, Serbia*

*<sup>2</sup>All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Emercom of Russia (Federal Center for Science and High Technologies), Moscow, Russia*

*Аннотация.* В условиях растущей необходимости эффективного мониторинга лесных экосистем и предупреждения чрезвычайных ситуаций, в России до настоящего времени не создана единая цифровая платформа, объединяющая системы мониторинга природных и техногенных угроз, связанных с лесами, и оповещения населения. Актуальность исследования обусловлена нерешёнными задачами организации единой системы контроля за состоянием лесных территорий и своевременного информирования о возможных опасностях, таких как лесные пожары. В статье рассматриваются пути решения данной проблемы на базе единой цифровой экосистемы, которая позволит оперативно реагировать на угрозы, связанные с лесными пожарами, незаконной вырубкой и другими чрезвычайными ситуациями, сохраняя жизни, здоровье и имущество населения.

*Ключевые слова:* мониторинг, прогнозирование, цифровые телекоммуникационные технологии, экстренное реагирование, оповещение населения, лесные пожары.

*Abstract.* In the context of the growing need for effective monitoring of forest ecosystems and emergency prevention, the Russian Federation has not yet established a unified digital platform that combines systems for monitoring natural and man-made threats related to forests and for alerting the population. The relevance of this study is due to the unresolved challenges of organizing a unified system for monitoring the state of forest areas and providing timely information about potential hazards, such as forest fires. The article discusses ways to solve this problem based on a unified digital ecosystem, which will allow for prompt response to threats related to forest fires, illegal logging, and other emergencies, saving lives, health, and property.

*Keywords:* monitoring, forecasting, digital telecommunications technologies, emergency response, public notification, and forest fires.

В условиях роста количества стихийных бедствий и техногенных катастроф (ЧС) приоритетным направлением защиты населения в случае их возникновения является повышение готовности органов управления, сил экстренного реагирования, которое не представляется возможным без применения инновационных цифровых технологий. Опасные природные явления, такие как землетрясения, оползни, сели, паводки, затрагивают практически все сферы существования каждого человека, общества и государства, зачастую вызывая в качестве вторичных факторов техногенные аварии. Признаки зарождения ЧС скрыты от современных средств и систем мониторинга и наблюдения, а меры по предупреждению для принятия мер защиты и/или ликвидации последствий ЧС требуют своевременности и достоверности [1]. Между тем информация от датчиков ЧС не используется в полном объеме [5-8]. Обмен мониторинговой информацией между различными организациями ведется на основе запросов, так же, как и готовятся информация оповещения для передачи операторами связи и редакциями средств массовой информации [2].

Опыт ликвидации ЧС, имевших место в современной мировой истории [9], показывает, что своевременный прогноз их возникновения приводит к существенному снижению масштабов, а также смягчению последствий воздействия источников ЧС. Наиболее эффективное противодействие различным бедствиям может быть достигнуто за счет принятия своевременных мер по предупреждению и смягчению тяжести последствий ЧС на основе автоматизированных систем подготовки управленческих решений и автоматизированного мониторинга угроз природного и техногенного характера [7, 8]. Именно с этой целью необходимо создание единой цифровой экосистемы мониторинга и оповещения.

Что такое цифровая экосистема? Это, в первую очередь – люди, их деятельность на всех этапах от создания до эксплуатации. Немалую роль имеет программная среда, позволяющая интегрировать аппаратные средства и прикладные решения, то есть технологии. Необходимость развертывания сетей передачи данных на всей территории, подверженной стихийным бедствиям и катастрофам, — это неоспоримый факт. В настоящий момент такая конвергентная сеть в районах угроз ЧС не сформирована. Используются все имеющиеся сети связи, практически интегрированные и не способные принять и передать тот объем срочных данных и информации, который возникнет при развертывании группировки ликвидации чрезвычайной ситуации.

От стратегии зависит успех создания экосистемы (рис. 1).

Среди стратегий можно отметить необходимость создания:

- инструментов (специального программного обеспечения), помогающих улучшить межведомственную коммуникацию и ситуационную осведомленность;
- приложений для установления безопасных соединений (подключений) с критически важными приложениями;
- системы защиты информации.



Рисунок 1 – Цифровая экосистема

Следующим объективно необходимым шагом для создания экосистемы мониторинга и оповещения станет интеграция информационных процессов, воздействие которых на систему оповещения населения будет являться основанием для принятия решения на ее задействование. К таким действиям можно отнести отбор (восприятие) информации от систем мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера, обработку и сравнение с ранее полученной информацией, оценка ее значимости для принятия решения.

На первое место в современном мире в борьбе с природными катаклизмами и техногенными катастрофами выдвигается система мониторинга чрезвычайных ситуаций. Перспектива развития данного направления очевидна. Так, наблюдение и оценка состояния выявленных и потенциальных источников чрезвычайных ситуаций, а также прогноз влияния на безопасность населения, организаций, окружающую среду позволит своевременно разрабатывать и реализовывать меры, направленные на предупреждение и ликвидацию чрезвычайных ситуаций, минимизацию социально-экономических и экологических последствий. Кроме того, результаты мониторинга ЧС должны стать одним из определяющих критериев при принятии управленческих решений в деятельности органов управления, занимающихся вопросами защиты населения и территорий.

Система оповещения населения является одной из автоматизированных систем безопасности населения, имеющей важнейшее предназначение, поскольку именно оповещение населения – вторая по значимости задача гражданской обороны [3], но до своевременного оповещения населения должно быть выполнено два обязательных условия: определение и засечка очага возникновения чрезвычайной ситуации и выработка обоснованных решений на предупреждение, в том числе оповещение, и ликвидацию чрезвычайной ситуации. Все перечисленные системы должны функционировать на единой программно-технической платформе (рис. 2).

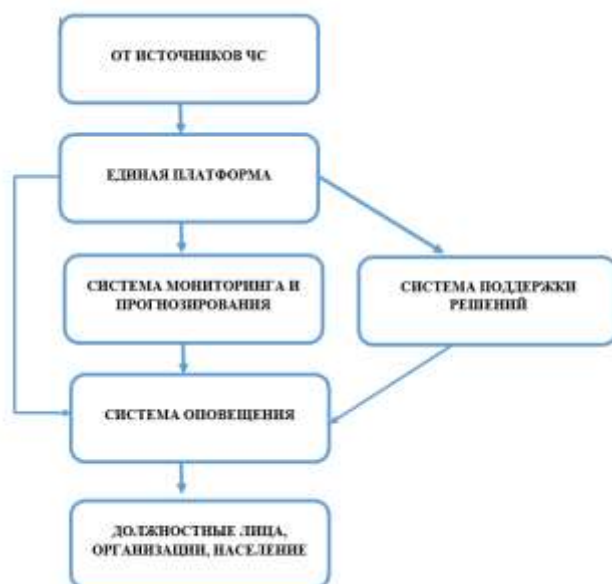


Рисунок 2 – Программно-техническая платформа как экосистема

Цифровая экосистема должна формироваться исходя из следующих требований:

- внедрения полнофункционально сопряженных автоматизированных систем на базе комплексного использования сетей связи и передачи данных;
- объединения информационных ресурсов по принципу «одного окна» для поддержки принятия решения;
- наличия утвержденных регламентов информационного взаимодействия между министерствами и ведомствами в области мониторинга и прогнозирования ЧС и экстренного оповещения; глоссария (единых терминов и определений в области мониторинга и прогнозирования ЧС и оповещения населения).

Успешное решение перечисленных требований невозможно в отрыве от оценки компонент создаваемой экосистемы оповещения населения, качественные характеристики которой должны обуславливать возможность их использования для удовлетворения определенных в соответствии с ее назначением потребностей. То есть, все компоненты, предполагаемые для включения в экосистему оповещения населения [1], должны удовлетворять требованиям к системе оповещения населения [4].

Основным результатом цифровой трансформации должна быть сформированная по единым требованиям цифровая экосистема мониторинга и оповещения как важнейшая составная часть общей экосистемы обеспечения безопасности населения субъекта Российской Федерации. Ценность представленных научно-практических разработок заключается в создании единой информационно-технической платформы раннего обнаружения быстроразвивающихся опасных природных явлений и технологических процессов, способствующей повышению качества мер оперативного реагирования на них, предотвращения и снижения уровня опасности явлений, вызывающих ЧС с образованием неблагоприятных и катастрофических последствий для населения, природной среды и объектов экономики.

В заключение отметим: оповестить население – это своевременно и достоверно предупредить его о возможной опасности землетрясения, подтопления (наводнении), лесного пожара или любого другого стихийного бедствия или аварии на промышленном объекте, катастрофе на транспорте, передать информацию о случившемся и о возможных защитных мерах. Разрабатываемые и внедряемые цифровые технологии, их синергия позволят гарантированно защитить население, сохранив жизни, здоровье и имущество.

### Список литературы

1. Указ Президента РФ от 13 ноября 2012 г. № 1522 «О создании комплексной системы оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении чрезвычайной ситуации»
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 28.12.2020 № 2322 «О порядке взаимодействия федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления с операторами связи и редакциями средств массовой информации в целях оповещения населения о возникающих опасностях»
3. Федеральный закон от 12 февраля 1994 г. № 28-ФЗ «О гражданской обороне».
4. Совместный приказ МЧС России и Минцифры России от 31.07.2020 № 578/365 «Об утверждении Положения о системах оповещения населения»
5. Поляков И.О. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / И.О. Поляков, В.А. Асеев, Н.Д. Белов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2019. – № 1(10). – С. 310-312.
6. Акимов В.А. Общая теория безопасности жизнедеятельности в современной научной картине мира / В.А. Акимов. – М: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2018. – 136 с.
7. Совершенствование системы мониторинга и раннего оповещения о гидрологической опасности в целях предупреждения чрезвычайных ситуаций / А.В. Тюрин, С.З. Калаева, Э.С. Цховребов, А.В. Маркелов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27, № 1(123). – С. 176-184. – DOI 10.37313/1990-5378-2025-27-1-176-184.
8. Сардановский С. Ю. Зарубежный опыт борьбы с бедствиями и катастрофами / С.Ю. Сардановский // Технологии гражданской безопасности. – 2014. – Т. 11, № 4(42). – С. 4-9.
9. Леонова Е.М. Об интеграции систем оповещения населения при чрезвычайных ситуациях в единую цифровую экосистему обеспечения безопасности жизнедеятельности субъекта Российской Федерации / Е.М. Леонова, А.Н. Леонова // Природопользование: от истории к современности. Куражковские чтения: Материалы I Международной научно-практической конференции, Астрахань, 19-21 мая 2022 года. – Астрахань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Астраханский государственный университет», 2022. – С. 221-224.

## References

1. Decree of the President of the Russian Federation of November 13, 2012 № 1522 «On the Creation of a Comprehensive System for Notifying the Population of the Threat or Occurrence of an Emergency».
2. Resolution of the Government of the Russian Federation of December 28, 2020 № 2322 «On the Procedure for Interaction between Federal Executive Bodies, Executive Bodies of the Constituent Entities of the Russian Federation, and Local Governments with Telecom Operators and Mass Media Editorial Boards to Notify the Population of Emerging Dangers».
3. Federal Law of February 12, 1994 № 28-FZ «On Civil Defense»
4. Joint Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia and the Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of Russia of July 31, 2020 № 578/365 «On Approval of the Regulation on Population Alert Systems»
5. Polyakov I.O. Liquidation of the consequences of emergency situations of natural and man-made nature / I.O. Polyakov, V.A. Aseev, N.D. Belov // Modern technologies for ensuring civil defense and liquidation of consequences of emergency situations. – 2019. – № 1 (10). – pp. 310-312.
6. Akimov V.A. General theory of life safety in the modern scientific picture of the world / V.A. Akimov. – Moscow: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the Ministry of Emergencies of Russia, 2018. – 136 p.
7. Improving the system of monitoring and early warning of hydrological hazards in order to prevent emergency situations / A.V. Tyurin, S.Z. Kalayeva, E.S. Tskhovrebov, A.V. Markelov // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2025. – Vol. 27, № 1(123). – pp. 176-184. – DOI 10.37313/1990-5378-2025-27-1-176-184.
8. Sardanovsky S.Yu. Foreign experience in combating disasters and catastrophes / S.Yu. Sardanovsky // Civil safety technologies. – 2014. – Vol. 11, № 4(42). – pp. 4-9.
9. Leonova E.M. On the integration of population warning systems in emergency situations into a single digital ecosystem for ensuring the safety of life of a constituent entity of the Russian Federation / E.M. Leonova, A.N. Leonova // Nature management: from history to the present. Kurazhkov Readings: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference, Astrakhan, May 19-21, 2022. – Astrakhan: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Astrakhan State University», 2022. – pp. 221-224.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
СОКРАЩЕНИЯ РАСХОДОВ НА УСТРОЙСТВО ДРЕНИРУЮЩИХ  
И МОРОЗОЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

**Курдюков Д.П., Мануковский А.Ю.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**USE OF GEOSYNTHETIC MATERIALS TO REDUCE COSTS OF DRY  
AND FROST-PROTECTING PAVEMENT LAYERS**

**Kurdyukov D.P., Manukovsky A.Yu.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Рассмотрены вопросы сокращения материалоемкости, скорости строительства лесных дорог путем сокращения потребности инертного материала для возведения земляного полотна.

*Abstract:* The article discusses the reduction of material consumption and the speed of construction of forest roads by reducing the need for inert materials for the construction of the roadbed.

*Ключевые слова:* земляное полотно, лесные дороги, геоматы, профилированная геомембрана.

*Keywords:* subgrade, forest roads, geomats, and profiled geomembrane.

В современной реальности, после перехода от плановой экономической системы СССР к рыночной модели в России, предприятия вынуждены самостоятельно выстраивать свою хозяйственную деятельность на всех этапах производственного цикла. Это в полной мере относится и к лесопромышленным организациям, где особую важность приобретает вопрос развития дорожной инфраструктуры для эффективного ведения хозяйства.

По состоянию на конец предыдущего года, общая длина постоянно эксплуатируемых лесовозных дорог достигла 97,8 тыс. км. Эта цифра в 10,5 раз превышает длину Транссибирской магистрали, связывающей Москву и Владивосток.

Самая протяженная сеть лесовозных дорог среди регионов зафиксирована в Приморье – 23,4 тысячи км, следом идет Кировская область – больше 16 тысяч км, и Республика Алтай – 10,6 тысячи км. В зоне интенсивной заготовки дороги есть практически везде. Но в зонах перспективного освоения ощущается нехватка. В прошлом году больше всего новых лесовозных дорог строилось в Сибири – порядка 4 тысяч км, на Северо-Западе – 3,4 тысячи км и на Дальнем Востоке – 2,4 тысячи км. Лидеры по строительству лесовозных дорог среди ре-



гионов Иркутская область – почти 2 тысячи км, а также в Красноярский край и Архангельская область – по 1,9 тысячи км в каждом регионе.

Обеспечение целостности земляного полотна и круглогодичная эксплуатация лесных автодорог обеспечивается за счет соблюдения требований таблицы В.13 приложения В СП 34.13330.2021, где для насыпей на участках местности 2-го и 3-го типов по условиям увлажнения при возвышении поверхности покрытия над расчетным уровнем грунтовых и поверхностных вод варьируется от 1,5 до 3,0 м. Обеспечение требуемых возвышений при строительно-монтажных работах требует значительного увеличения материалоемкости и стоимости выполняемых работ.

В настоящей действительности отмечен факт применения многослойного геокомпозитного материала для защиты дренажного и морозозащитного слоев (рис.1), которые исключают их замокание, процессы взаимопроникновение слоев и оглиения слоев дорожной одежды при суффузии.

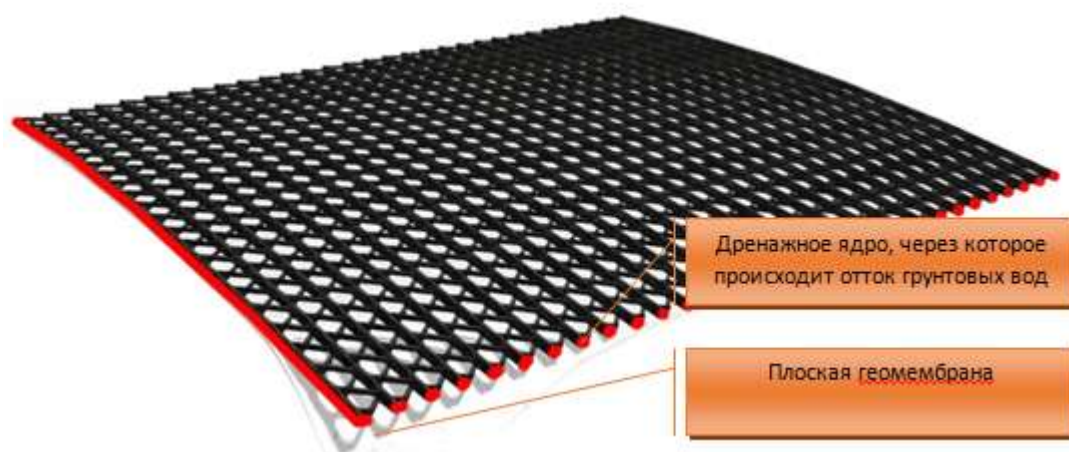


Рисунок 1 – Многослойный геокомпозитный материал для защиты дренажного и морозозащитного слоев.

Применение многослойного геокомпозитного материала для защиты дренажного и морозозащитного слоев ограничено прочностью скрепления между дренажным ядром (георешеткой) и плоской геомембраной не превышающей 500 Н, ввиду малой площади соприкосновения.

Для сокращения материалоемкости, скорости строительства, а также уменьшения затрат на строительно-монтажные работы за счет расширения решаемых технических задач рассмотрен вопрос применения специализированной геосинтетической дренажной профилированной геомембраны (рис.2 и 3) [1, 3].

Профилированная геомембрана совмещает в себе обе функции известного геокомпозитного материала (дренаж в плоскости конструктивных слоев дорожной одежды и земляного полотна с их гидроизоляцией от грунтовых вод) с исключением необходимости усложнения технологического процесса по производству на скрепление двух и более материалов между собой, а именно дренажным ядром (георешеткой) и плоской геомембраной. Профилированная структура, придает повышенную жесткость материалу, формирует объемную структуру, позволяющей воспринимать большие статические/динамические

нагрузки без разрушения. Повышенная жесткость материала позволяет сохранять толщину материала под действием внешней нагрузки, тем самым в дополнение к основной функции, материал выполняет дренажную функцию, то есть отвод воды сверху от гидроизолируемого слоя. Геокомпозит обеспечивает эффективный отвод поверхностной атмосферной воды от земляного полотна в сторону откосной части насыпи.

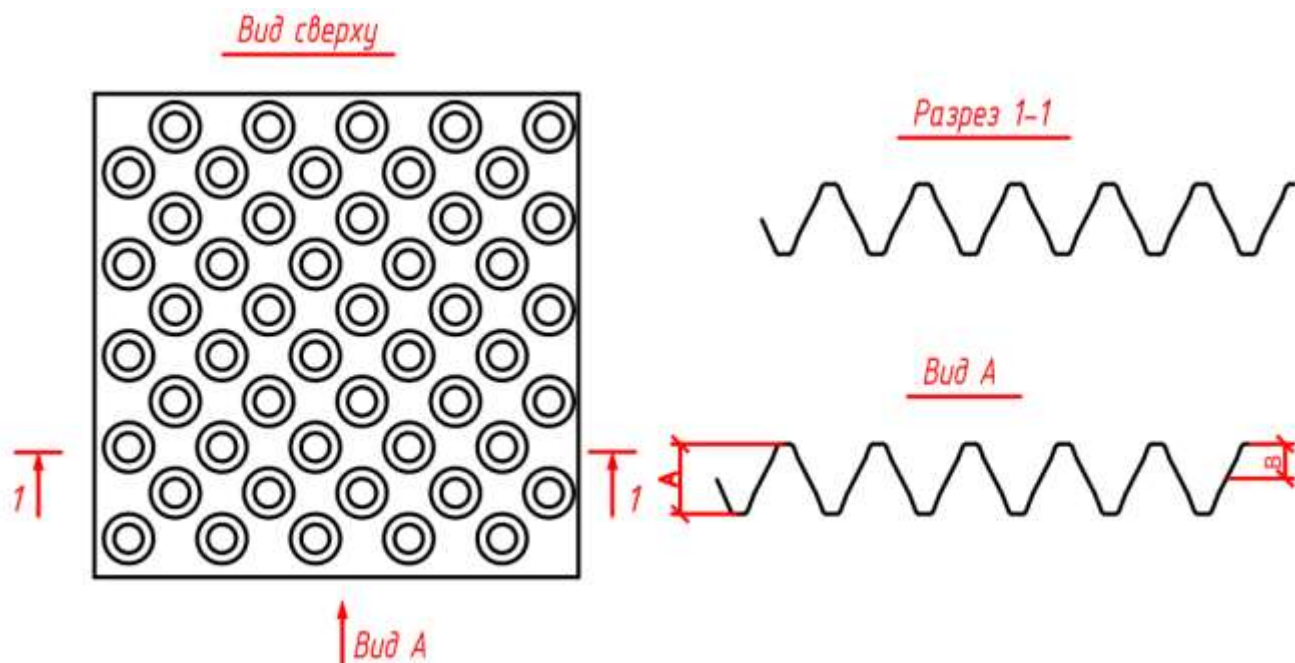


Рисунок 2 – Вариант 1 многослойного геокомпозитного материала для защиты дренажного и морозозащитного слоев.

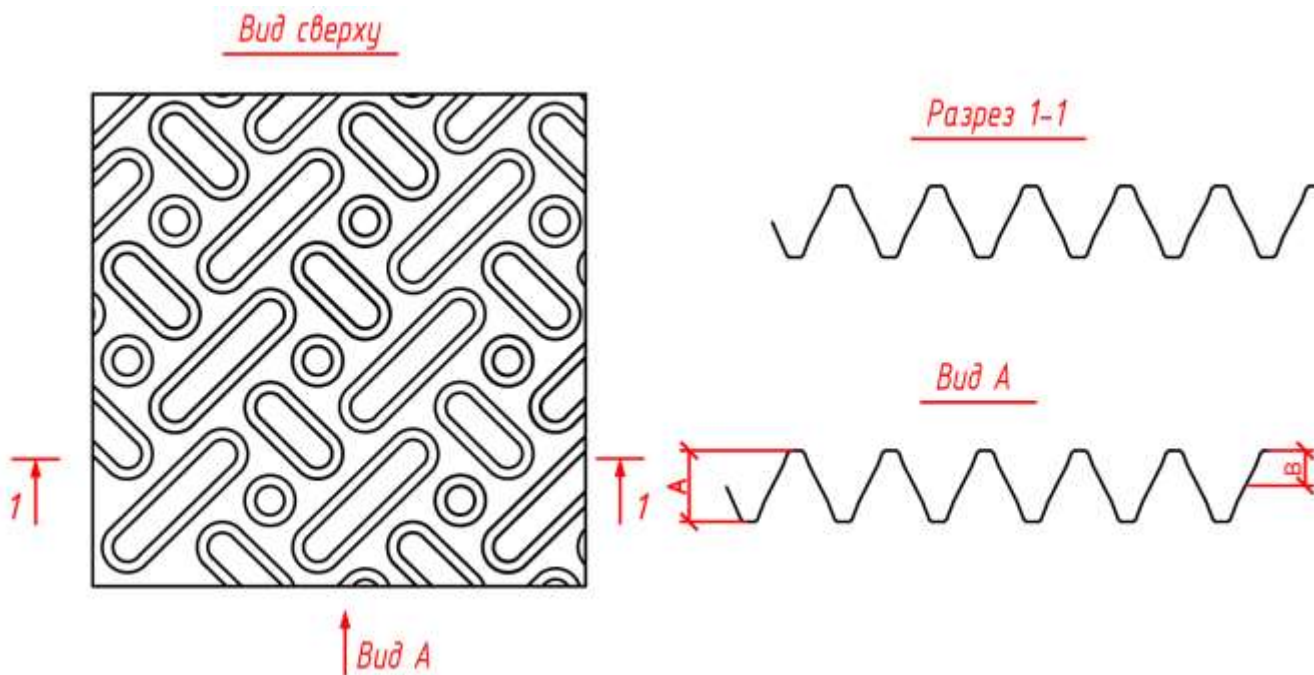


Рисунок 3 – Вариант 2 многослойного геокомпозитного материала для защиты дренажного и морозозащитного слоев.

Оценка возможности применения профилированной (макро-текстурированной) геомембраны выполнена в три стадии.

На первой стадии проверена устойчивость земляного полотна с предлагаемым решением (рис. 4), где отмечен факт дополнительного армирования земляного полотна за счет целой объемной структуры предлагаемого решения, где коэффициент устойчивости достигается не менее 2,75 при минимально необходимом 1,3 [3, 4].

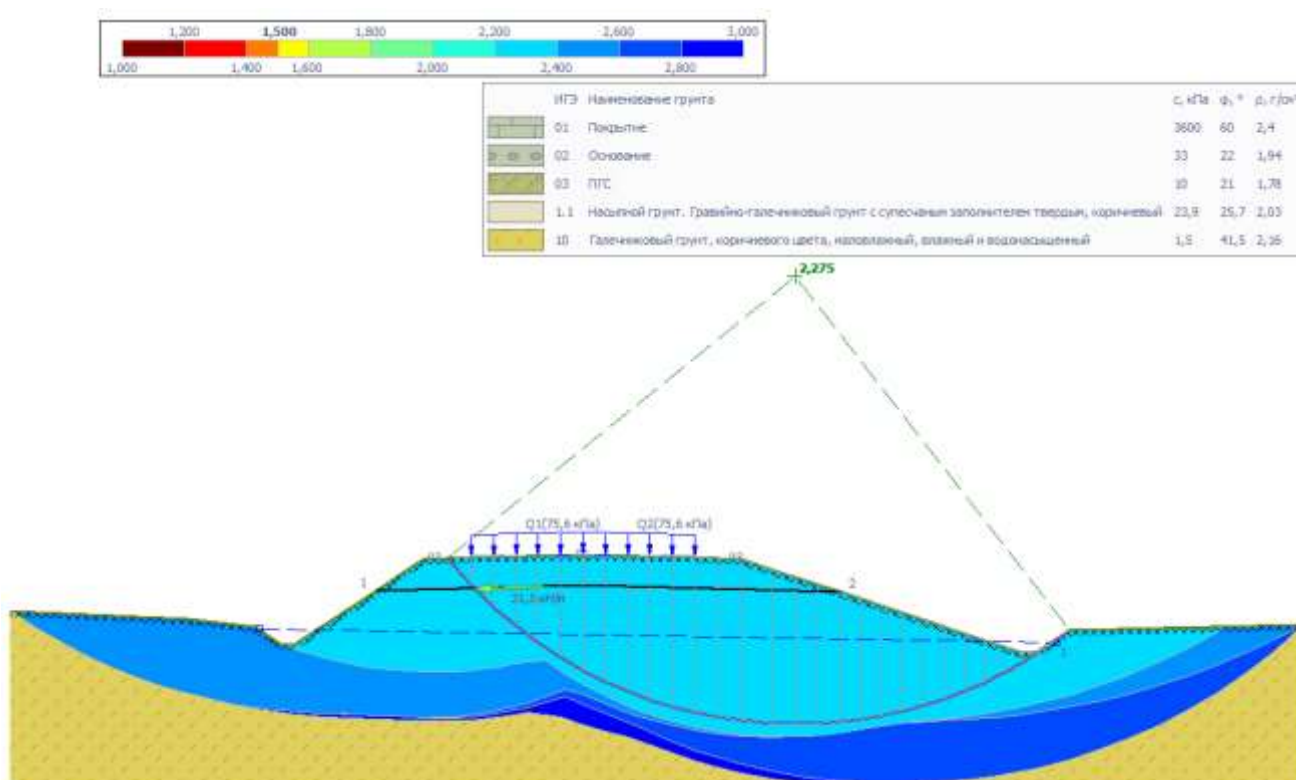


Рисунок 4 – Результат расчета устойчивости земляного полотна с предлагаемым решением

На второй стадии проверена осадка земляного полотна с предлагаемым решением (рис. 5) методом конечных элементов, где отмечен факт обеспечения единого распределения нагрузки предлагаемым решением на основание земляного полотна, где осадка земляного полотна не превышает 15 мм.

На третьей стадии проверена дренажная способность ( $q_p$ ) предлагаемого решения при конструировании земляного полотна по следующей зависимости:

$$q_p = q_{\text{проп}} * (P_{\text{повреж}} * P_{\text{полз}} * P_{\text{хим}} * P_{\text{био}} * P_{\text{распред}})$$

В предлагаемой зависимости учтены все возможные повреждения предлагаемого решения при устройстве в теле земляного полотна, а именно:

$P_{\text{повреж}}$  – повреждаемость материала при его монтаже;

$P_{\text{полз}}$  – ползучесть;

$P_{\text{хим}}$  – устойчивость к химически агрессивным условиям строительства;

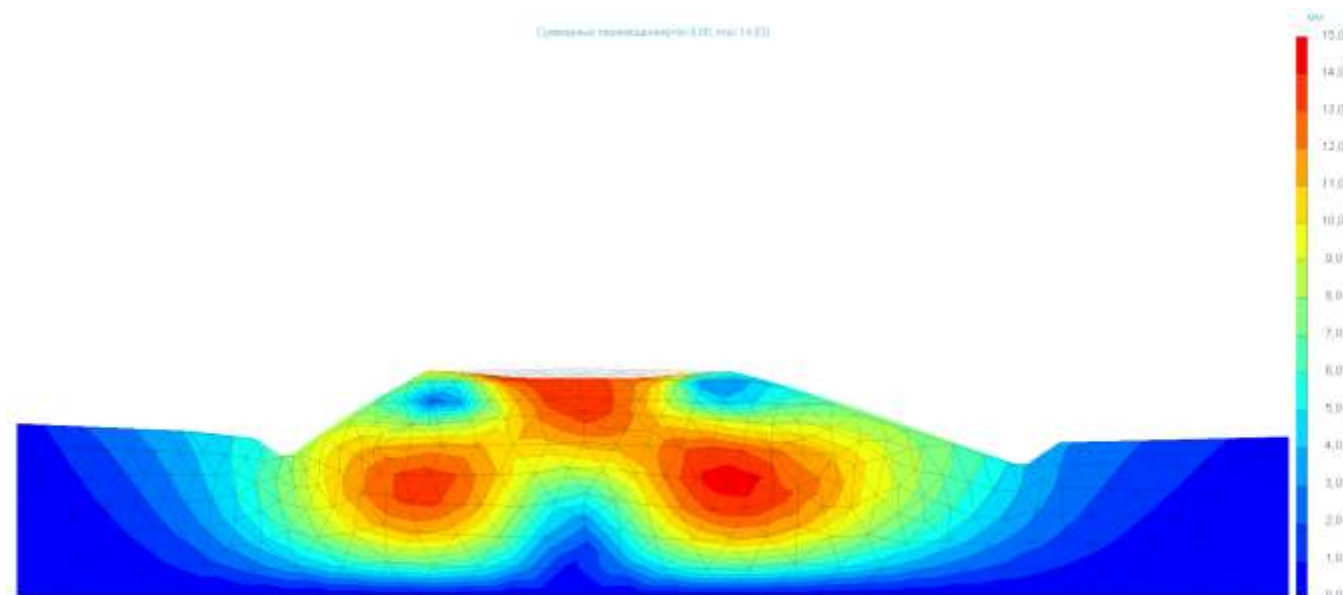


Рисунок 5 – Результат расчета осадки земляного полотна с предлагаемым решением

$P_{\text{био}}$  – устойчивость к биологически агрессивным условиям строительства;

$P_{\text{распред}}$  – отклонения от факта работы предлагаемого решения из-за неоднородности исходных данных;

$q_{\text{проп}}$  – пропускная способность предлагаемого решения (зависит от уклона в проектном положении) при гидравлическом градиенте  $i=0,318$  [-]/[%].

На основании произведенного расчета из зависимости живого сечения предлагаемого решения и возможных повреждений его уменьшающих определено:

– сокращение минимально необходимых высот насыпей в среднем в 2,4 раза (от 1,5...3,0 м до 0,7...1,1 м);

– сокращение «Тзап» (средней продолжительности запаздывания начала работы водоотводящих устройств) или увеличение процесса дренирования в 375,65 раза (с 6 суток до 23 минут);

– организованный процесс миграции воды в земляном полотне исключает кальматацию и заиливания конструктивных слоев дорожной одежды и земляного полотна [2, 5].

### Список литературы

1. Абдуназаров Ж.Н. Расчетный автомобиль для проектирования автомобильных дорог / Ж.Н. Абдуназаров // Вестник МАДИ.– 2013.– № 3(31). – С.77-82
2. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации (утв. распоряжением Росавтодора № ОС-568-р от 27.06.2002 г.).
3. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М: Машгиз, 1950. – 343 с.
4. Певзнер Я.М. Теория устойчивости автомобиля / Я.М. Певзнер. – М: Машгиз, 1947. – 275 с.

5. Лушников Н.А. О взаимодействии колеса автомобиля и дорожного покрытия с колеиностью / Н.А. Лушников, П.А. Лушников, Д.И. Ковалев [и др.] // Дороги и мосты. – 2021. – № 45/1. – С. 75-80.

### References

1. Abdunazarov Zh.N. Calculation car for designing highways / Zh.N. Abdunazarov // Bulletin of MADI. – 2013. – Vol. 3(31). – pp.77-82
2. Methodological recommendations for the restoration of asphalt concrete pavements and foundations of highways by cold regeneration methods (approved by Order of Rosavtodor № OS-568-r dated 27.06.2002).
3. Chudakov E.A. Theory of the car / E.A. Chudakov. – M: Mashgiz, 1950. – 343 p.
4. Pevsner Ya.M. Theory of stability of the car / Ya.M. Pevzner. – M: Mashgiz, 1947. – 275 p.
5. Lushnikov N.A. On the interaction of a car wheel and a road surface with a track / N.A. Lushnikov, P.A. Lushnikov, D.I. Kovalev [et al] // Roads and bridges. – 2021. – № 45/1. – pp. 75-80.

## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ КЛАССИФИКАТОРА**

**Макаров В.Е.**

*Поволжский государственный технологический университет,  
Йошкар-Ола, Россия*

## **DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL LABORATORY CLASSIFIER SETTINGS**

**Makarov V.E.**

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia*

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы рационального природопользования применительно к лесной промышленности, за счет использования второстепенного (побочного) сырья – древесины в виде пней, дровяного горбыля, сучьев, вершинок дерева и т.д. хвойных пород для переработки на щепу в канифольно-скипидарном производстве. Немаловажную роль здесь на стадии производства продукции играет сортировка щепы и частиц древесных материалов по смолистости. Разработана принципиальная схема сепарационной установки по разделению щепы в электростатическом поле. Представлена ее натурная реализация. Вопросу физического подобия процессов сортировки щепы по смолистости уделено особое внимание. Определены ее параметры.

*Abstract.* The article considers the issues of rational nature management in relation to the forest industry, due to the use of secondary (by-product) raw materials - wood in the form of stumps, firewood slabs, branches, tree tops, etc. of coniferous species for processing into chips in rosin and turpentine production. An important role here at the production stage is played by sorting chips and particles of wood materials by resin content. A basic diagram of a separation plant for separating chips in an electrostatic field has been developed. Its full-scale implementation is presented. Particular attention is paid to the issue of physical similarity of the processes of sorting chips by resin content. Its parameters have been determined.

*Ключевые слова:* щепы, смолистость, сортировка, пневая древесина, канифольно-скипидарное производство.

*Keywords:* wood chips, resin content, sorting, stump wood, rosin and turpentine production.

Устойчивое экономическое развитие любой отрасли народного хозяйства основано на сбалансированном взаимодействии предприятий данной отрасли и окружающей среды. Необходима оптимизация природно-ресурсного потенциала этих предприятий [1].



Лесная промышленность не является исключением. Для устойчивого и стабильного развития она включает в себя такие задачи, как:

1. Механизация технологических процессов;
2. Использование всей биомассы дерева, путем пенетрации новаторских ресурсосберегающих технологий, включая переработку коры, сучьев, вершинной части и пней, позволяющих в полной мере использовать всю биомассу дерева, включая кору, сучья, вершинки и пни деревьев. На их долю приходится  $\frac{1}{4}$  объема заготавливаемой древесины [2-4].

Перечисленные выше элементы деревьев являются сырьем для выработки тех. щепы или щепы для выработки тепловой энергии и генераторного газа, а также в качестве сырья для множества перспективных химических производств [5, 6].

Но, как и в любом случае, производство продукции начинается с сортировки сырья [7].

Сортировка щепы осуществляется следующими способами [8]:

1. По размерным признакам (по фракциям: крупная, средняя и мелкая фракции);
2. По толщине (особенно актуальна для целлюлозно-бумажной промышленности);
3. По назначению (технологическая и топливная).

Основное внимание уделим вопросу сортировки щепы по процентному содержанию в ней смолы, т.е. по смолистости [9]. Данный вопрос еще недостаточно изучен.

На данный момент содержание смолистых веществ в характеристиках технологической щепы стандартами не предусмотрен.

Но данный показатель очень актуален для канифольно-скипидарного производство. Возникает необходимость калибровки щепы по фракциям смолистости как важнейший этап сырьевой подготовки для экстрагирования смолистых веществ [8, 9].

Сырьем являются сучья, вершинки и пни хвойных пород. Их измельчают с последующим экстрагированием смолистых веществ [5, 6, 8, 9].

Одним из путей сепарации щепы по смолистости является разделение ее на фракции в электростатическом поле [8, 9].

При обзоре существующих конструкций были выявлены их недостатки [10]:

1. Эффективность процесса – низкая;
2. Напряженность электрического поля – высокая;
3. Противопожарная безопасность – низкая.

**Целью работы** является разработка экспериментальной лабораторной установки классификатора сортировочного устройства технологической щепы с целью повышения эффективности разделения древесных частиц в электростатическом поле по смолистости, т.е. на фракции с различным содержанием канифоли.

**Решение задачи.** В Поволжском государственном технологическом университете на кафедре Технологических машин и оборудования разработана

экспериментальная лабораторная установка по сортировке щепы по смолистости [10].

Схема лабораторной установки представлена на рис. 1.

Основной частью сепарационной установки (рис. 1) является диэлектрический корпус 1. Высоковольтный трансформатор 2, выпрямительный блок 3 и высоковольтные кабели 4 размещены в нем. Напряжение на электроды 5 подается по кабелям 4. За счет основания установки осуществляется заземление сепаратора. Положительно-заряженные электроды 5 плоской формы шарнирно фиксированы в корпусе 1. Отрицательный электрод 6 размещен между положительно-заряженными электродами 5.

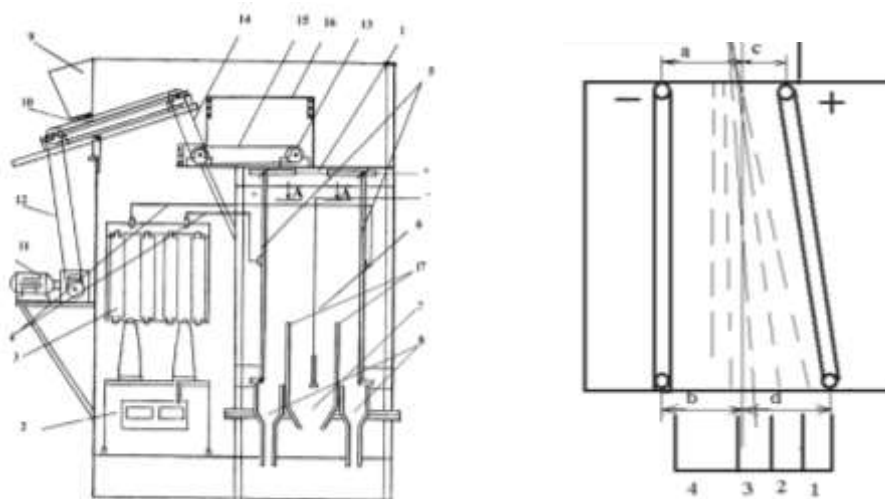


Рисунок 1 – Схема экспериментальной лабораторной установки классификатора:

1 – корпус; 2 – трансформатор; 3 – выпрямитель; 4 – силовые кабели; 5 – электроды; 6 – отрицательный электрод; 7 – секция для малосмолистой щепы; 8 – секция для высокосмолистой щепы; 9 – подающий конвейер; 10 – лента конвейера; 11 – электродвигатель; 12 – ремённая передача; 13 – подзаряжающий транспортер; 14 – ремённая передача; 15 – медная сетчатая лента; 16 – металлическая пластина; 17 – разделительные шторки

Для сбора отсортированной щепы служат бункеры: 7 – для щепы с низким содержанием смолистых веществ и 8 – для щепы с высоким содержанием смолистых веществ.

На боковой стенке корпуса сепаратора 1 установлен загрузочный бункер 9. Подающий транспортер 10 расположен под бункером 9.

Ременной передачей 12 и редукторным электродвигателем 11 транспортер приводится в движение. Ременная передача 14 подзаряжает транспортер 13 от транспортера 10.

Положительные электроды 5 соединены с металлической пластиной 16, а медная сетка 15 - с отрицательным электродом 6. Шторки 17 разделяют положительные 5 и отрицательный 6 электроды.

Принцип работы сепаратора заключается в следующем.



Технологическая щепа из бункера 9 поступает на ленту транспортера 10 и далее на медную сетку 15 подзаряженного транспортера 13. В созданном однородном электростатическом поле между сеткой 15 и металлической пластиной 16 щепа подзаряжается отрицательным зарядом. При этом электроды 5 и электрод 6 разнозарядны, создавая неоднородное электростатическое поле.

Технологическая щепа в зависимости от степени смолистости отклоняется от оси сепаратора в пространстве между электродами 5 и 6. Более смолистая щепа, получив больший отрицательный заряд, отклоняется в сторону положительного электрода сильнее, а менее смолистая, отклоняется в сторону незначительно положительного электрод, получив меньший отрицательный заряд. Щепа сепарируется на фракции шторкой 17 в бункеры 7 и 8.

На данной основе [10] создана экспериментальная лабораторная установка (рис. 2).

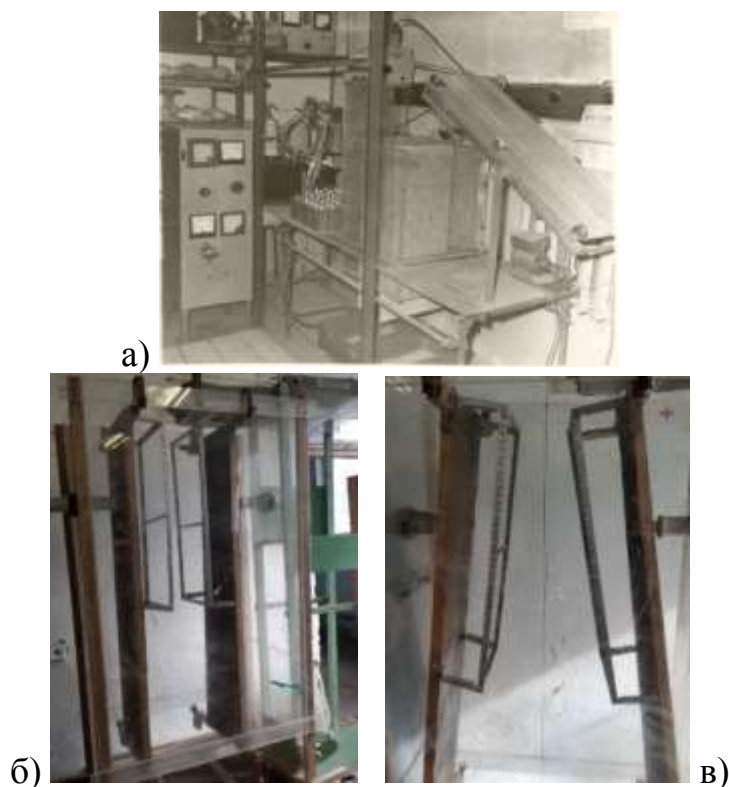


Рисунок 2 – Экспериментальная лабораторная установка:

- а) общий вид установки; б) сортировочный бункер лабораторной установки;  
в) электроды установки

**Вывод.** Создана натурная экспериментальная установка сепаратора по разделению древесных частиц в среде электростатического поля и приведены ее основные установочные параметры.

Основные установочные параметры сепаратора:

- мощность максимальная, кВт - 2,5;
- выходное напряжение, кВ - 6 - 60 кВ.

Экспериментальная установка дает возможность:

1. Повысить действенность сортировочного процесса;
2. Сбавить напряженность в электростатическом поле;

3. Повысить противопожарную безопасность за счет предотвращения просакивания искр, электрического пробоя, короткого замыкания электродов.

### Список литературы

1. Безрукова Т.Л. Экономическая эффективность использования вторичного сырья лесной промышленности / Т.Л. Безрукова, И.И. Шанин, В.В. Травникова // Успехи современного естествознания. 2015. №1. С.492 – 495.
2. Химич А.В. Компьютерное моделирование объёмов генерации отходов при лесозаготовке / А.В. Химич // Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2022. Т. 2. № 4 (8). С. 59-63.
3. Курасов А.А. Рациональное и эффективное использование отходов лесосеки, лесозаготовки, деревообработки и переработки как фактор повышения рентабельности предприятия / А.А. Курасов // В сборнике: Новая экономика, бизнес и общество. Сборник материалов Апрельской научно-практической конференции молодых учёных. Дальневосточный федеральный университет, Школа экономики и менеджмента. Владивосток, 2020. С. 854-864.
4. Шегельман И.Р. Рециклинг отходов лесозаготовок: состояние и направления исследований / И.Р. Шегельман // Новое слово в науке: перспективы развития. 2014. № 1 (1). С. 305-306.
5. Степанов В.И. Отходы лесной промышленности и их использование в национальном хозяйстве. / В.И. Степанов, Н.А. Мезина // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2012. № 3 (45). С. 83-88.
6. Евдокимов Н.В. Характеристика древесных отходов при производстве технологической щепы с оценкой возможности их использования в аддитивных технологиях / Н.В. Евдокимов, А.Н. Кеутаева // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2022. № 2. С. 119-122.
7. Ильюшенко Д.А. Технологии производства топливной щепы из лесосечных отходов при заготовке древесины 250-300 тыс.пл.м3 в год. / Д.А. Ильюшенко, А.Р. Бирман, Б.М. Локштанов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 175-184.
8. Полянин И.А. Совершенствование технологии сортировки по смолистости щепы, полученной из пневой и некондиционной древесины / И.А. Полянин, В.Е. Макаров // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 4 (32). С. 176-180.
9. Полянин И.А. Технология сортировки щепы по смолистости, полученной из пневой и некондиционной древесины / И.А. Полянин, А.Г. Поздеев, Е.Л. Пугачёва [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014,. – № 6-5. – С. 937-941.
10. Патент 2651715 Российская Федерация, МПК В03С 7/12. Устройство для сортировки древесных материалов по смолистости / И.А. Полянин, В.Е. Макаров, К.Н. Никоноров, заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет, заявл. 13.02.2017, опубл. 23.04.2018. Бюл. № 12.

## References

1. Bezrukova T.L. Economic efficiency of using secondary raw materials in the forest industry. / T.L. Bezrukova, I.I. Shanin, V.V. Travnikova // *Advances in modern natural science*. 2015. № 1. pp.492-495.
2. Khimich A.V. Computer modeling of waste generation volumes during logging / A.V. Khimich // *Youth newsletter of the Novorossiysk branch of the Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhova*. 2022. T. 2. № 4 (8). pp. 59-63.
3. Kurasov A.A. Rational and efficient use of waste from logging, logging, woodworking and processing as a factor in increasing the profitability of an enterprise / A.A. Kurasov // In the collection: *New economy, business and society*. Collection of materials from the April scientific and practical conference of young scientists. Far Eastern Federal University, School of Economics and Management. Vladivostok, 2020. pp. 854-864.
4. Shegelman I.R. Recycling of logging waste: status and directions of research / I.R. Shegelman // *A new word in science: development prospects*. 2014. № 1 (1). pp. 305-306.
5. Stepanov V.I. Forest industry waste and its use in the national economy / V.I. Stepanov, N.A. Mezina // *Bulletin of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov*. 2012. № 3 (45). pp. 83-88.
6. Evdokimov N.V. Characteristics of wood waste in the production of technological chips with an assessment of the possibility of their use in additive technologies / N.V. Evdokimov, A.N. Keutaeva // *Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 4: Industrial technologies*. 2022. № 2. pp. 119-122.
7. Ilyushenko D.A. Technologies for the production of fuel chips from logging waste during wood harvesting of 250-300 thousand square meters per year. / D.A. Ilyushenko, A.R. Birman, B.M. Lokshtanov [et al] // *Systems. Methods. Technologies*. 2021. № 2 (50). pp. 175-184.
8. Polyanin I.A. Improving the technology of sorting by resin content of chips obtained from stump and substandard wood / I.A. Polyanin, V.E. Makarov // *Systems. Methods. Technologies*. 2016. № 4 (32). pp. 176-180.
9. Polyanin I.A. Technology of sorting chips by resin content obtained from stump and substandard wood / I.A. Polyanin, A.G. Pozdeev, E.L. Pugacheva [et al] // *Fundamental Research*. – 2014. – № 6-5. – pp. 937-941.
10. Patent 2651715 Russian Federation, IPC B03C 7/12. Device for sorting wood materials by resin content / . I.A. Polyanin, V.E. Makarov, K.N. Nikonorov, applicant and patent holder Volga State University of Technology, appl. 02.13.2017, publ. 04.23.2018. Bull. № 12.

## НЕДОСТАТКИ РАБОТ ПО КОРЧЁВКЕ ПНЕЙ И ИХ ПРЕОДОЛЕНИЕ

**Михитаров А.Р.**

*Ухтинский государственный технический университет,*

*Ухта, Россия*

## DISADVANTAGES OF TREE STUMP REMOVAL AND HOW TO OVERCOME THEM

**Mikhitarov A.R.**

*Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia*

*Аннотация:* Проведён анализ вопросов необходимости корчёвки пней при выполнении лесохозяйственных работ, указаны главные недостатки данного вида работ и предложено использование вибрационных технологий для корчевания в сочетании с подбором пород деревьев при посадке сеянцев.

*Abstract:* The article analyzes the need for stump removal during forestry work, identifies the main disadvantages of this type of work, and proposes the use of vibration technologies for uprooting in combination with the selection of tree species when planting seedlings.

*Ключевые слова:* корчевание, породы деревьев, энергоёмкость, структурное строение почвы, форма корневой системы.

*Key words:* uprooting, tree species, energy capacity, soil structure, root system shape.

Тенденции развития отечественного лесного комплекса в последние годы направлены на отказ от использования корчёвки пней. Основным фактором, в решении этого вопроса выступает трудоёмкость этого вида работ, но не только. Вторым по значимости фактором считается нарушение структуры лесной почвы и её плодородного слоя.

При этом не учитывается, что это приведёт к потере пнёвой древесины, содержащей пнёвый осмол, являющийся ценным продуктом для биохимического производства.

Заменой корчёвки в настоящее время считается технология понижения пней, путём их фрезеровки специальной техникой. Таким образом, уход от традиционных методов привёл к упадку лесной промышленности и качества растущего леса.

Проведение корчёвки пней можно считать самым сложным видом работ в лесном комплексе. Это связано со значительной трудоёмкостью процесса, требующего применения мощной специальной техники.

Следует отметить, что советский лесохозяйственный комплекс не считался с этими сложностями и проводилась корчёвка леса после его валки в штатном

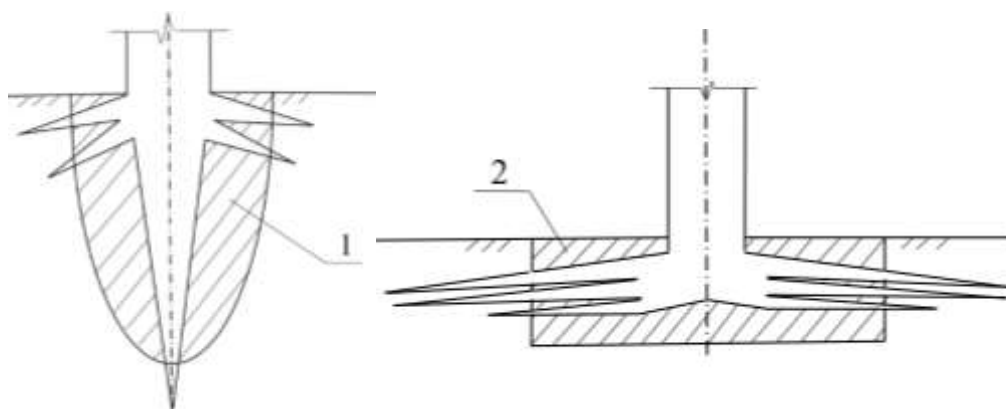
порядке, затрачивались значительные средства на создание специальной техники и сами работы по корчёвке. Была создана многообразная техника, представляющая собой высокотехнологичные объекты, существовала школа по её созданию.

В данной работе предлагается использование вибрационного корчевания пней, но с учётом условий местности.

Как известно, энергоёмкость процесса корчёвки во многом определяется типом корневой системы дерева – поверхностной корневой системы или стержневой (рис. 1).

При корчевании пней с корневой системой с большим количеством боковых корней происходит образование ям значительного размера, а вот корчевание пней с малым количеством боковых корней, но с глубоким срединным корнем (стержнем) может оставить отверстие незначительного диаметра. Таким образом, урон структурному строению почвы будет минимальным.

Значит, использование в качестве сеянцев деревьев определённых пород, имеющих стержневой тип корневой системы, даст возможность в последствии проводить корчёвку их пней без вреда почве. К ним можно отнести сосну и, в определённых условиях, ель [1].



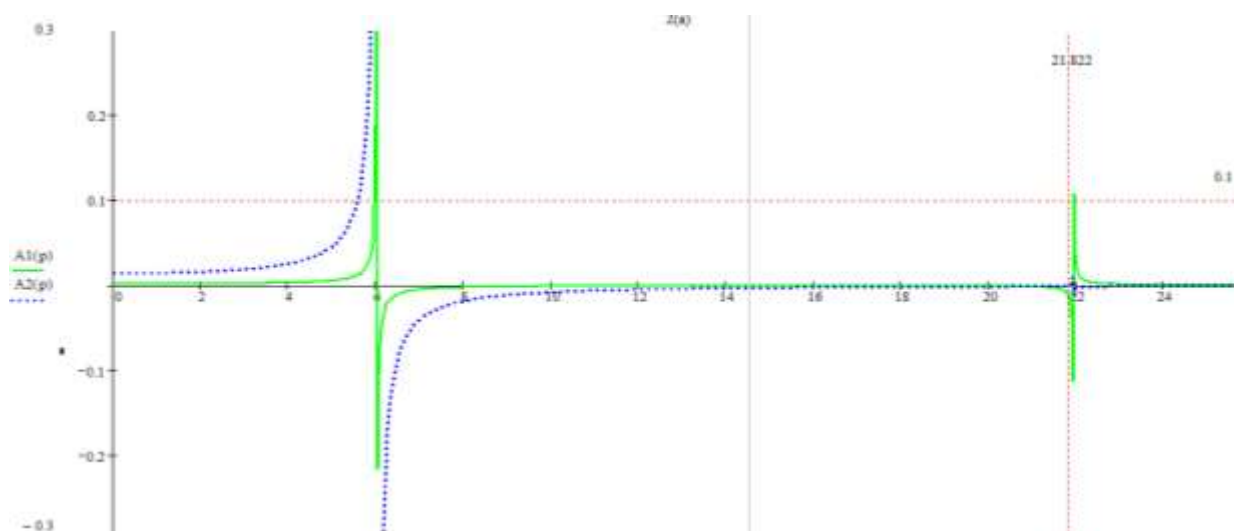
1 – стержневая корневая система, 2 – поверхностная корневая система

Рисунок 1 – Основные типы корневых систем

Известно, что корчёвка пней с глубоким стержневым корнем является сложным и энергоёмким процессом, если применять при этом рычажные корчеватели, а в случае применения машин с вибрационным оборудованием эта задача значительно упрощается [2].

При использовании вибрационного оборудования внимания заслуживают два вида оборудования – с продольной вибрацией и крутильной вибрацией. На зависимости, представленной на рис. 2 можно увидеть, как протекает процесс работы данного оборудования.

Зависимость амплитуды от частоты вибрации имеет два резонанса, второй из которых представляет собой резонанс почвенно-корневой системы (ПКС), при котором амплитуда технологического оборудования близка к нулю и является точкой эффективного вибрационного воздействия.



$A_1$  – амплитуда колебания ПКС,  $A_2$  – амплитуда колебания машины,  
 $p$  – циклическая частота возмущающего момента  
 Рисунок 2 – Амплитудно-частотные характеристики механической системы «машина-ПКС» при крутильных колебаниях

Первый резонанс является общим для технологического оборудования и ПКС и представляется нежелательным, так как оказывает разрушающее действие на технику. Преодоление этого негатива решается при помощи регулирования возмущающего воздействия, и при его снижении сводит общий резонанс на нет [3].

Применение вибрационной техники для корчевания пней убирает самую главную причину отказа от этой операции – трудоёмкость процесса и превосходит по эффективности более чем в два раза рычажные корчеватели, по энергозатратам сопоставима харвестеру (табл. 1) [4].

Таблица 1 – Сравнительный расчёт фактических затрат

Переменные затраты	Харвестер Cat® 320 DFM	Cat® 320 DFM с виброоборудованием
Расходы на ГСМ, руб./год 2 139 126 + 292	2 139 418	2 139 418
Расходы на ремонт и техническое обслуживание, руб./год	1 600 902	1 658 397
Запасные части, руб./год 1.5% от затрат на ремонт+шины и цепи	818 213	922 058
Оплата труда оператора, руб./год	1 705 580	1 705 580
Отчисления во внебюдж. фонды ОВФ, руб./год	564 547	564 547
Итого переменные затраты, руб./год	6 828 660	6 990 000
ВСЕГО ЗАТРАТ, руб./год	11 628 660	11 962 800

При использовании такого оборудования в сочетании с культивированием определённых пород деревьев при посадке сеянцев позволит достичь высокой эффективности корчёвки.

Можно подытожить, указав на необходимость разработки новой корчевальной техники, тем самым сохраняя компетенции по её созданию в будущем.

### **Список литературы:**

1. Основы теории колебаний механической системы / В. К. Хегай, Д. Н. Левитский, О.Н. Харин, А.С. Попов. – Ухта: УГТУ, 2002. – 108 с.
2. Калинин М. И. Корневедение: учебник / М.И. Калинин. – М: Экология, 1991. – 173 с.
3. Михитаров А.Р. Устранение побочных явлений в технологическом процессе вибрационного корчевания пней / А.Р. Михитаров, Ю.А. Добрынин // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы IX всероссийской научно-технической конференции, 2025. – С. 519-522.
4. Хегай В. К. Сравнение экономической эффективности способов валки деревьев без корневой системы и с корневой системой / В.К. Хегай, А.Р. Михитаров // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XIX-ой международной научно-технической Интернет-конференции «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития». – Брянск: БГТУ, 2021. – С. 274-276.

### **References:**

1. Fundamentals of the Theory of Oscillations of a Mechanical System / V. K. Khegay, D. N. Levitsky, O. N. Kharin, A. S. Popov. – Ukhta: USTU, 2002. – 108 p.
2. Kalinin M. I. Root Science: a textbook / M. I. Kalinin. – Moscow: Ecology, 1991. – 173 p.
3. Mikhitarov A. R. Elimination of Side Effects in the Technological Process of Vibratory Stump Removal / A. R. Mikhitarov, Yu. A. Dobrynin // Forests of Russia: Policy, Industry, Science, Education: Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Technical Conference, 2025. – pp. 519-522.
4. Khegay V.K. Comparison of economic efficiency of methods for felling trees without a root system and with a root system / V.K. Khegay, A.R. Mikhitarov // Actual problems of development of the forest complex: materials of the XIX-th international scientific and technical Internet conference «Forest complex: state and development prospects». – Bryansk: BSTU, 2021. – pp. 274-276.



## **ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОГО УДАЛЕНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ**

**<sup>1</sup>Платонов А.А., <sup>2</sup>Платонова М.А.**

*<sup>1</sup>Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

*<sup>2</sup>Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия*

## **DYNAMIC SYSTEM OF THE WORKING PROCESS OF MECHANIZED REMOVAL OF UNWANTED VEGETATION**

**<sup>1</sup>Platonov A.A., <sup>2</sup>Platonova M.A.**

*<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*<sup>2</sup>Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Выполнение работ по удалению нежелательной древесно-кустарниковой растительности целесообразно выполнять с применением различных машин и механизмов. В статье рассматривается структура динамической самонастраивающейся системы механизированного удаления деревьев и кустарников с территорий линейных объектов.

*Abstract:* It is advisable to perform work on removing unwanted trees and shrubs using various machines and mechanisms. The article examines the structure of a dynamic self-adjusting system for mechanized removal of trees and shrubs from the territories of linear objects.

*Ключевые слова:* нежелательная растительность, удаление, механизация, система, объекты, взаимодействие.

*Keywords:* unwanted vegetation, removal, mechanization, system, objects, interaction.

Механизированное удаление нежелательной растительности [1, 2], произрастающей на территориях линейных объектов инфраструктуры [3], призвано обеспечить быстрое и качественное приведение указанных территорий в нормативно-техническое состояние, под которым подразумевается отсутствие деревьев и кустарников, наличие которых способно нарушить нормальное течение соответствующего производственного процесса.

Динамическая система рабочего процесса механизированного удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий линейных инфраструктурных объектов, включающая в себя ряд условий и факторов самонастраивания на получение оптимального, качественного и долгосрочного результата удаления НДКР, представляет собой структуру взаимосвязанных

элементов [4], объединённых в 7 следующих подсистем: «Линейный инфраструктурный объект», «Производство», «Природа», «Нежелательная древесно-кустарниковая растительность», «Оснащение», «Базовое транспортное средство» и «Система управления» (рис. 1).

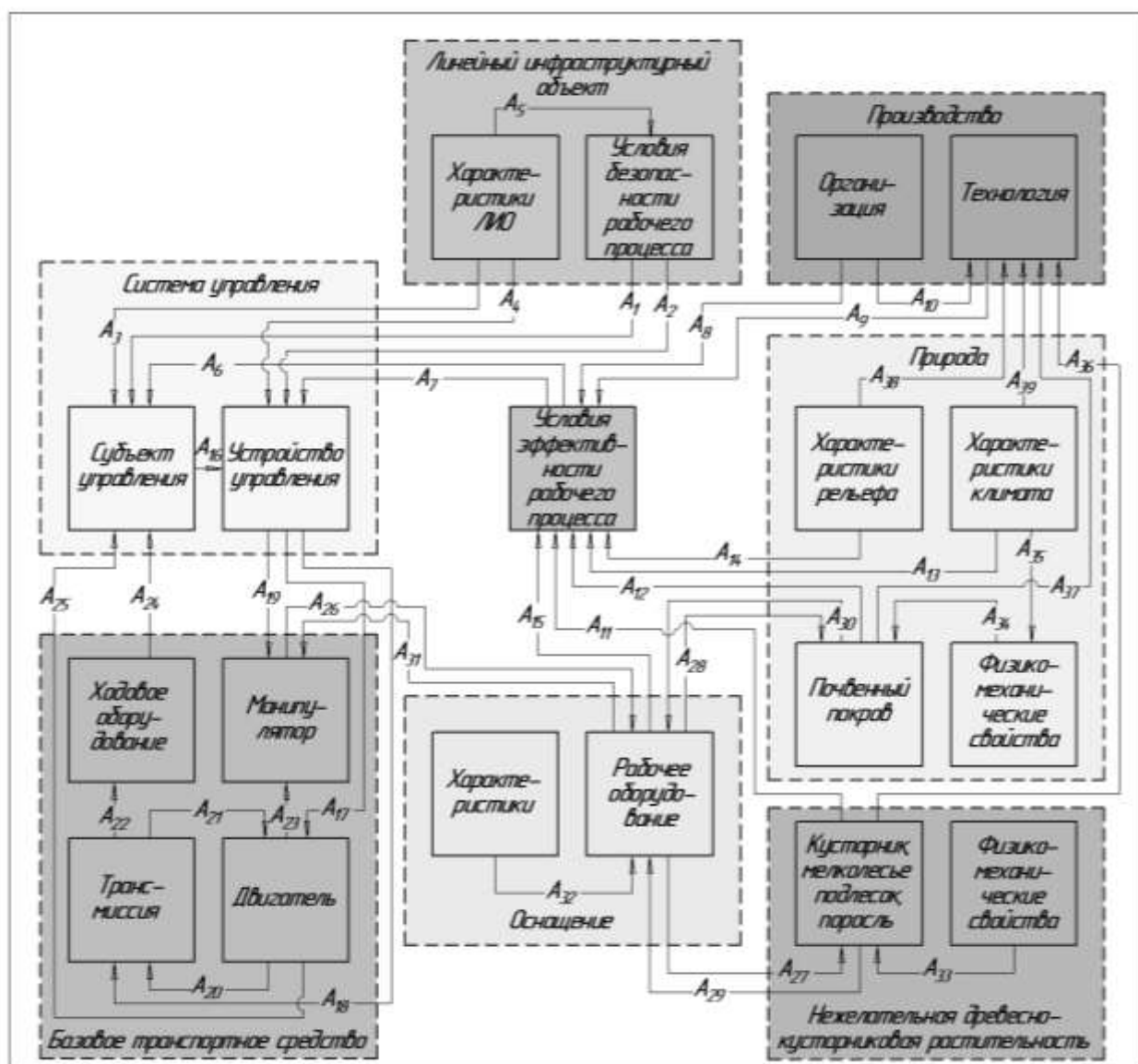


Рисунок 1 – Динамическая система рабочего процесса механизированного удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий линейных инфраструктурных объектов

В качестве элементов подсистемы «Линейный инфраструктурный объект» понимаются рассматриваемые в настоящей работе территории, очищаемые от нежелательной древесно-кустарниковой растительности, особенности и характеристики рассматриваемых территорий, а также условия безопасного выполнения работ на данных территориях, принимаемые и утверждаемые соответствующими компетентными органами, ответственными за нормативно-техническое их содержание [5].

В целом, линейный инфраструктурный объект (ЛИО) представляет собой совокупность капитальных инженерных конструкций, начало сооружений ко-

торых уходит в века (достаточно вспомнить сооружение древних каналов-водоводов, а также появившиеся на рубеже XVIII-XIX веков железные дороги). ЛИО создаются для поддержки самых различных производственных процессов и обеспечения нормальной жизнедеятельности людей. Указанные рабочие процессы определяют типы линейного объекта: транспортные (для обеспечения перевозки грузов и пассажиров посредством движения автомобильного и железнодорожного транспорта, передачи на большое расстояние жидкостей и газов), коммунальные (для обеспечения передачи электрической или тепловой энергии, доставки воды к потребителям или сбора и отведения сточных вод), для обеспечения связи. Ключевыми особенностями ЛИО являются прочные связи с поверхностью земли и выраженная протяжённость, где длина существенно превосходит ширину (рис. 2).



Рисунок 2 – Совокупность линейных объектов инфраструктуры

Линейные объекты могут включать в себя различные элементы, такие как мосты, тоннели, развязки, станции и терминалы, которые обеспечивают их функциональность. Однако при этом на указанных элементах удаление нежелательной растительности не производится, ввиду отсутствия условий для её произрастания (в частности – плодородного слоя почвенных частиц).

В качестве элементов подсистемы «Производство» понимаются мероприятия, связанные с организационными действиями (самостоятельными силами, аутсорсинг и т.д.) по подготовке к выполнению работ по удалению с территорий ЛИО нежелательной древесно-кустарниковой растительности, а также принимаемый для конкретных условий работ технологический процесс удаления указанной растительности, включающий в себя одну или несколько технологических операций.

В целом, технологический процесс (ТП) представляет собой регламентированную документами последовательность взаимосвязанных операций, выполняемых над линейным инфраструктурным объектом для достижения заданного результата (удаления произрастающей нежелательной растительности), и подлежащих контролю.

Технологические процессы, осуществляемые на территориях ЛИО, чаще всего нацелены на удаление НДКР методом срезания. Соответствующие технологические операции (самый мелкий шаг в технологическом процессе, который сам по себе является законченным этапом и имеет все характеристики всего процесса) в этом случае представляют собой воздействие на нежелательную растительность ручными переносными кусторезами или бензопилами (рис. 3, а; при относительно небольших объёмах работ или при отсутствии трактора) или механизированными кусторезами, приводимыми в действие трактором (рис. 3, б; при больших объёмах работ, ровной без посторонних включений поверхности и т.д.).



Рисунок 3 – Удаление НДКР методом срезания

В качестве элементов подсистемы «Система управления» понимаются субъект управления (человек-оператор или автоматическое устройство, принимающий (принимающее) решения по управлению базовым транспортным средством, в том числе – его элементами), а также устройство управления, формирующее и передающее управленческие решения элементам указанного транспортного средства.

В качестве подсистемы «Базовое транспортное средство» понимаются машины (а именно: трактор; многофункциональное транспортное средство типа «экскаватор», «погрузчик», «мини-погрузчик»; или специализированное транспортное средство типа «мульчер самоходный»), обладающие такими элементами, как двигатель, трансмиссия, ходовое оборудование и манипулятор.

В части многофункционального транспортного средства речь идёт о транспортном средстве с гусеничным или пневмоколёсным шасси, способном адаптироваться к разным функциям удаления нежелательной растительности за

счёт применения сменного навесного оборудования, которое крепится к концу управляемой стрелы или рукояти манипулятора. Чаще всего рассматриваемое транспортное средство выполнено по схеме «шасси-экскаватор» (рис. 4, а), практически не применяются многофункциональные транспортные средства, выполненные по схеме «шасси-мини-погрузчик» (рис. 4, б)



Рисунок 4 – Многофункциональные транспортные средства

В качестве элемента «Манипулятор» понимаются механизмы, обеспечивающие перемещение рабочего оборудования (органа [6]) в пространстве при неподвижном или подвижном транспортном средстве, в том числе введение в соприкосновение и выведение из соприкосновения с нежелательной растительностью рабочего оборудования (органа).

В качестве элементов подсистемы «Оснащение» понимаются технические средства механизации (рабочее оборудование) по удалению нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий линейных инфраструктурных объектов, перемещение которых в пространстве обеспечивается манипулятором базового транспортного средства, а также особенности и характеристики указанных средств механизации. В качестве оснащения технологических операций удаления НДКР могут применяться лесные грабли (рис. 5, а), косилки-кусторезы (рис. 5, б), мульчеры (рис. 5, в) и иные устройства [7, 8].

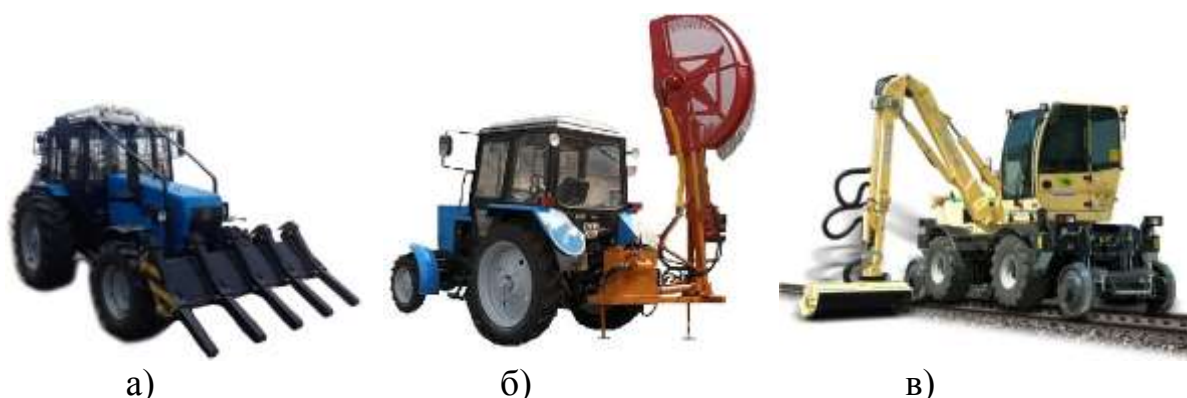


Рисунок 5 – Оснащение базовых транспортных средств удаления НДКР

В качестве элементов подсистемы «Природа» понимаются геолого-геоморфологические особенности и характеристики территорий линейных инфраструктурных объектов (а именно: почвенного покрова поверхности ЛИО,



обеспечивающего произрастание НДКР, и рельефа местности), а также метеорологические и климатические факторы, характеризующих суровость (в том числе – неустойчивость) сезонов года и значительность колебаний среднегодовых температур в местности расположения ЛИО.

В качестве элементов подсистемы «Нежелательная древесно-кустарниковая растительность» понимаются рассматриваемые в настоящей работе кустарник, мелколесье, подлесок и поросль, удаляемые с территорий линейных инфраструктурных объектов, а также их особенности и характеристики [9]. В частности, характеристикой кустарника является его описание как многолетнее растение, которое во взрослом состоянии не имеет одного главного ствола, а вместо этого имеет несколько одревесневших побегов, достигающих высоты от 0,8 до 6 метров.

Реакции связей, характеризующих воздействие (Action (*англ.*) – воздействие) одних элементов подсистем на другие элементы указывается с обозначением их порядкового номера.

Суть рассматриваемой динамической системы заключается в следующем.

При удалении нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территории линейного инфраструктурного объекта субъект управления подсистемы «Система управления», исходя из условий безопасности рабочего процесса (A1, A2) и характеристик ЛИО (A3, A4, A5) подсистемы «Линейный инфраструктурный объект», динамически изменяющихся условий эффективности рабочего процесса (A6, A7; на которые оказывают влияние организационные (A8) и технологические (A9, A10) особенности производства (удаления НДКР) подсистемы «Производство», реакции кустарника (мелколесья, подлеска и поросли; A11) и почвенного покрова (A12), характеристик климатической зоны (A13) расположения ЛИО и рельефа (A14) местности, а также реакции (A15) рабочего оборудования), оказывает влияние (A16) на устройство управления и формирует управляющие воздействия на двигатель (A17), трансмиссию (A18) и манипулятор (A19) базового транспортного средства.

Элементы подсистемы «Базовое транспортное средство», воспринимая управляющие воздействия от устройства управления, перераспределяют энергию между двигателем и трансмиссией (A20, A21), оказывая при этом влияние на ходовое оборудование (A22) и манипулятор (A23). Ходовое оборудование, в свою очередь, воздействует (A24) на субъект управления, на которое одновременно может оказывать влияние и двигатель (A25) базового транспортного средства.

В подсистеме «Оснащение» рабочее оборудование, воспринимая воздействия от манипулятора (A26), формирует воздействия на нежелательные кустарник (мелколесье, подлесок, поросль; A27) и почвенный покров (A28), получая от них ответные реакции (A29, A30) и оказывая в свою очередь ответное влияние на манипулятор (A31), при этом реакции рабочего оборудования, нежелательной растительности и почвенного покрова зависят соответственно от характеристик указанного оборудования (A32) и физико-механических свойств растительности и почвы (A33, A34), при этом на последние оказывают влияние

климатические характеристики (А35) зоны расположения линейного инфраструктурного объекта.

Получаемая в результате воздействия рабочего оборудования реакция кустарника (мелколесья, подлеска, поросли) оказывает влияние (А36) на принимаемую технологию подсистемы «Производство», на которую кроме того оказывают влияние элементы подсистемы «Природа», а именно: существующий почвенный покров (А37), характеристики рельефа (А38) и климата (А39).

Чёткое взаимодействие элементов рассмотренной структуры динамической системы рабочего процесса механизированного удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий линейных инфраструктурных объектов является условием быстрого, качественного и, в целом, эффективного удаления НДКР с вышеозначенных территорий.

### Список литературы

1. Абдразаков Ф.К. Совершенствование технологии и технических средств утилизации древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов, дорог, ЛЭП. Ч.1 / Ф.К. Абдразаков, Д.А. Соловьев, Р.Н. Бахтиев // Строительные и дорожные машины. – 2003. – № 3. – С. 22-23.
2. Экспертное обоснование концепции машины для удаления нежелательной растительности вдоль железнодорожных путей / А.А. Шубин, Н.А. Витчук, С.О. Илюхин [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 4. – С. 39-44. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-4-39-40.
3. Платонов А.А. Классификация линейных инфраструктурных объектов: линии электропередачи / А.А. Платонов // Актуальные проблемы современного транспорта. – 2023. – № 1(11). – С. 14-22.
4. Платонов А.А. Структура формирования технологических процессов удаления нежелательной растительности с эксплуатационных объектов инфраструктуры / А.А. Платонов // Ползуновский альманах. – 2020. – № 1. – С. 65-68.
5. Платонов А.А. Аутсорсинг в области борьбы с нежелательной растительностью на эксплуатационных объектах инфраструктуры / А.А. Платонов // Научное обозрение. – 2017. – № 8. – С. 68-73.
6. Платонов А.А. Ручные средства механизации воздействия на нежелательную поросль в охранных зонах транспортных инфраструктур / А.А. Платонов // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2021. – № 1. – С. 94-98.
7. Терновская О.В. Моделирование классификационных признаков лесных граблей / О.В. Терновская, А.А. Платонов // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 3(43). – С. 172-182. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.3/14.
8. Драпалюк М.В. Современные машины и оборудование для лесного хозяйства на комбинированном ходу / М.В. Драпалюк, А.А. Платонов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 12.
9. Платонов А.А. Оценка видового разнообразия растительности, произрастающей на территориях линейных инфраструктурных объектов Центральной



ной России / А.А. Платонов // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 1(49). – С. 180-193. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/12.

10. Минаев В.Н. Таксация леса: учеб. пособие / В.Н. Минаев, Л.Л. Леонтьев, В.Ф. Ковязин. – СПб: Лань, 2022. – 240 с.

### References

1. Abdrazakov F.K. Improving the technology and technical means of recycling woody and shrubby vegetation along canals, roads, and power lines. Part 1 / F.K. Abdrazakov, D.A. Soloviev, R.N. Bakhtiev // Construction and road machines. – 2003. – № 3. – pp. 22-23.

2. Expert substantiation of the concept of a machine for removing unwanted vegetation along railway tracks / A.A. Shubin, N.A. Vitchuk, S.O. Ilyukhin [et al.] // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. – 2024. – № 4. – pp. 39-44. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-4-39-40.

3. Platonov A.A. Classification of linear infrastructure facilities: power transmission lines / A.A. Platonov // Actual problems of modern transport. – 2023. – № 1 (11). – pp. 14-22.

4. Platonov A.A. Structure of formation of technological processes for removing unwanted vegetation from operational infrastructure facilities / A.A. Platonov // Polzunovsky almanac. – 2020. – № 1. – pp. 65-68.

5. Platonov A.A. Outsourcing in the field of combating unwanted vegetation at operational infrastructure facilities / A.A. Platonov // Scientific review. – 2017. – № 8. – pp. 68-73.

6. Platonov A.A. Manual means of mechanization of impact on unwanted growth in security zones of transport infrastructures / A.A. Platonov // History and Prospects of Transport Development in the North of Russia. – 2021. – № 1. – pp. 94-98.

7. Ternovskaya O.V. Modeling Classification Features of Forest Rake / O.V. Ternovskaya, A.A. Platonov // Forest Engineering Journal. – 2021. – Vol. 11, № 3(43). – pp. 172-182. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.3/14.

8. Drapalyuk M.V. Modern Combined-Rail Forestry Machines and Equipment / M.V. Drapalyuk, A.A. Platonov // Modern Problems of Science and Education. – 2013. – № 3. – pp. 12.

9. Platonov A.A. Assessment of species diversity of vegetation growing on the territories of linear infrastructure facilities of Central Russia / A.A. Platonov // Forestry journal. – 2023. – Vol. 13, № 1 (49). – pp. 180-193. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/12.

10. Minaev V.N. Forest taxation: textbook / V.N. Minaev, L.L. Leontiev, V.F. Kovязin. – St. Petersburg: Lan, 2022. – 240 p.

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО  
ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА СТРЕЛЫ  
С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДЕМПФИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ  
НА ЛЕСНЫХ ГИДРОМАНИПУЛЯТОРАХ**

**Полумиско А.А., Путятин П.А.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**ON THE ISSUE OF USING AN ENERGY-SAVING HYDRAULIC DRIVE  
BOOM LIFTING MECHANISM WITH AN ELECTROMAGNETIC  
DAMPING DEVICE ON FOREST HYDRAULIC MANIPULATORS**

**Polumisko A.A., Putyatin P.A.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Рассмотрены конструкции энергосберегающих гидроприводов механизмов подъема стрелы лесных манипуляторов с интеграцией электромагнитных демпфирующих устройств. Проанализированы существующие технические решения, включая модели с гидроаккумуляторами и пневматическими компонентами. Рассматриваются перспективы применения электромагнитных демпферов в лесной технике.

*Abstract:* The designs of energy-efficient hydraulic drives for the boom lifting mechanisms of forestry manipulators with integrated electromagnetic damping devices are examined. Existing technical solutions are analyzed, including models with hydraulic accumulators and pneumatic components. The prospects for the application of electromagnetic dampers in forestry machinery are discussed.

*Ключевые слова:* гидропривод, демпфер, манипулятор, лесная техника, колебания, энергосбережение, гидроаккумулятор.

*Keywords:* hydraulic drive, damper, manipulator, forestry machinery, vibrations, energy saving, hydraulic accumulator.

В настоящее время учеными различных вузов продолжают поисковые исследования новых конструкций энергосберегающих гидроприводов для повышения эффективности работы лесной техники.

В частности, коллектив авторов (М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, Д.Ю. Дручинин, В.П. Попиков и А.В. Конюхов [1]) предложили энергосберегающий гидропривод для механизма подъема стрелы лесного манипулятора (рис. 1.). В конструкции используются гидробак 1, насос 2, распределитель 3 и гидроцилиндры 4, которые снижают энергозатраты при подъеме стрелы 5 и восстанавливают энергию при ее опускании. Важной особенностью является гидроакку-

мулятор 12, не имеющий гидравлической связи с цилиндром, что позволяет эффективно накапливать и перераспределять энергию. Это решение повышает производительность и надежность системы для лесных манипуляторов, где критична эффективность и устойчивость.

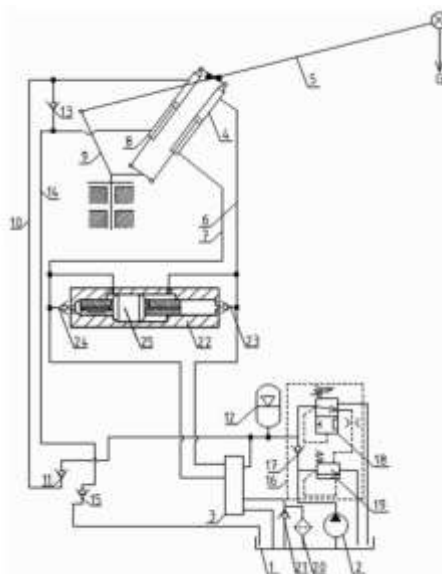


Рисунок 1 – Энергосберегающий гидропривод механизма подъема стрелы лесного манипулятора по патенту RU2774481C1 [1]

Исследование [2] авторов В.И. Посметьева, В.О. Никонова, В.В. Посметьева посвящено применению пневматической энергосберегающей системы в гидроприводе манипулятора лесовозного автомобиля (рис.2). Авторы разработали систему для накопления и преобразования энергии сжатого воздуха, которая используется в процессе погрузки и разгрузки лесоматериалов. С помощью имитационного моделирования авторы оценили эффективность этой системы и оптимизировали внутренний диаметр пневмоцилиндров 9, что улучшает КПД. Исследования показали, что увеличение диаметра цилиндров повышает эффективность, однако это также приводит к большему сопротивлению механической системы.

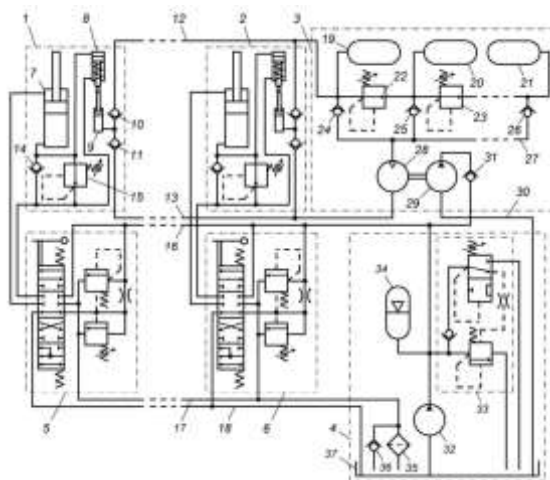


Рисунок 2 – Гидропривод манипулятора лесовозного автомобиля, оснащенный пневматической энергосберегающей системой [2]

В работе [3] Е.В. Сидоров и Р.И. Тюкавнин предложили конструкцию пассивного электромагнитного демпфера (рис. 3) для поглощения колебаний без внешнего питания и систем управления. Узел выполнен как алюминиевый «стакан»-ротор 3 на валу 1 с единственной степенью свободы (вращение), внутри которого жестко установлен цилиндрический магнитопровод 4 из мягкого магнитного материала; выборки в нем служат опорами подшипников 2 для свободного торца ротора.

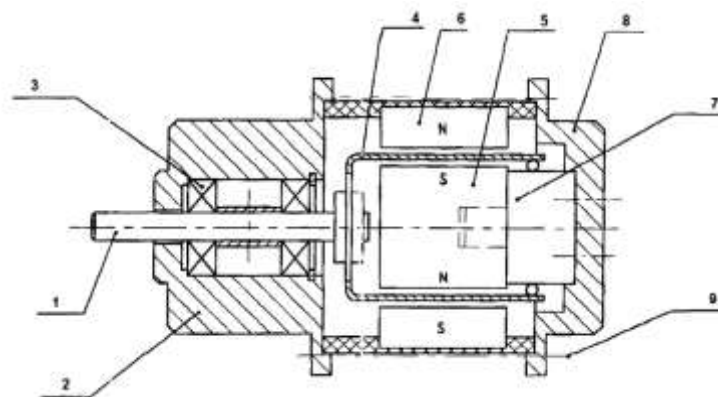
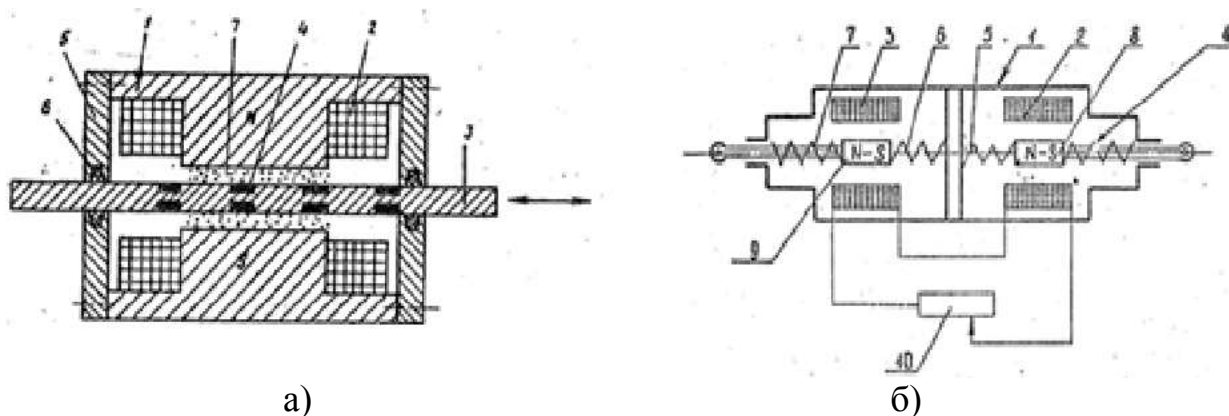


Рисунок 3 – Электромагнитный демпфер по патенту RU2287729C1 [3]

Снаружи расположен многополюсный статор: магнитопровод с закрепленными на внутренней поверхности высокоэнергетическими постоянными магнитами (NdFeB) 5. Торможение создается взаимодействием вихревых токов, индуцируемых в алюминиевом роторе, и поля статора; итоговый тормозной момент растет с угловой скоростью, что обеспечивает энерго-поглощение без активных приводов. Авторы дают рекомендуемые геометрические соотношения для настройки поля: толщина магнита  $h = (0,15 \dots 0,3)r$  и длина наружной дуги  $B = (0,5 \dots 0,8)2\pi r/n$ , где  $r$  – внутренний радиус магнитопровода,  $n$  – число магнитов; отклонение за пределы этих интервалов заметно ухудшает магнитный поток. Указаны ориентиры по материалам ( $NdFeB$  с  $B_r \geq 1,1$  Тл). Патент фиксирует компоновку и параметрические требования, позволяющие получить отсутствие колебательных процессов и гидравлических параметров.

Конструкция электромагнитного демпфера была спроектирована И.Х. Хайруллиным, В.С. Сыромятниковым, Н.К. Потапчуком, Ю.В. Афанасьевым и В.Н. Кузьминым [4]. В его состав входит электромагнит 1 с катушкой 2 возбуждения и подвижный активный элемент 3 (рис. 4, а). Ключевым элементом является ферропорошок 7. Он размещается в пазах 4 между активным элементом и ферромагнитным сердечником и при колебательных перемещениях создает сопротивление, зависящее от индукции магнитного поля. В процессе движения ферропорошок выполняет роль вязкоупругой среды, преобразуя кинетическую энергию в тепловую и обеспечивая эффективное демпфирование.



а) по патенту № 627273 [4]; б) по патенту SU1774099A1 [5]  
Рисунок 4 – Электромагнитный демпфер

Конструкция может быть адаптирована для применения в гидроприводах лесных манипуляторов, где необходимо снижение динамических нагрузок при работе стрелы.

В работе [5] П.П. Стрельцов и М.В. Дорош предложили электромагнитный демпфер, выполненный в виде двух электромагнитных гасителей (рис. 4, б), каждый из которых содержит корпус 1 с электрической обмоткой 2, 3 и подвижный магнитный якорь 8, 9. Основной и дополнительный гасители расположены встречно и связаны друг с другом упругой связью 4-7, а их обмотки соединены электрически последовательно. При колебательных смещениях возникает дополнительная ЭДС, создающая магнитное поле в обмотке второго гасителя и повышающая эффективность поглощения энергии.

Такое конструктивное решение обеспечивает расширение диапазона регулирования и улучшает устойчивость демпфирования. Авторы отмечают, что применение подобного устройства позволяет значительно повысить эффективность подавления инерционных колебаний.

Коллектив авторов (Ю.Н. Журавлев, П.В. Киселев, А.Г. Хростицкий) предложил [6] электромагнитный демпфер для гашения поступательных колебаний узлов машин (рис. 5). Конструкция включает основную и дополнительную обоймы 3, 4 с электрическими обмотками 1, 2, установленные на цилиндрическом стержне 5. Внутри обойм выполнены группы канавок 6-9 в виде пучков стержней 10, равномерно расположенных по окружности; канавки дополнительной обоймы смещены относительно канавок основной, что повышает эффективность взаимодействия.

При осевом смещении стержня в зазорах индуцируются токи, формирующие силы сопротивления, преобразующие энергию колебаний. Дополнительно применяется система автоматического управления током обмоток, которая с помощью интегрально-дифференциального звена 12 и усилителей 14, 15 регулирует сигналы датчиков 11. Это позволяет изменять жёсткость и коэффициент демпфирования в широком диапазоне.

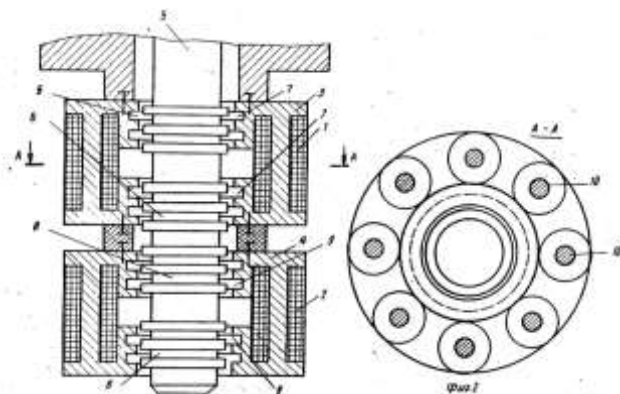


Рисунок 5 – Электромагнитный демпфер по патенту № 846883 [6]

Проанализировав существующие решения, представленные в [1–6], стало очевидно, что, несмотря на эффективность предлагаемых конструкций, сохраняется потребность в более комплексном подходе к снижению энергопотерь и колебательных процессов в гидроприводах лесных манипуляторов. Это послужило основой для разработки нового устройства – энергосберегающего гидропривода механизма подъема стрелы лесного манипулятора с демпфирующим устройством. Предложенная конструкция включает: основной гидроцилиндр подъема стрелы; параллельно подключённый гидроцилиндр рекуперации энергии, обеспечивающий частичный возврат энергии при опускании стрелы; автономный гидроаккумулятор, не связанный напрямую с насосом, что позволяет производить подзарядку за счёт специального трубопровода и обратных клапанов; и электромагнитное демпфирующее устройство, в котором сочетаются постоянные магниты и катушки с регулируемым током, позволяющие адаптивно изменять силу сопротивления в зависимости от условий работы.

Между напорной и сливной гидролиниями гидроцилиндра установлены регулируемые дроссели и демпфирующее устройство, которое стабилизирует поток рабочей жидкости и снижает амплитуду пульсаций давления. Это особенно актуально в переходных режимах, таких как резкий подъем или остановка стрелы, когда традиционные системы подвержены возникновению вредных вибраций и пиковых нагрузок.

Разработанная система способствует не только снижению энергозатрат и повышению плавности работы манипулятора, но и увеличивает ресурс всей гидросистемы. В условиях лесной промышленности, где оборудование подвергается значительным динамическим воздействиям и работает в сложной рельефной среде, подобное решение обеспечивает устойчивость и безопасность при выполнении погрузочно-разгрузочных операций.

### Список литературы

1. Патент № 2774481 С1 Российская Федерация, МПК В66С 13/42. Энергосберегающий гидропривод механизма подъема стрелы лесного манипулятора: № 2021139125 : заявл. 27.12.2021: опубл. 21.06.2022 / М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, Д.Ю. Дручинин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова».

2. Посметьев В.И. Имитационное моделирование работы пневматического энергосберегающего гидропривода манипулятора лесовозного автомобиля / В.И. Посметьев, В.О. Никонов, В.В. Посметьев // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. – Воронеж: ВГАУ, 2020. – С. 145-149.

3. Патент № 2287729 С1 Российская Федерация, МПК F16F 6/00. Электромагнитный демпфер № 2005112133/11 : заявл. 22.04.2005 : опубл. 20.11.2006 / Е.В. Сидоров, Р.И. Тюкавин.

4. Авторское свидетельство № 627273 А1 СССР, МПК F16F 6/00. Электромагнитный демпфер: № 2369849: заявл. 01.06.1976 : опубл. 05.10.1978 / И.Х. Хайруллин, В.С. Сыромятников, Н.К. Потапчук [и др.]; заявитель Уфимский авиационный институт имени Орджоникидзе.

5. Авторское свидетельство № 1774099 А1 СССР, МПК F16F 6/00. Электромагнитный демпфер: № 4756095: заявл. 01.11.1989: опубл. 07.11.1992 / П.П. Стрельцов, М.В. Дорош.

6. Авторское свидетельство № 846883 А1 СССР, МПК F16F 6/00. Электромагнитный демпфер: № 2832387: заявл. 19.10.197 : опубл. 15.07.1981 / Ю.Н. Журавлев, П.В. Киселев, А.Г. Хростицкий ; заявитель Псковский филиал ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина.

### References

1. Patent № 2774481 C1 Russian Federation, IPC B66C 13/42. Energy-saving hydraulic drive for the boom lifting mechanism of a forestry manipulator: № 2021139125: declared 27.12.2021: published 21.06.2022 / M.V. Drapaluk, P.I. Popikov, D.Yu. Druchinin [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov».

2. Posmetev V.I. Simulation modeling of the operation of a pneumatic energy-saving hydraulic drive of a timber truck manipulator / V.I. Posmetev, V.O. Nikonov, V.V. Posmetev // Energy efficiency and energy saving in modern production and society. – Voronezh: VSAU, 2020. – pp. 145–149.

3. Patent № 2287729 C1 Russian Federation, IPC F16F 6/00. Electromagnetic damper: № 2005112133/11: declared 22.04.2005: published 20.11.2006 / E.V. Sidorov, R.I. Tyukavin.

4. Author's certificate № 627273 A1 USSR, IPC F16F 6/00. Electromagnetic damper: № 2369849: declared 01.06.1976: published 05.10.1978 / I.Kh. Khairullin, V.S. Syromyatnikov, N.K. Potapchuk [et al.]; applicant Ufa Aviation Institute named after Ordzhonikidze.

5. Author's certificate № 1774099 A1 USSR, IPC F16F 6/00. Electromagnetic damper: № 4756095: declared 01.11.1989: published 07.11.1992 / P.P. Streltsov, M.V. Dorosh.

6. Author's certificate № 846883 A1 USSR, IPC F16F 6/00. Electromagnetic damper: № 2832387: declared 19.10.1979: published 15.07.1981 / Yu.N. Zhuravlev, P.V. Kiselev, A.G. Khrostitsky; applicant Pskov branch of the Leningrad polytechnic institute named after M.I. Kalinin.

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ  
И ДРОНОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ  
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

**Стородубцева Т.Н., Саврико В.В.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**UNMANNED TECHNOLOGIES IN LOGGING: CHALLENGES,  
BARRIERS AND PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION**

**Storodubtseva T.N., Savriko V.V.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* В статье приведён обзор современных внедрений беспилотных машин в процессы мониторинга и управления лесозаготовительными технологиями. Проведён анализ применения дронов для построения цифровых карт, аэрофотосъёмки, пожаробезопасности, и оценки лесных массивов. Рассмотрены преимущества и недостатки данных технологий. Актуальность тематики обусловлена повышением эффективности в работе лесного комплекса, повышении безопасности жизнедеятельности сотрудников, и развитие лесной промышленности становится более устойчивее. Беспилотные летательные аппараты могут непосредственно повлиять на лесное хозяйство, начиная от создания карт лесных участков до автоматической транспортировки материалов.

*Abstract:* The article provides an overview of modern implementations of unmanned vehicles in the processes of monitoring and management of logging technologies. The analysis of the use of drones for building digital maps, aerial photography, fire safety, and forest assessment is carried out. The advantages and disadvantages of these technologies. The topic is relevant because the efficiency of the forestry complex is increasing, as well as the safety of employees, and the development of the forestry industry is becoming more sustainable. Unmanned aerial vehicles can directly affect forestry, ranging from the creation of maps of forest areas to the automatic transportation of materials.

*Ключевые слова:* мониторинг лесов, беспилотные технологии, дроны, лесозаготовка, мониторинг, роботизированный транспорт, цифровизация.

*Keywords:* forest monitoring, unmanned technologies, drones, logging, monitoring, robotic transport, digitalization.

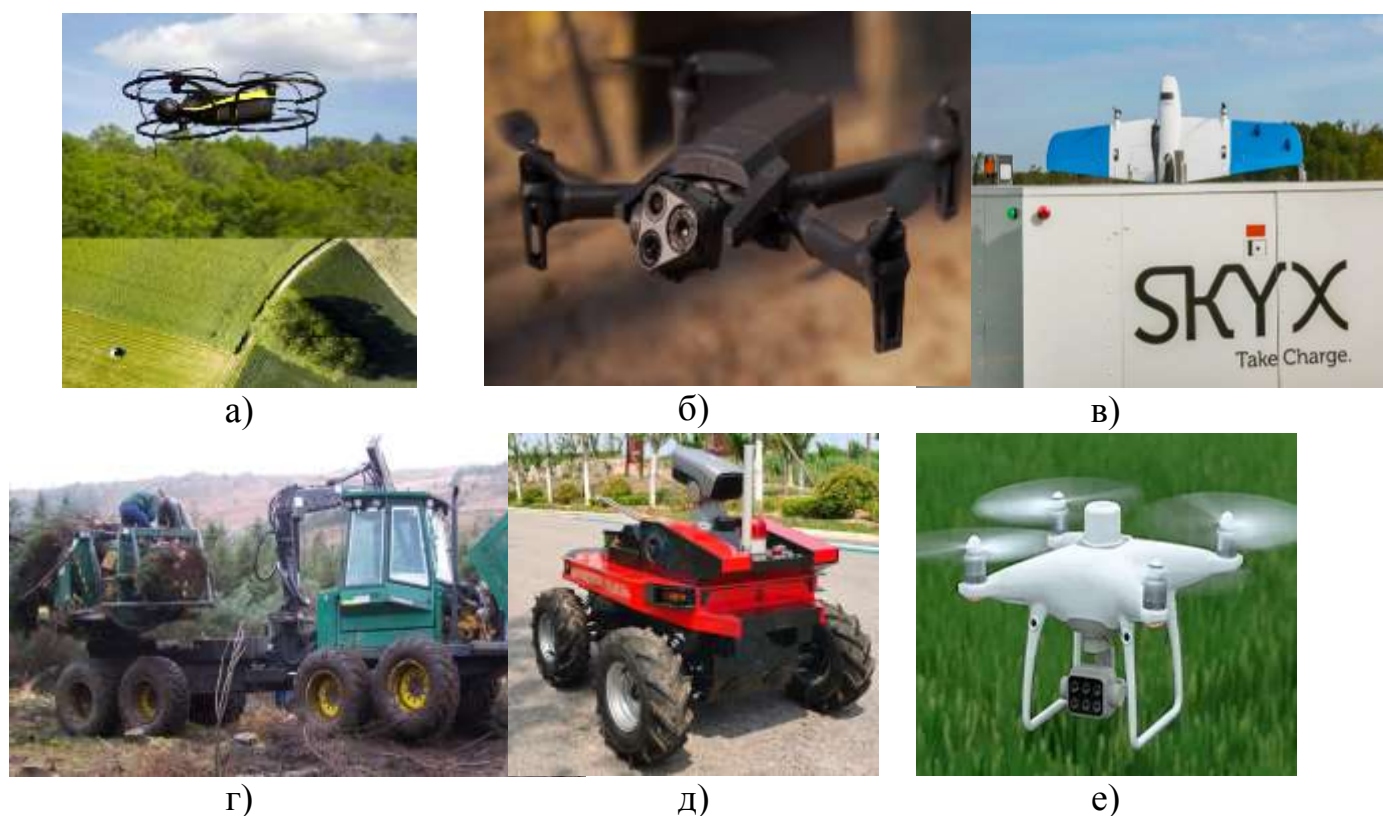
Будущее лесного комплекса непосредственно связано с внедрением новейших технологий, которые в первую очередь повышают эффективность про-



изводства и обеспечивают равномерное и экономичное использование природных ресурсов.

Традиционные методы мониторинга лесных состояний и организации лесозаготовительных процессов зачастую требуют больших затрат труда и времени. В будущем беспилотные аппараты смогут не только снижать производственные риски, но и автоматизировать лесную промышленность. Но стоит отметить высокую стоимость беспилотного летательного аппарата (БПЛА), ограничение по характеристикам и нехватки специалистов. Внимание уделено анализу их функциональных возможностей, ограничений, а также перспектив в развитии лесного комплекса.

Технические разработки беспилотных технологий представлены на рис. 1.



а) БПЛА SenseFly Albris; б) БПЛА Parrot Anafi USA; в) БПЛА SkyX Drone;  
г) БПНА Timberjack 1490D; д) БПНА AutoForester; е) БПЛА DJI Phantom 4  
Multispectral

Рисунок 1 – Технические разработки беспилотных технологий [1-7]

#### *Картографирование лесного фонда, мониторинг пожаров и безопасность*

Одной из наиболее перспективных разработок является Швейцарский многофункциональный картографический беспилотный аппарат SenseFly Albris (рис. 1, а), оснащённый RGB-камерами и тепловизорами. Применяется для аэрофотосъёмки, построения 3D-моделей лесных участков, выявления очагов вредителей и контроля вырубок.

Обеспечивает высокую точность и автономность, но имеет высокую стоимость обслуживания и ограничение в неблагоприятную погоду. В будущем

планируется интеграция с цифровыми платформами управления лесным фондом [1].

Среди новейших разработок следует выделить Parrot Anafi USA (Франция/США), компактный БПЛА (рис. 1, б), ориентированный на мониторинг лесозаготовительных площадок и инфраструктуры. Оснащён 32-кратным зумом и тепловизионной камерой, что позволяет выявлять перегрев техники, очаги возгораний и контролировать безопасность персонала.

Беспилотный аппарат имеет мобильность и простоту эксплуатации, но стоит отметить сравнительно малую продолжительность полёта (до 32 мин), в настоящее время применяют также в комплексных системах быстрого реагирования [2].

Для дальнего радиуса обзора применяют дрон SkyX Drone (Канада), предназначенный для мониторинга протяжённых объектов (рис. 1, в). В лесном хозяйстве используется для патрулирования транспортных путей, контроля трубопроводов и границ лесосек (рис. 2). Дрон способен работать на дистанции до 100 км, однако требует стабильной связи и адаптации к сложному рельефу. Планируется внедрение в масштабные проекты инвентаризации и охраны лесов [3, 7].

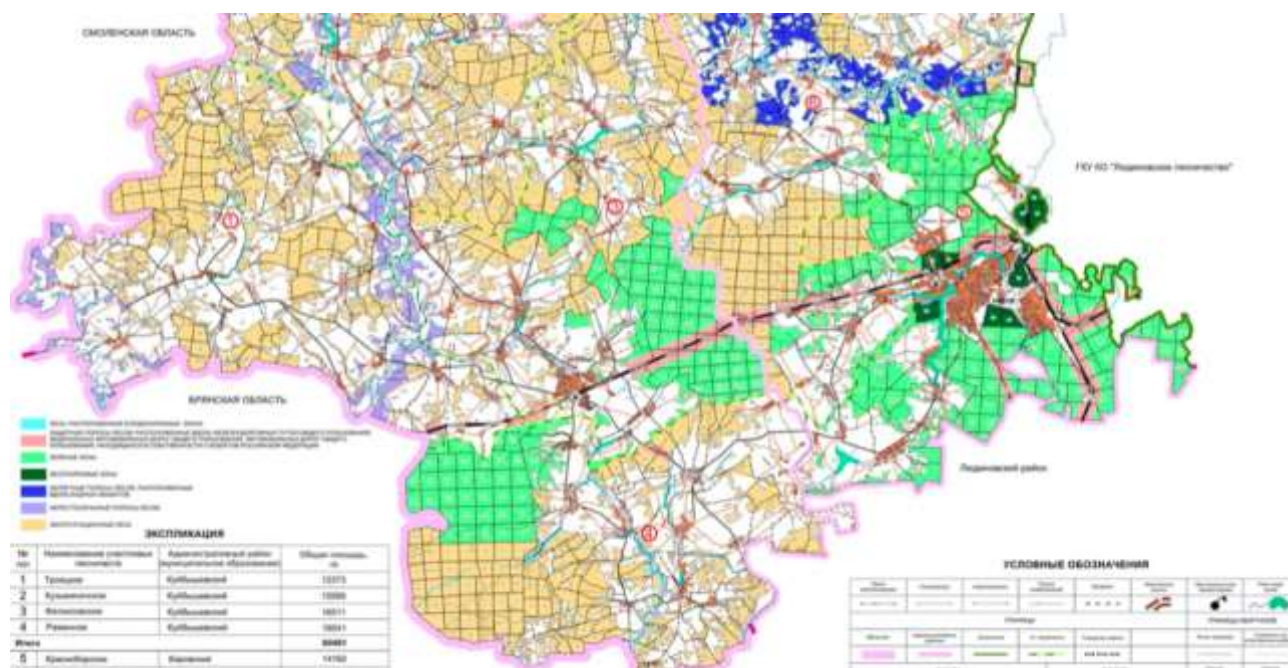


Рисунок 2 – Участки засухи и переувлажнения лесов

### *Автоматизация лесозаготовительных операций*

В последние годы была представлена разработка Timberjack 1490D (Финляндия, John Deere prototype). Наземный автономный робот, разработанный как посадочная машина нового поколения (рис. 1, г). Способен анализировать почву и высаживать семена с минимальным вмешательством человека.

Технология прошла опытные испытания, показав возможность значительного ускорения лесовосстановительных процессов. Основные ограничения связаны с высокой ценой и необходимостью доработки под разные типы почв.

Идёт подготовка к развитию роботизированных технологий посадки без участия человека [4].

Среди новых разработок стоит отметить AutoForester (Швеция) Прототип автономного форвардера, предназначенный для транспортировки древесины (рис. 1, д). Машина интегрируется с цифровыми картами и системами GPS-навигации, способна самостоятельно планировать маршрут движения по лесосеке.

Стоит отметить, при использовании данного типа БПЛА снижает риск травматизма и повышается производительность, что противопоставляет высокой стоимости электроники и сложность эксплуатации в пересечённой местности. В будущем Швейцарские ученые планируют переход к полностью автоматизированной цепочке лесозаготовки [5].

#### *Осмотр леса и выявление вредителей деревьев*

Многофункциональный беспилотный летательный аппарат DJI Phantom 4 Multispectral (рис. 1, е), оснащённый мультиспектральной камерой, которая снимает в видимом и невидимом (инфракрасном) диапазоне. Позволяет проводить мониторинг состояния лесного массива, выявлять стрессовые зоны деревьев, нарушения в структуре лесного покрова, обнаружение заражённых деревьев по изменению отражательной способности листвы в разных спектральных диапазонах, использование в прецизионном лесоводстве и мониторинге биоразнообразия (рисунок 3) [6, 7].

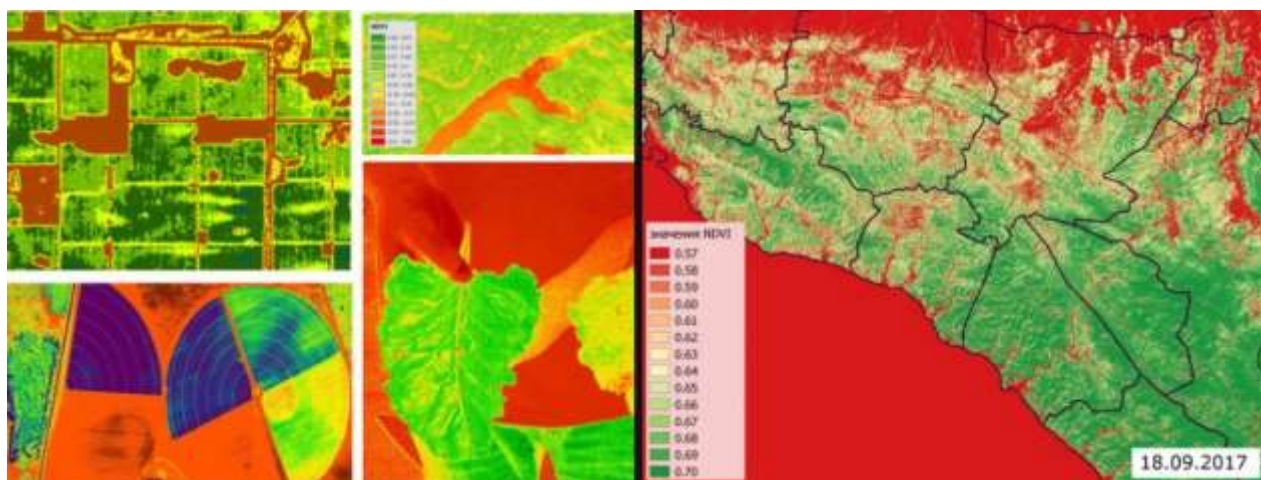


Рисунок 3 – Съёмка в инфракрасном диапазоне

В табл. 1 представлены ключевые характеристики рассмотренных БПЛА и БНЛА и их основные вызовы.

#### *Основные вызовы внедрения*

Несмотря на то, что внедрение инновационных технологий демонстрирует высокую производительность и уменьшило физический труд, их массовое производство сталкивается с рядом барьеров.

Например, экономический фактор, а именно, высокую стоимость самого беспилотного аппарата и комплектующих к нему, также, расходы на техническое обслуживание.



Таблица 1 – Характеристики БПЛА и БНЛА

Название	Применение	Этап разработки	Вызовы внедрения
SenseFly Albris (Швейцария)	Аэрофотосъёмка, картография, мониторинг леса	Серийное производство	Высокая цена, зависимость от погоды
Parrot Anafi USA (Франция/США)	Мониторинг техники и безопасности, тепловизионный контроль	Серийное производство	Малая автономность полёта
SkyX Drone (Канада)	Патрулирование лесных дорог и коммуникаций	Коммерческое применение	Необходимость устойчивой связи
Timberjack 1490D (Финляндия)	Автоматическая посадка саженцев	Опытная эксплуатация	Высокая стоимость, адаптация к почвам
AutoForester (Швеция)	Автономная транспортировка древесины	Прототип	Сложный рельеф, дорогая электроника
DJI Phantom 4 Multispectral	Мониторинг леса, диагностика деревьев	Серийное производство	Ограниченное время полёта, зависимость от погоды.

Кроме того, стоит отметить ограниченное время полета из-за маленькой ёмкости аккумулятора и наличия нестабильной связи для управления БПЛА, также не хватает специалистов, которые не только управляют беспилотником, но и проводят анализ собранных данных.

В будущем для преодоления этих барьеров необходимо иметь развитую инфраструктуру и связь, а также организовать подготовку специалистов.

Перспективность развития заключается в объединение беспилотных систем с цифровым управлением. Использование искусственного интеллекта позволит автоматизировать оценку данных, а развитие гибридных силовых установок увеличит автономность беспилотных аппаратов.

Возможно создание комплексных экосистем, включающих воздушные и наземные беспилотные аппараты, объединённые в единую систему управления лесозаготовительными процессами.

Проведённый анализ показывает, что внедрение беспилотных летательных и наземных систем открывает новые возможности для развития лесного комплекса. Эти технологии позволяют повысить точность мониторинга, снизить риски для персонала и обеспечить более эффективное использование ресурсов. Несмотря на существующие ограничения, связанные с техническими и инфраструктурными факторами, перспективы их развития очевидны: от интеграции с цифровыми платформами до перехода к полностью автоматизированным про-

цессам. Таким образом, использование беспилотных решений является ключевым направлением в повышении эффективности и устойчивости лесной промышленности.

Пренебрежение мониторингом состояния лесов и управлением ими может привести к необратимому ущербу для экосистем, повышая восприимчивость лесов к вредителям, болезням и последствиям изменения климата.

### **Список литературы**

1. SenseFly. Albris. Mapping Drone Specifications [Электронный ресурс]. Lausanne, 2022. URL: <https://lyl.su/ZjYu> (дата обращения: 19.09.2025).
2. Parrot Drones. Parrot Anafi USA. Technical Datasheet [Электронный ресурс]. Paris, 2023. URL: <https://lyl.su/XNzQ> (дата обращения: 19.09.2025).
3. SkyX Ltd. SkyX Drone. Long-Range UAV Systems [Электронный ресурс]. Toronto, 2022. URL: <https://skyx.com> (дата обращения: 19.09.2025).
4. Timberjack 1490D. Forwarder-mounted Timberjack/John Deere 1490D logging residue bundler [Электронный ресурс] // ResearchGate. URL: <https://lyl.su/29DU> (дата обращения: 19.09.2025).
5. AutoForester Project. Autonomous Forwarder Concept [Электронный ресурс] // Forest Machine Magazine. URL: <https://lyl.su/vDj6> (дата обращения: 20.09.2025).
6. DJI. Phantom 4 Multispectral [Электронный ресурс]. Shenzhen, 2019. URL: <https://www.dji.com/phantom-4-multispectral> (дата обращения: 20.09.2025).
7. Аэромотус. Использование беспилотников в лесном хозяйстве [Электронный ресурс] // Aeromotus. URL: <https://lyl.su/kPgQ> (дата обращения: 20.09.2025).

### **References**

1. SenseFly. Albris. Mapping Drone Specifications [Electronic resource]. Lausanne, 2022. URL: <https://lyl.su/ZjYu> (date of access: 19.09.2025).
2. Parrot Drones. Parrot Anafi USA. Technical Datasheet [Electronic resource]. Paris, 2023. URL: <https://lyl.su/XNzQ> (date of access: 19.09.2025).
3. SkyX Ltd. SkyX Drone. Long-Range UAV Systems [Electronic resource]. Toronto, 2022. URL: <https://skyx.com> (date of request: 19.09.2025).
4. Timberjack 1490D. Forwarder-mounted Timberjack/John Deere 1490D logging residue bundler [Electronic resource] // ResearchGate. URL: <https://lyl.su/29DU> (date of access: 19.09.2025).
5. AutoForester Project. Autonomous Forwarder Concept [Electronic resource] // Forest Machine Magazine. URL: <https://lyl.su/vDj6> (date of access: 20.09.2025).
6. DJI. Phantom 4 Multispectral [Electronic resource]. Shenzhen, 2019. URL: <https://www.dji.com/phantom-4-multispectral> (date of request: 20.09.2025).
7. Aeromotus. The use of drones in forestry [Electronic resource] // Aeromotus. URL: <https://lyl.su/kPgQ> (date of request: 20.09.2025).

**О РЕЗУЛЬТАТАХ ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ  
ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПНЕВОЙ ДРЕВЕСИНЫ  
КОНИЧЕСКОЙ ФРЕЗОЙ**

**Фокин С.В., Шпортько О.Н.**

*Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия*

**ON THE RESULTS OF STUDYING THE CHANGE IN ENERGY  
INTENSITY OF THE PROCESS OF GRINDING CONIFEROUS  
WOOD WITH A CONICAL MILL**

**Fokin S.V., Shportyko O.N.**

*Saratov State Technical University named after Gagarin Y.A.  
Saratov, Russia*

*Аннотация:* В данной работе представлены итоги экспериментальных исследований в лабораторных условиях, посвященных анализу параметров, оказывающих воздействие на энергопотребление процесса дробления древесины пней коническим фрезерным инструментом с применением жидкого наполнителя. Выявлены оптимальные взаимосвязи технологических характеристик с целью уменьшения энергоемкости при резке пневой древесины конической фрезой.

*Abstract:* This paper presents the results of experimental studies in laboratory conditions devoted to the analysis of parameters affecting the energy consumption of the process of crushing stump wood with a conical milling tool using liquid filler. Optimal relationships of technological characteristics are identified in order to reduce energy consumption when cutting stump wood with a conical milling cutter.

*Ключевые слова:* коническая фреза, удельная сила резания, измельчение пневой древесины.

*Keywords:* conical cutter, specific cutting force, grinding of pneumatic wood.

Для выявления наиболее подходящих режимов дробления древесины пней посредством резцов разной формы, были проведены опытные изыскания. Рассматривалось влияние рабочих характеристик резания в обстоятельствах, максимально схожих с реальными, согласно подготовленной схеме и программе осуществления опыта [1, 2].

Изучение теоретических аспектов измельчения пневой древесины с использованием конической фрезы выявило, что ключевыми параметрами, определяющими энергозатраты процесса резания, являются: глубина врезания, скорость обработки и скорость перемещения инструмента [3, 4].

Опираясь на анализ существующих научных работ, посвященных обработке древесины пней коническими фрезами, а также на собственные теоретические разработки [5, 6], были установлены ключевые параметры, оказывающие влияние на энергоэффективность процесса измельчения пневой древесины. При этом учитывались различные конструктивные особенности резцов конической фрезы и режимы резания. Проведенные исследования позволили выявить диапазоны изменения рассматриваемых параметров:

- $b$  (от 0,003 до 0,004): размер лезвия режущего инструмента по ширине, измеряется в метрах;
- $s$  (от 0,002 до 0,006): значение подачи, выраженное в метрах;
- $v$  (от 1,5 до 2,0): скорость резания (линейная), указывается в метрах в секунду.

В ходе изучения воздействия различных переменных на энергозатраты при измельчении древесины пней, принимая во внимание изменяющиеся характеристики конических фрез и условия технологического процесса, были осуществлены лабораторные исследования. Базой для этих исследований послужил принцип многофакторного планирования эксперимента.

Для разработки математической модели, описывающей технологию переработки пней, был применен полный факторный эксперимент типа  $2^3$  [7, 8]. Лабораторные исследования осуществлялись при заданных значениях параметров режущего инструмента и режимах обработки пневой древесины. Для обеспечения оптимальной работы инструмента рекомендованы следующие параметры:

1. Острие режущей кромки должно быть сформировано под углом от 38 до 40 градусов. Задний угол резца должен варьироваться в пределах 7-10 градусов.
2. Ширина рабочей части инструмента должна составлять от 30 до 40 миллиметров. Угол, под которым происходит процесс резания, должен находиться в диапазоне 45-50 градусов.
3. Инструмент следует устанавливать под углом 45 градусов по отношению к обрабатываемой поверхности. Величина подачи материала должна быть в пределах 2-6 мм.
4. Скорость, с которой происходит резание, должна составлять от 1,5 до 2,0 метра в секунду.

Используя общепринятые методологические принципы, были разработаны сводные таблицы и подробный проект для осуществления всестороннего эксперимента [9, 10]. В процессе выполнения запланированных мероприятий по изучению влияния технологических параметров процесса пиления древесины инструментом с изменяемой шириной режущего элемента на величину силы резания  $R_x$ , были зафиксированы соответствующие значения этой силы.

С использованием регрессионного анализа разработаны уравнения, описывающие зависимость между параметрами технологической операции обработки древесины резцом с различной шириной лезвия и компонентой силы резания  $R_x$ . Для анализа полученных результатов применялись программные комплексы MS Excel и Statistica. Путем математической обработки экспериментальных данных установлено, что воздействие режимов резания древесины с использованием пневматического инструмента разной ширины на составляющую силы

резания  $R_x$  может быть представлено в виде следующих регрессионных уравнений:

$$R_x = 1129446,58 - 293807,29 V_2 + 61596,03 S_2 \quad (1)$$

$$(1,1 < V, \text{ м/с} < 2,3 ; 0 < S, \text{ мм} < 8)$$

$$R_x = 6,43 - 0,41 \ln V + 0,74 \ln S \quad (2)$$

$$(1,1 < V, \text{ м/с} < 2,3 ; 0 < S, \text{ мм} < 8)$$

Анализ параметров, полученных из уравнений 1 и 2, показывает сильную корреляцию между коэффициентами факторов, оказывающих влияние на величину силы резания  $R_x$  (коэффициент корреляции  $R$  превышает 0,97). Свыше 95 % изменений объясняются представленными уравнениями (коэффициент детерминации  $R^2$  более 0,95).

Изучение графиков, отображающих влияние различных факторов на эффективность измельчителя древесины, показывает: при постоянной скорости подачи увеличение скорости резания влечет за собой уменьшение компоненты силы резания  $R_x$ . Так, при ширине резца 30 мм сила снижается с 731,6 Н до 571,3 Н (уменьшение в 1,2 раза), а при большей ширине сила падает с 975,5 до 742,7 Н (сокращение в 1,3 раза).

При сохранении неизменной скорости обработки материала, усиление подачи инструмента влечет за собой значительное увеличение силы резания  $R_x$ : от 731,6 Н до 1762,4 Н (рост в 2,4 раза) при ширине режущей кромки в 30 мм и от 975,5 Н до 2114,9 Н (рост в 2,1 раза). Замедление скорости обработки в совокупности с увеличением подачи приводит к росту силы резания  $R_x$  с 731,6 Н до 1317,9 Н (увеличение в 1,8 раза). При идентичных параметрах технологического процесса увеличение ширины режущего инструмента вызывает повышение силы резания  $R_x$  с 731,6 Н до 975,5 Н (увеличение в 1,4 раза).

Анализ воздействия параметров обработки древесины на удельную силу резания  $R_x$  продемонстрировал, что ее величина может быть представлена регрессионной моделью следующего вида:

$$R_x = 6,43 - 0,41 \ln V + 0,74 \ln S \quad (3)$$

$$(1,1 < V, \text{ м/с} < 2,3 ; 0 < S, \text{ мм} < 8)$$

Данное уравнение описывают свыше 98% изменчивости результатов (коэффициент детерминации  $R^2 > 0,98$ ). На рисунке 1 представлена визуальная интерпретация влияния параметров технологического процесса обработки древесины на удельную силу резания  $R_x$ .

Изучение влияния различных режимов обработки древесины с применением режущего инструмента и варьируемой ширины его режущей части на величину осевой силы резания ( $R_x$ ) демонстрирует перспективность оптимизации конструкции конической фрезы с гидравлическим заполнением, предназначенной для измельчения пней.



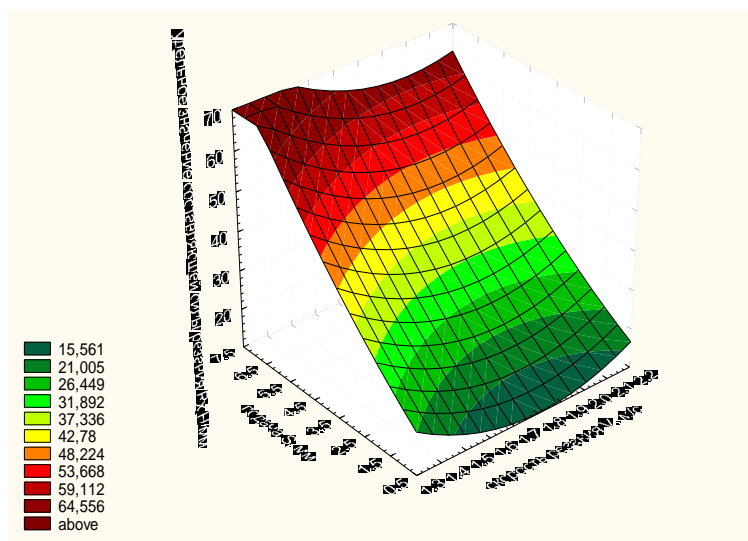


Рисунок 1- Зависимость влияния технологических режимов резания пневой древесины на удельную величину составляющей силы резания  $R_x$

Для снижения энергопотребления при резании рекомендуется при разработке конструкции применять резцы шириной 30 мм, с углом заточки от 38 до 40 градусов и задним углом в пределах 7-10 градусов. Наилучшее сочетание рабочих параметров должно отвечать следующим значениям: подача ( $s$ ) в интервале 0,0017-0,002 м и скорость резания ( $v$ ) от 1,75 до 2,0 м/с.

### Список литературы

1. Фокин С.В. О важности развития биоэнергетики в связи с необходимостью применения для производственных и коммунальных целей возобновляемых природных ресурсов / С.В.Фокин, О.А. Фомина //Мир Инноваций. 2019. № 4. С. 23-27.
2. Фокин С.В. К вопросу переработки древесных отходов на предприятиях АПК / С.В.Фокин, О.Н. Шпортько, К.С. Манышев // В сборнике статей II-ой международной научно-практической интернет-конференции. ФГБНУ «Прикаспийский НИИ аридного земледелия». 2017. С. 1822-1825.
3. Фокин С.В. Основные экологические и лесотехнические требования, предъявляемые к рубительным машинам фрезерного типа для измельчения древесины / С.В.Фокин, О.Н. Шпортько //Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-1 (13-1). С. 144-146.
4. Фокин С.В. Об основных видах энергетической древесины / С.В.Фокин, О.А. Фомина // В сборнике: Forest Engineering. материалы научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 273-276.
5. Фокин С.В. Экологосберегающие технологии при проведении современных агролесомелиоративных мероприятий / С.В. Фокин, О.Н. Шпортько, А.С. Бурлаков // Научная жизнь. 2017. № 7. С. 78-91.
6. Фокин С.В. Моделирование машины для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 258-265.
7. Фокин С.В. О проблемах измельчения порубочных остатков на лесосеке / С.В. Фокин, Е.В. Саввин // Лесотехнический журнал. 2011. № 2 (2). С. 30-31.

8. Фокин С.В. Об использовании древесных отходов при восстановлении защитных лесных полос / С.В.Фокин, О.Н. Шпортько, В.В. Цыплаков // Научная жизнь. 2015. № 6. С. 134-142.

9. Фетяев А.Н. Об имитационной модели процесса измельчения порубочных остатков / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 291-294.

10. Фокин С.В. Способы транспортирования щепы из рубительных машин / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Научная жизнь. 2018. № 2. С. 10-15.

### References

1. Fokin S.V. On the importance of the development of bioenergy in connection with the need to use renewable natural resources for production and municipal purposes / S.V. Fokin, O.A. Fomina // World of Innovations. 2019. № 4. pp. 23-27.

2. Fokin S.V. To the question of processing of wood waste at the enterprises of the agro-industrial complex / S.V. Fokin, O.N. Shportko, K.S. Manyshchev // In the collection articles of the II-th international scientific and practical Internet conference.- FGBNU «Priekspiski Research Institute of arid agriculture». 2017. pp. 1822-1825.

3. Fokin S.V. The main environmental and forestry requirements for chopping machines of the milling type for wood grinding / S.V. Fokin, O.N. Shportko // Actual directions of scientific research of the 21st century: theory and practice. 2015. Vol. 3. № 2-1 (13-1). pp. 144-146.

4. Fokin S.V. On the main types of energy wood / S.V. Fokin, O.A. Fomina // In the collection: Forest Engineering. Materials of the scientific and practical conference with international participation. 2018. pp. 273-276.

5. Fokin S.V. Environmental-saving technologies in carrying out modern agro-forestry measures / S.V. Fokin, O.N. Shportko, A.S. Burlakov // Scientific life. 2017. № 7. pp. 78-91.

6. Fokin S.V. Modeling of a machine for chopping felling residues / S.V. Fokin // Scientific review. 2011. № 5. pp. 258-265.

7. Fokin S.V. On the problems of grinding logging residues in the logging area / S.V. Fokin, E.V. Savvin // Lesotekhnicheskyy zhurnal. 2011. № 2 (2). pp. 30-31.

8. Fokin S.V. On the use of wood waste in the restoration of protective forest belts / S.V. Fokin, O.N. Shportko, V.V. Tsyplakov // Scientific life. 2015. № 6. pp. 134-142.

9. Fetyayev A.N. On the simulation model of the process of grinding logging residues / A.N. Fetyayev, S.V. Fokin // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2012. № 2. pp. 291-294.

10. Fokin S.V. Methods of transporting wood chips from chopping machines / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Scientific Life. 2018. № 2. pp. 10-15.

**СЕКЦИЯ 3**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, СИСТЕМ**  
**И СОСТОЯНИЙ**

DOI: 10.58168/MFCC2025\_145-149

УДК 614.8.067

**МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕМ**

**Анисимов Н.С.**

*Поволжский государственный технологический университет,  
Йошкар-Ола, Россия*

**MONITORING FOREST FIRES WITH VIDEO SURVEILLANCE**

**Anisimov N.S.**

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia*

*Аннотация.* В статье представлены данные ИСДМ-Рослесхоз о количествах лесных пожаров по федеральным округам Российской Федерации за последние 3 года. Рассмотрены способы предупреждения лесных пожаров. Внимание уделено способу предупреждения лесных пожаров путем видеонаблюдения. Представлены решения для установки видеоаппаратуры на стволе растущих деревьев.

*Abstract.* The article presents ISDM-Rosleskhoz data on the number of forest fires in federal districts of the Russian Federation over the past 3 years. Methods for preventing forest fires are considered. Attention is paid to the method of preventing forest fires by video surveillance. Solutions for installing video equipment on the trunk of growing trees are presented.

*Ключевые слова:* мониторинг, лесной пожар, видеонаблюдение, меры защиты от лесных пожаров, профилактика лесных пожаров.

*Keywords:* monitoring, forest fire, video surveillance, forest fire protection measures, forest fire prevention.

Пожар – это неуправляемый процесс горения. Пожарная обстановка на территории России (по данным ИСДМ-Рослесхоз) за 2022-2024 годы выражена в табл. 1 [1].

Экономическая безопасность РФ заключается в гарантии стабильного, непрерывного роста экономики страны в целом, её регионов и секторов экономики.

Лесной сектор не является исключением в силу масштабных изменений климата. Повышенная температура воздуха, рост продолжительности теплого периода все это усиливает риск роста лесных пожаров. За последние годы ключевой источником утратой площадей лесных массивов являются лесные пожары [2].

Таблица 1 – Сведения о лесопожарной обстановке на территории субъектов по федеральным округам РФ 2022 – 2024 годы

Субъект РФ	Количество лесных пожаров, шт		
	2022	2023	2024
СЗФО	1034	1021	863
ЦФО	949	2098	433
ЮФО	130	139	1034
СКФО	90	116	9
ПФО	318	646	637
УФО	1121	1449	772
СФО	5246	3213	1910
ДВФО	5184	3674	4556

Отслеживание, предупреждение, борьба с лесными пожарами была, есть и остается *актуальной задачей* настоящего и будущего времени.

**Целью работы** является разработка конструктивных решений по креплению аппаратуры видеонаблюдения на стволах растущих деревьев.

**Решение задачи.** Причиной многих лесных пожаров являются природные катаклизмы [3]. Защита угодий сельхозназначения, населенных пунктов граничащих с зоной стихийного бедствия охватывает мероприятия [4]:

- по профилактике;
- по уведомлению и эвакуации жителей населенных пунктов.

Можно ли предупредить и особенно предотвратить лесные пожары? Мониторинг леса – потенциальный путь к этому [5]. Это мониторинг со спутника, лесные вышки наблюдения, наземное и авиационное патрулирование (вертолетами, квадрокоптерами) [5]. Основа их – наблюдение (визуальное живое, видеонаблюдение и т.п.).

Видеонаблюдение – это структурная система, в которую входят видеокамеры, записывающие устройства (ЗУ) и программное обеспечение (ПО), фиксирующая любую активность в заданных зонах. Главное преимущество - просмотр в реальном времени. Но есть и проблема. Как закрепить камеры не повреждая стволы деревьев, причем на разной их высоте и при разных их диаметрах?

Для установки камер слежения на деревьях представлены технические подходы решений в виде инновационных устройств [6, 7].

Козырек 2 и площадка 3 образуют корпус 1 (рисунок 1). Видеооборудование закреплено на площадке 3. В задней части корпуса 1 шарнирно установлены консоли 6 и 7. Шарнир образован болтом 4 и гайкой 5 и позволяет корпусу 1 вращаться в горизонтальной плоскости.

Специфика работы. Первоначально в отверстие 8 консоли 6 пропускают канат 10, в верхней части, огибают ствол дерева 16, продевают в отверстие 9 консоли 7. Затем одним свободным канат 10 продевают в отверстие 9 консоли 7 в нижней части, огибают ствол дерева 16 и продевают через отверстие 11 зажима 12.

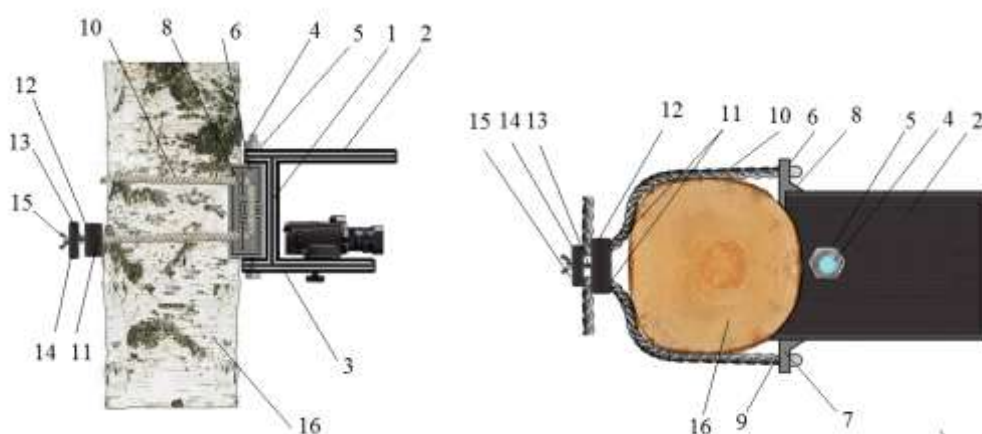


Рисунок 1 – Инновационное решение крепления видеоаппаратуры на стволе дерева (патент РФ № 2697171)

Аналогично поступают и с другим свободным концом каната 10, но в нижней части. В горизонтальной плоскости его концы разводят в противоположные стороны и прижимают к зажиму 12 планкой 14 путем вращения барашка 15 по резьбе шпильки 13. Корпус 1 закреплен на стволе дерева 16.

Инновационный девайс (рисунок 2) включает корпус 1, подвижно-сочлененный кронштейн 2, площадку 3 с возможностью поворота в горизонтальной плоскости, видеокамеру 5, шарнир 4 Гука, боковые кронштейны 6 с отверстиями 7, пружины 8 [7].

Специфика работы. Концы пружин 8 закрепляют в отверстиях 7 на кронштейнах 6. Затем ими огибают ствол дерева и закрепляют другим концом в отверстия кронштейнов с противоположной стороны. Корпус 1 закреплен на стволе дерева 9.

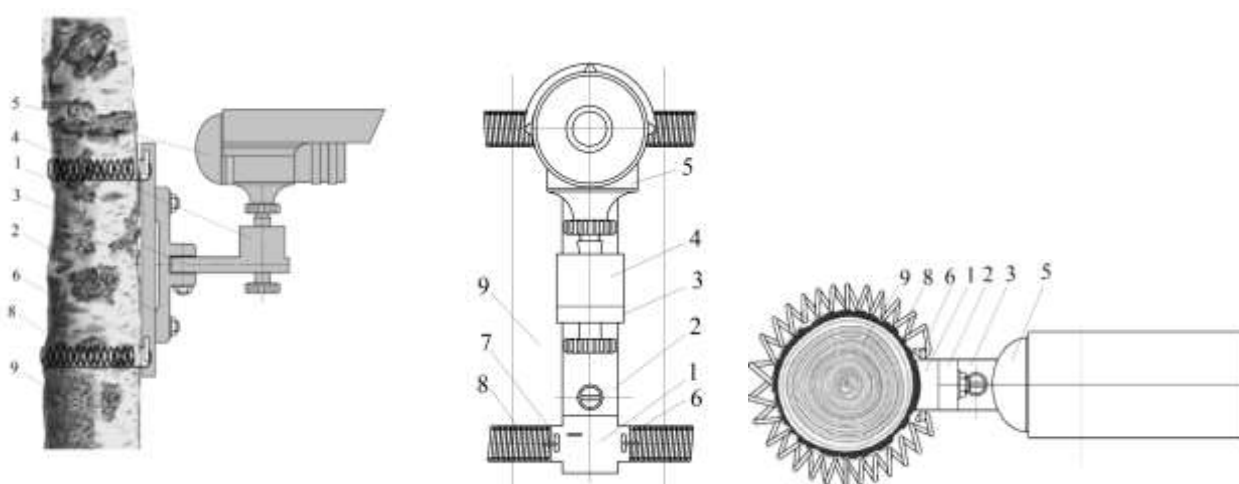


Рисунок 2 – Инновационное решение крепления видеоаппаратуры на стволе дерева (патент РФ №2725225)

**Выводы.** Превосходство разработанных технических инновационных разработок прослеживается в:

1. Разных монтажных диаметров деревьев и высот установки камер;
2. Простоте и компактности девайсов;

3. Легкости транспортировки и установки из-за незначительного веса габаритных параметров.

Кроме того использование видеоаппаратуры дает возможность оценки ущерба животному миру от лесных пожаров путем исследования трансформации среды их обитания.

В перспективе использование видеонаблюдения необходимо определится и с местами их установки в зависимости от поставленных целей. Например:

1. В заповедниках;
2. Вблизи населенных пунктов;
3. В местах вывозки древесины с лесосеки;
4. В местах «дикого» отдыха людей;
5. В санаториях;
6. Лечебницах и т.д.

### Список литературы

1. Анисимов Н.С. Способы и мероприятия при предупреждении и тушении лесных пожаров / Н.С. Анисимов, И.С. Анисимов, В.Е. Макаров [и др.] // Материалы XX международной молодежной научной конференции по естественно-научным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых». Йошкар-Ола. 2025. С. 346 - 348.

2. Константинов А.В. Лесные пожары как наиболее значимая угроза экономической безопасности лесного сектора / А.В. Константинов, В.В. Морковина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Том 4. №2 (22). С. 319-325.

3. Носоновских К.В. Способы обнаружения лесных пожаров / К.В. Носоновских, А.А. Побединский // Наука о земле. 2018. №3 (42). С. 6-12.

4. Шегельман И.Р. К постановке научных исследований в сфере предотвращения и тушения лесных пожаров / И.Р. Шегельман, М.В. Ивашнев, Г.В. Ключев // Научные исследования: от теории к практике. 2015. №5 (6). С. 283-284.

5. Денисов С.А. Опыт применения квадрокоптера для мониторинга возобновления леса / С.А. Денисов, А.А. Домрачев, А.С. Елсуков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2016. №4 (32). С.32-46.

6. Патент № 2697171 Российская Федерация, МПК F16M 13/02. Устройство для крепления видеоаппаратуры на стволе дерева. Российская Федерация. Авторы: Царев Е.М., Анисимов С.Е., Шарапов Е.С., Заболотский В.М., Анисимов Н.С., Анисимов И.С., Ожиганов В.Н., заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет, заявл. 10.12.2018 опублик. 12.07.2019. Бюл. № 23.

7. Патент №2725225 Российская Федерация, МПК F16M 13/02. Устройство для крепления видеоаппаратуры на стволе дерева. Российская Федерация. Авторы: Царев Е.М., Анисимов С.Е., Рукомойников К.П., Ожиганов В.Н., Попова М.А., заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет, заявл. 23.10.2019 опублик. 30.06.2020. Бюл. № 19.



## References

1. Anisimov N.S. Methods and measures for preventing and extinguishing forest fires / N.S. Anisimov, I.S. Anisimov, V.E. Makarov [et al] // Proceedings of the XX International Youth Scientific Conference on Natural Sciences and Engineering Disciplines «Scientific Progress – Creativity of the Young». Yoshkar-Ola. 2025. pp. 346-348.
2. Konstantinov A.V. Forest fires as the most significant threat to the economic security of the forestry sector / A.V. Konstantinov, V.V. Morkovina // Current areas of scientific research in the 21st century: theory and practice. 2016. Vol. 4. № 2 (22). pp. 319-325.
3. Nosonovskikh K.V. Methods for detecting forest fires / K.V. Nosonovskikh, A.A. Pobedinsky // Science of the Earth. 2018. № 3 (42). pp. 6-12.
4. Shegelman I.R. On the formulation of scientific research in the field of preventing and extinguishing forest fires / I.R. Shegelman, M.V. Ivashnev, G.V. Klyuev // Scientific research: from theory to practice. 2015. № 5 (6). pp. 283-284.
5. Denisov S.A. The experience of using a quadrocopter for monitoring forest regeneration / S.A. Denisov, A.A. Domrachev, A.S. Yelsukov // Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature management. 2016. № 4 (32). pp.32-46.
6. Patent № 2697171 Russian Federation, IPC F16M 13/02. Device for mounting video equipment on a tree trunk. Russian Federation. Authors: Tsarev E.M., Anisimov S.E., Sharapov E.S., Zabolotsky V.M., Anisimov N.S., Anisimov I.S., Ozhiganov V.N., applicant and patent holder Volga State University of Technology, decl. 12.10.2018 publ. 07.12.2019. Bull. № 23.
7. Patent № 2725225 Russian Federation, IPC F16M 13/02. Device for mounting video equipment on a tree trunk. Russian Federation. Authors: Tsarev E.M., Anisimov S.E., Rukomoynikov K.P., Ozhiganov V.N., Popova M.A., applicant and patent holder Volga State University of Technology, decl. 10.23.2019 publ. 06.30.2020. Bull. № 19.



## **СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАНИПУЛЯТОРНОЙ СИСТЕМЫ ЛЕСНОЙ МАШИНЫ С ОДНОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ**

**Анисимов И.С.**

*Поволжский государственный технологический университет,  
Йошкар-Ола, Россия*

## **STRUCTURAL STUDIES OF THE MANIPULATOR SYSTEM OF A SINGLE MOBILITY FORESTRY MACHINE**

**Anisimov I.S.**

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia*

*Аннотация.* В работе представлено одно из технических инновационных решений манипуляторной системы лесной машины. Действенность манипуляторной системы манипулятора основывается на результатах физического моделирования его структуры.

*Abstract.* The paper presents one of the technical innovative solutions of the manipulator system of a forest machine. The effectiveness of the manipulator system is based on the results of physical modeling of its structure.

*Ключевые слова:* манипуляторная система, подвижность манипулятора, структурные исследования, кинематические пары, многошарнирную ферму, блочно-модульное конструирование.

*Keywords:* manipulator system, manipulator mobility, structural studies, kinematic pairs, multi-hinged truss, block-modular design.

Лесная заготовительная машина проектируется на концепции компонентного конструирования.

Основное внимание уделяется двум основным компонентам:

1. мощностному (основа базовой машины);
2. технологическому (манипуляторной системе).

Технологический компонент лесной машины подразумевает манипуляторную структуру (базисную или проектируемую) и исполнительный механизм [1].

Конструирование манипуляторной системы включает несколько ступеней [2, 3]. Базисные из них [4]:

1. Поиск подобных инженерных решений;
2. Морфологическая и структурированная оценка этих решений с выявлением недостатков [5];
3. Решение путем предложения новой структуры манипуляторной системы
4. Теоретические изыскания (структурный, кинематико-динамический анализы на лабораторном образце) [3, 6];

5. Практические изыскания (заключительный этап путем создания экспериментального образца) [3].

**Цель работы** структурные исследования манипуляторной системы инновационного типа с плоско-ориентированным прямолинейным многорычажным актуатором (коромысло-тяги-кулиса) подвижных секций рукояти [7].

**Решение задачи.** Представлена манипуляторная система с плоско-ориентированным прямолинейным многорычажным актуатором подвижных секций телескопической рукояти.

Изготовлена масштабированная модель (М 1:10) с соблюдением критериев подобия, необходимых для равнозначных явлений по заданным производственным параметрам (рис. 1).

К этим производственным параметрам относятся: выдвижение исполнительного механизма, ширина обрабатываемой лесной полосы не менее 25м, тоннажность 8 кН, действующий грузовой момент на наибольшем вылете 144 кН·м.



а)



б)



в)



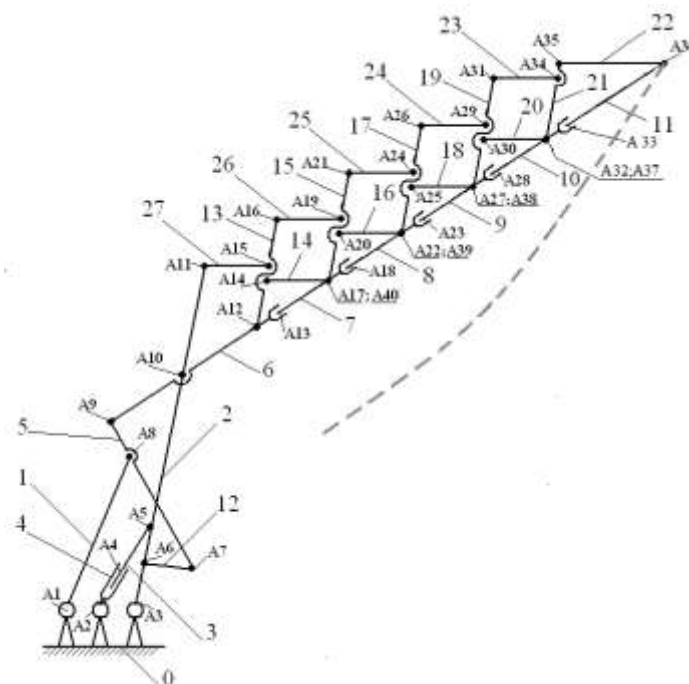
г)

а) на max вылете; б) на min вылете; в) на произвольном вылете;

г) многорычажный актуатор: коромысло-тяги-кулиса

Рисунок 1 – Инновационная предложенная манипуляторная система

Паттерн масштабированной модели манипуляторной системы отображен на рис. 2.



1 – кулиса; 2 – стрела; 3 – шток актуатора стрелы; 4 – корпус актуатора стрелы; 5 – коромысло; 6 – опорная секция телескопической рукояти; 7, 8, 9, 10, 11 – подвижные секции телескопической рукояти; 12 – тяга; 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 – рычаги прямолинейно-ориентированного актуатора подвижных секций телескопической рукояти; 27 – толкатель, A1, . . . , A40 – кинематические пары

Рисунок 2 – Структура манипуляторной системы

Для доставки РО в заданную точку выполняют следующие манипуляции:

1. Поворот платформы лесной машины
2. Установка стрелы 2 за счет гидравлического актуатора (позиции 3, 4).

Механический актуатор в виде системы рычагов 1-5-12 вращают опорную 6 секцию рукояти относительно оси A8 (рис. 2). Многошарнирная ферма (система рычагов 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26) раскладывается за счет толкателя 27 (рис. 2).

При втягивании штока актуатора 3 рукоять складывается и стрела занимает свое исходное, первоначальное положение.

Структурные исследования с необходимыми допущениями представлены в табл. 1 [5, 6].

Подвижность манипуляторной системы рассчитывается по формуле [3, 4, 6]:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4, \quad (1)$$

где  $n$  – численность подвижных звеньев механизма;

$P_4$  – численность кинематических пар 4-го класса;

$P_5$  – численность кинематических пар 5-го класса.

$$W = 3 \cdot 27 - 2 \cdot 40 - 0 = 81 - 80 = 1. \quad (2)$$

Таблица 1 – Кинематические пары механизма

$A_1(0;1)$ - ВППК;	$A_{14}(13;14)$ - ПППК;	$A_{27}(9;18)$ - ВППК;
$A_2(0;4)$ - ВППК;	$A_{15}(13;27)$ - ВППК;	$A_{28}(9;10)$ - ВППК;
$A_3(0;2)$ - ВППК;	$A_{16}(13;26)$ - ВППК;	$A_{29}(19;24)$ - ВППК;
$A_4(3;4)$ - ПППК;	$A_{17}(7;14)$ - ПППК;	$A_{30}(19;20)$ - ВППК;
$A_5(2;3)$ - ВППК;	$A_{18}(7;8)$ - ВППК;	$A_{31}(19;23)$ - ВППК;
$A_6(2;12)$ - ВППК;	$A_{19}(15;26)$ - ВППК;	$A_{32}(10;20)$ - ВППК;
$A_7(5;12)$ - ВППК;	$A_{20}(15;16)$ - ПППК;	$A_{33}(10;11)$ - ВППК;
$A_8(1;5)$ - ВППК;	$A_{21}(15;25)$ - ВППК;	$A_{34}(21;23)$ - ВППК;
$A_9(5;6)$ - ВППК;	$A_{22}(8;16)$ - ВППК;	$A_{35}(21;22)$ - ВППК;
$A_{10}(2;6)$ - ВППК;	$A_{23}(8;9)$ - ПППК;	$A_{36}(11;22)$ - ВППК;
$A_{11}(2;27)$ - ПППК;	$A_{24}(17;25)$ - ВППК;	$A_{37}(20;21)$ - ВППК;
$A_{12}(6;13)$ - ВППК;	$A_{25}(17;18)$ - ВППК;	$A_{38}(18;19)$ - ВППК;
$A_{13}(6;7)$ - ВППК;	$A_{26}(17;24)$ - ВППК;	$A_{39}(16;17)$ - ВППК;
		$A_{40}(14;15)$ - ВППК;

**Примечание.** ВППК - вращательная пара пятого класса, ПППК - поступательная пара пятого класса

**Выводы.** Манипуляторная система с плоско-ориентированным прямолинейным многорычажным актуатором подвижных секций рукояти действенна, т.е. работоспособна.

Подвижность манипулятора равно единице. Числу движителей для выноса исполнительного механизма в требуемую точку также равно единице. Что требовалось доказать.

Единственная подвижность манипуляторной системы выражается только в траектории исполнительного механизма по плоской кривой. Это ее недостаток. Преимущество – простота управления.

А для увеличения пространственности рабочей зоны манипуляторной системы необходима как вращательная подвижность самой платформы, так и поступательная подвижность, но уже лесной машины.

### Список литературы

1. Валяжонков В.Д. Общая компоновка лесосечных машин последних поколений / В.Д. Валяжонков, Е.А. Васякин, В.Н. Иващенко // Вестник КрасГАУ. 2012. № 3 (66). С. 160-164..
2. Ворков А.А. Направление модернизации технологического оборудования лесозаготовительных машин / Ворков А.А.// Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 32. С. 9-13.
3. Анисимов С.Е. Многозвенные манипуляторы: научное издание / С.Е. Анисимов, П.М. Мазуркин; М-во образования Рос. Федерации, Мар. гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 73 с.
4. Вульфсон И.И. Механика машин: учеб. пособие для ВТУЗов / И.И. Вульфсон, М.Л. Ерихов, М.З. Коловский, Г.А. Смирнов; под ред. Г.А. Смирнова. – М: Высшая школа, 1996. – 510 с.

5. Мазуркин П.М. Способ и манипуляторная машина для заготовки сортиментов с растущих деревьев / П.М. Мазуркин, С.Е. Анисимов // Вестник Центрально-Черноземного региона отделения науки о лесе. Академии естественных наук. Воронежская государственная лесотехническая академии. Выпуск. 2. 1999. С.131-134.

6. Воробьев Е.И. Механика промышленных роботов / Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г.И. Шевелева. Учебное пособие для ВТУЗов в 3 кн. Книга 1: Кинематика и динамика. М: Высшая школа. 1988. – 304 с.

7. Патент № 2242115 Российская Федерация. МПК В25J5/00, А01G 23/083, В66С 23/687. Манипулятор машины для обработки деревьев. / С.Е. Анисимов, П.М. Мазуркин, А.В. Михайлов. Заявитель и патентообладатель Марийский государственный технический университет, заявл. 28.02.2003, опубл. 20.12.2004. Бюл. № 35.

### References

1. Valyazhonkov V.D. General configuration of the last generation logging machines / V.D. Valyazhonkov, E.A. Vasyakin, V.N. Ivashchenko // Bulletin of KrasGAU. 2012. № 3 (66). pp. 160-164.

2. Vorkov A.A. Direction of modernization of technological equipment of logging machines / Vorkov A.A. // Current problems of the forestry complex. 2012. № 32. pp. 9-13.

3. Anisimov S.E. Multi-link manipulators: scientific publication / S.E. Anisimov, P.M. Mazurkin; Ministry of Education of the Russian Federation, MarSTU. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2003. – 73 p.

4. Vulfson I.I. Mechanics of machines: Textbook for higher technical educational institutions / I.I. Vulfson, M.L. Erikhov, M.Z. Kolovsky, G.A. Smirnov; edited by G.A. Smirnov. - M: Higher school, 1996. – 510 p.

5. Mazurkin P.M. Method and manipulator machine for harvesting assortments from growing trees / P.M. Mazurkin, S.E. Anisimov // Bulletin of the Central Black Earth Region, Department of Forest Science. Academy of Natural Sciences. Voronezh State Forest Engineering Academy. Issue. 2. 1999. pp.131-134.

6. Vorobyov E.I. Mechanics of industrial robots / E.I. Vorobyov, S.A. Popov, G.I. Sheveleva Textbook for Higher Technical Education Institutions in 3 Books. Book 1: Kinematics and Dynamics. Moscow: Higher School. 1988. – 304 p.

7. Patent No. 2242115 Russian Federation. IPC B25J5/00, A01G 23/083, B66C 23/687. Manipulator of a machine for processing trees. / S.E. Anisimov, P.M. Mazurkin, A.V. Mikhailov. Applicant and patent holder Mari State Technical University, decl. 02.28.2003, publ. 12.20.2004. Bull. № 35.

## **АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ**

**Белянский Е.А., Малюков С.В., Малюкова М.А.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

## **ANALYSIS OF FOREIGN TECHNOLOGIES USED IN ARTIFICIAL FOREST REHABILITATION**

**Belyansky E.A., Malyukov S.V., Malyukova M.A.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* В статье произведён анализ современных технологий, технических решений и конструкций машин, применяемых при искусственном лесовосстановлении в странах Северной и Западной Европы, на основе инженерных разработок и научных исследований, выполненных как отечественными, так и зарубежными специалистами в области лесного хозяйства. Особое внимание уделено системам механизации и автоматизации, а также инновационным цифровым и роботизированным платформам, внедряемым в рамках устойчивого управления лесными экосистемами.

*Abstract:* The article analyzes modern technologies, technical solutions, and machine designs used in artificial forest restoration in Northern and Western European countries. This analysis is based on engineering developments and scientific research conducted by both domestic and foreign specialists in the field of forestry. Special attention is given to mechanization and automation systems, as well as innovative digital and robotic platforms that are being implemented as part of sustainable forest ecosystem management.

*Ключевые слова:* посадочный материал с ЗКС, мобильные комплексы для посадки, автоматизированная высадка саженцев.

*Keywords:* planting material with root ball, mobile planting complexes, automated seedling planting.

### **Введение.**

Леса играют ключевую роль в поддержании глобального экологического равновесия, обеспечивая множество жизненно важных экосистемных услуг: регуляцию климата, сохранение биоразнообразия, предотвращение эрозии почв, водоудержание и очищение атмосферы от углерода. Однако в последние десятилетия человечество сталкивается с острейшими вызовами, связанными с интенсивной эксплуатацией лесных ресурсов, неконтролируемыми вырубками, пожарами, вредителями и, что особенно критично, последствиями глобальных

климатических изменений. Это влечёт за собой деградацию лесных экосистем и утрату их воспроизводственного потенциала. В такой ситуации вопросы восстановления лесов выходят на передний план как приоритетная задача устойчивого природопользования и стратегический элемент климатической и экологической политики большинства развитых государств.

Одним из эффективных инструментов реагирования на эти вызовы является искусственное лесовосстановление – управляемый процесс создания новых насаждений путём посадки или посева лесных культур. Именно искусственное лесовосстановление позволяет достичь максимальной продуктивности и выживаемости древостоев, оперативно возобновлять древесный покров на выведенных из оборота участках, регулировать породный состав, а также адаптировать леса к экстремальным природным и антропогенным условиям. В связи с этим многие страны Европы, обладающие высоким уровнем экологической ответственности, уделяют значительное внимание разработке и внедрению высокоэффективных технологических решений, направленных на совершенствование всех этапов лесовосстановительных мероприятий – от подготовки почвы и производства посадочного материала до механизированной посадки и цифрового мониторинга.

В последние годы в странах Западной и Северной Европы наблюдается активное применение автоматизированных и роботизированных систем для выполнения работ в лесной сфере. На смену традиционным трудоёмким и сезонным методам приходят интеллектуальные платформы, которые объединяют GPS-навигацию, ГИС, системы точного земледелия и машинного зрения. Особое значение придаётся интеграции дистанционного зондирования, дронов, спутниковых снимков и искусственного интеллекта, что позволяет оптимизировать пространственное планирование, оценку эффективности и выбор оптимальных участков для посадки. Кроме того, интенсивно развиваются технологии выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой, селекция и генетическое улучшение пород, а также теплично-лесопитомнические комплексы нового поколения, способные стабильно производить миллионы высококачественных саженцев ежегодно.

Несмотря на наличие определённого научного задела и практического опыта в России, многие из применяемых у нас методов и машин морально и технологически устарели, а реализация лесовосстановительных мероприятий часто осуществляется формально. Между тем международный опыт, особенно накопленный странами с развитым лесным хозяйством – такими как Финляндия, Германия, Швеция, Австрия, Норвегия, – может быть крайне полезным для адаптации и трансфера технологий в российских условиях. Особенно актуальным становится заимствование тех решений, которые способствуют повышению производительности труда, качеству посадки, устойчивости лесных культур и, в конечном итоге, – общей эффективности лесовосстановительных проектов [1].

#### **Материалы и методы.**

Использование посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) представляет собой современную и эффективную технологию лесовосстановле-



ния и лесоводства, широко применяемую в различных странах для повышения эффективности процесса посадки деревьев. Эта методика особенно актуальна для регионов с нестабильными климатическими условиями или деградировавшими почвами, где важна высокая приживаемость и адаптация растений.

Закрытая корневая система (ЗКС) – это технология выращивания саженцев, при которой корневая система растения развивается в контейнерах или специальных горшках. Эти контейнеры могут быть изготовлены из торфа, пластика или биоразлагаемых материалов, что позволяет защитить корни и избежать их повреждения при транспортировке и высадке. В отличие от традиционной технологии, при которой саженцы выкапываются с открытыми корнями, технология ЗКС значительно снижает риск повреждения корней и ускоряет приживаемость саженцев на новом месте.

Одним из главных преимуществ ЗКС является высокая приживаемость саженцев. Поскольку корневая система не повреждается при пересадке, это позволяет значительно снизить стресс для растения и повысить его способность прижиться на новом месте. Это особенно важно в условиях, когда саженцы пересаживаются на сложные, бедные или загрязнённые почвы. Растения с закрытой корневой системой гораздо более устойчивы к засухам, сильным морозам и другим экстремальным условиям. Такая система помогает растениям быстрее адаптироваться к новым условиям и снижает вероятность их гибели в первые годы после посадки.

Кроме того, использование ЗКС позволяет ускорить процесс посадки, так как саженцы готовы к высадке сразу после извлечения из контейнера, без необходимости долго адаптировать их к внешним условиям. Это особенно важно для крупных проектов по восстановлению лесов, где необходима высокая скорость выполнения работ. С помощью этой технологии можно значительно увеличить плотность посадок, так как саженцы с закрытой корневой системой требуют меньше времени для адаптации и быстрее начинают расти, что ускоряет процесс лесовосстановления.

Технология ЗКС также снижает затраты на подготовку почвы и уход за растениями. Саженцы с закрытой корневой системой легко приживаются и развиваются без необходимости долгосрочного ухода. Это также снижает затраты на полив, удобрения и защиту от болезней, что делает этот подход более экономически эффективным.

Финляндия является одним из лидеров в применении технологии ЗКС. В стране активно используют саженцы с закрытой корневой системой для лесовосстановления, особенно на территориях с бедными почвами или в условиях частых засух и морозов. Примером успешного применения ЗКС является посадка сосны и ели на труднодоступных и малопродуктивных территориях. В Финляндии 90% всего посадочного материала для лесовосстановления производится с использованием этой технологии. Этот подход является частью более широкой стратегии природоподобного лесовосстановления, ориентированной на минимизацию вмешательства в экосистему и восстановление природных процессов [2].

В Германии большое внимание уделяется цифровизации процессов лесоза-

готовки. Государственная лесохозяйственная компания Bavarian State Forests внедрила систему SmartForestry, которая объединяет данные от беспилотников, спутников и датчиков на машинах, позволяя планировать и контролировать заготовку древесины в режиме реального времени. Кроме того, компания HSM (Hohenloher Spezial-Maschinenbau) производит лесозаготовительную технику с интегрированными электронными системами мониторинга нагрузки, расхода топлива и производительности.

В Австрии автоматизация лесозаготовки также идёт активными темпами. Компания Ecoforst разрабатывает роботизированные машины, способные работать в сложных горных условиях. Одним из примеров является автономная система Woody 60, предназначенная для трелёвки древесины в труднодоступных местах. Она использует сенсоры и алгоритмы машинного обучения для оптимального перемещения брёвен с минимальным повреждением почвы.

Кроме специализированной техники, в Европе активно развиваются беспилотные технологии. Например, финская компания HiVision разработала систему управления лесозаготовкой с использованием дополненной реальности. Операторы форвардеров могут работать, не выходя из кабины, управляя машиной через виртуальный интерфейс, который предоставляет информацию о состоянии деревьев и оптимальном маршруте движения.

Автоматизация лесозаготовки в Европе развивается в нескольких направлениях: совершенствование харвестеров и форвардеров с автоматизированными системами управления, внедрение цифровых платформ и геоинформационных систем для оптимального планирования заготовки, использование беспилотных и роботизированных комплексов. Эти технологии позволяют не только повысить эффективность работы лесозаготовительных предприятий, но и минимизировать негативное воздействие на лесные экосистемы, обеспечивая их устойчивое развитие.

Подготовка почвы в Европе механизирована с использованием специальных машин – рыхлителей, мульчеров и культиваторов. Их задача – разрушить плотный почвенный горизонт, улучшить аэрацию, влагоёмкость и обеспечить оптимальные условия для укоренения саженцев.

Мобильные комплексы для посадки в труднодоступных местах становятся всё более важным элементом в современном лесовосстановлении, особенно в условиях, когда традиционные механизированные методы невозможны из-за рельефа, удалённости или экологических ограничений. Эти комплексы представляют собой специально разработанные машины или системы, которые могут перемещаться по сложной местности, выполняя автоматизированную или полуавтоматизированную высадку саженцев.

Концепция мобильных комплексов базируется на принципах автономности, высокой проходимости и адаптивности к различным типам почв и ландшафтов. Они могут быть как на гусеничном, так и на колёсном ходу, оснащаться различными посадочными модулями, которые позволяют выполнять точную установку саженцев с закрытой корневой системой (ЗКС) или открытой корневой системой (ОКС). В некоторых случаях такие комплексы могут включать системы для одновременной подготовки почвы (рыхление, формирование лу-

нок) и высадки растений, что существенно ускоряет процесс и снижает затраты.

Одним из примеров эффективной мобильной системы можно назвать машину M-Planter финской компании Ponsse, предназначенную для работы в сложных условиях Северной Европы. Ponsse M-Planter монтируется на форвардер или харвестер и осуществляет последовательную механизированную посадку с минимальным вмешательством в почвенный покров. Машина способна высаживать до 3000 саженцев в смену, обеспечивая высокую производительность даже в пересечённой местности. Для подготовки лунок используется специальная фреза, встроенная в посадочный модуль, что позволяет работать без предварительной сплошной обработки почвы.

В Норвегии активно используется мобильный комплекс Bracke Planter P11.a, разработанный шведской компанией Bracke Forest. Этот агрегат так-же устанавливается на базовые машины типа экскаваторов или специализированных посадочных машин и предназначен для посадки в условиях скалистых или сильно каменистых почв, характерных для скандинавских стран. Устройство оснащено механизмом формирования мини-микрорельефа (гребней или лунок), что увеличивает выживаемость саженцев на бедных и плохо дренируемых почвах.

Кроме названных машин, стоит отметить решения, применяемые в Австрии, где мобильные комплексы разрабатываются для работы на крутых горных склонах в Альпах. Например, компания Koller Forsttechnik GmbH предлагает системы с канатно-транспортируемыми мобильными посадочными станциями. Эти станции перемещаются вдоль натянутых стальных тросов, доставляют саженцы в удалённые и труднодоступные зоны и позволяют выполнять точечную посадку вручную или полуавтоматически, минимизируя эрозию склонов и разрушение почвенного покрова.

В Германии в некоторых проектах используется концепция модульных мобильных комплексов на базе электрических гусеничных платформ (например, RoboPlant), которые могут работать в полностью автономном режиме. Эти роботы способны перемещаться по пересечённой местности, избегать препятствий и выполнять посадку с заданной плотностью благодаря интеграции GPS и систем компьютерного зрения.

Технологическая тенденция развития мобильных комплексов направлена также на повышение экологичности: всё больше машин оснащаются гибридными или электрическими двигателями, что позволяет сократить выбросы CO<sub>2</sub> в чувствительных природных территориях. Это особенно актуально для охраняемых природных зон и регионов с особыми требованиями к минимизации антропогенного воздействия.

Мобильные комплексы становятся незаменимыми в рамках проектов по восстановлению лесов после пожаров, ураганов или промышленной деградации, где требуется оперативное вмешательство в тяжёлых условиях. Они обеспечивают эффективную механизацию процессов на ранее труднодоступных территориях, сокращают сроки лесовосстановления и позволяют точнее контролировать параметры посадки, включая глубину установки, ориентацию саженца и плотность высадки [3].

Автоматизация процесса транспортировки древесины в странах Европы активно развивается благодаря внедрению интеллектуальных логистических систем, беспилотных технологий, цифровых платформ и роботизированных решений. Основная цель этих инноваций – повышение эффективности перевозок, снижение затрат, минимизация воздействия на окружающую среду и улучшение контроля за передвижением древесины от места заготовки до перерабатывающих предприятий. Европейские страны, такие как Финляндия, Швеция, Германия, Австрия и Норвегия, являются лидерами в применении современных технологий для оптимизации транспортировки лесоматериалов.

Автоматизация процесса транспортировки древесины в Финляндии активно развивается благодаря использованию цифровых логистических платформ, систем мониторинга лесовозов, автономных технологий и экологически чистого транспорта. Финляндия, являясь одной из ведущих лесопромышленных стран Европы, делает ставку на оптимизацию транспортных процессов, снижение затрат, сокращение вредных выбросов и минимизацию воздействия на дорожную инфраструктуру. Ведущие лесопромышленные компании и государственные организации внедряют инновационные решения, позволяющие автоматизировать ключевые этапы транспортировки древесины.

Один из ярких примеров – компания Metsä Group, которая использует Metsä Logistics, интеллектуальную систему управления логистикой. Эта система анализирует данные о заготовке древесины, доступности транспорта, состоянии дорог и погодных условиях, автоматически подбирая оптимальные маршруты для лесовозов. Все машины оснащены GPS-датчиками, что позволяет в реальном времени отслеживать их местоположение и уровень загрузки. Водители получают рекомендации через мобильные устройства, а диспетчеры могут оперативно перенаправлять транспорт при изменении условий на маршруте. Такой подход позволяет снизить холостые пробеги на 10-15% и повысить эффективность перевозок.

**Вывод.** Современные технологии лесовосстановления играют ключевую роль в решении глобальных экологических проблем, таких как деградация лесов, утрата биоразнообразия и изменение климата. Использование посадочного материала с закрытой корневой системой, механизация посадочных работ, инновационные методы подготовки почвы, генетическое улучшение древесных пород, внедрение информационных технологий и учёт климатических изменений позволяют повысить эффективность и устойчивость мероприятий по восстановлению лесов.

### Список литературы / References

1. Skogforsk. The Role of Robotics and Automation in Forestry – Research Highlights 2019-2023. – Uppsala, Sweden: The Forestry Research Institute of Sweden, 2023. – 92 p. <https://www.skogforsk.se>
2. Metsä Group. Sustainable forestry operations and digital transformation in Finland. – Technical Report, 2021. <https://www.metsagroup.com>
3. Ponsse Oyj. Planting and harvesting solutions for sustainable forest management. – Ponsse Technical Catalog, 2023. <https://www.ponsse.com>

**ВЛИЯНИЕ ТИПА ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ МАТРИЦЫ  
НА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОПТИМАЛЬНЫЕ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ФОРМОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ**

**Ганиева Э.Н., Ермоченков М.Г.**

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи,  
Россия*

**INFLUENCE OF POLYETHYLENE MATRIX TYPE ON THERMOMECHANICAL CHARACTERISTICS AND OPTIMAL MOLDING TEMPERATURES OF WOOD COMPOSITES**

**Ganieva E.N., Ermochenkov M.G.**

*Mytishchi branch of N.E. Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi,  
Russia*

*Аннотация:* В работе проведён анализ термической стабильности и механических свойств древесно-полимерных композитов на основе полиэтилена при различных температурах. Полученные данные свидетельствуют о необходимости учёта термомеханических параметров ДПК при разработке и совершенствовании технологий формовки изделий из этих материалов.

*Abstract:* The paper analyzes the thermal stability and mechanical properties of wood-polymer composites based on polyethylene at different temperatures. The obtained data indicate the need to take into account the thermomechanical parameters of WPC in the development and improvement of molding technologies for products made of these materials.

*Ключевые слова:* динамический термомеханический анализ (ДТМА), коэффициент температурного линейного расширения (КТЛР), древесно-полимерный композит (ДПК), полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП).

*Keywords:* dynamic thermomechanical analysis (DTMA), coefficient of linear thermal expansion (CTLE), wood-polymer composite (WPC), low-density polyethylene (LDPE), and high-density polyethylene (HDPE).

Древесно-полимерные композиты на основе полиэтилена низкой плотности и полиэтилена высокой плотности всё чаще применяются в строительстве, мебельной и автомобильной промышленности благодаря сочетанию прочности, устойчивости к атмосферным воздействиям и возможности вторичной переработки. Однако для успешного формования изделий необходимо точно определить допустимый температурный диапазон, обеспечивающий достаточную пластичность материала, при этом важно учитывать влияние свойств матрицы, обусловленных различной молекулярной массой полиэтилена [1,2].

Целью работы является определение оптимальных температурных условий формования древесно-полиэтиленовых композитов с использованием комплексного анализа их термомеханических характеристик методами ДТМА и КТЛР.

#### Методы и материалы.

Проведены исследования ДПК на основе полиэтиленовой матрицы разной плотности методом ДТМА для оценки вязкоупругих свойств при испытании на трехточечный изгиб образцов по ГОСТ 57916-2017 ч. 5 (ISO 6721-5:1996), а также определением КТЛР материалов в соответствии с требованиями ГОСТ 32618.1-2014 (ISO 11359-1:1999) и ГОСТ 32618.2-2014 (ISO 11359-2:1999) на термомеханическом анализаторе серии ТМА модификации ТМА Q400 производства компании TA Instruments. Материал первого вида на основе полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) содержит 45 % древесной муки и 15 % карбоната кальция. Второй вид материала состоит из 52 % древесной муки на основе полиэтилена высокой плотности (ПЭВП). Для измерения теплового расширения изготовили образцы (3шт.) размерами 6,0×6,0×6,0 мм на отрезном станке. Для испытания на изгиб по методу ДТМА аналогичным образом изготовили образцы (3шт.) размерами 2,5×0,5×15,0 мм. К образцу автоматически прикладывалась предварительная нагрузка заранее установленной величины. При исследовании теплового расширения измерительная нагрузка составляла 0,005 Н, а темп нагрева 1 °С/мин. Во время испытаний на изгиб была установлена постоянная составляющая нагрузка в 0,020 Н, а переменная нагрузка составила 0,015 Н. Нагрев производили со скоростью 1,5 °С/мин. После этого прибор измерил длину образца и сохранил полученное значение. В эксперименте получали кривые изменения размеров и вязкоупругих свойств материалов с ростом температуры. Управление прибором и обработка экспериментальных данных осуществляется с помощью программного обеспечения Universal Analysis. Результаты исследований методом КТЛР отображены на рис. 1, а показатели ДТМА на рис. 2.

На основе полученных данных предложен подход к определению максимально допустимого температурного диапазона поверхностного формования для материалов на основе ПЭНП и ПЭВП.

Поверхностное формование ДПК требует температурного воздействия, достаточного для размягчения поверхностного слоя без деструкции материала. Ниже температуры стеклования  $T_g$  молекулярная подвижность ограничена: высокий модуль упругости  $E'$  и низкий модуль потерь  $E''$  определяют коэффициент механических потерь  $\tan \delta < 0,1$ , что делает материал непригодным для формования из-за все еще высокой жесткости.

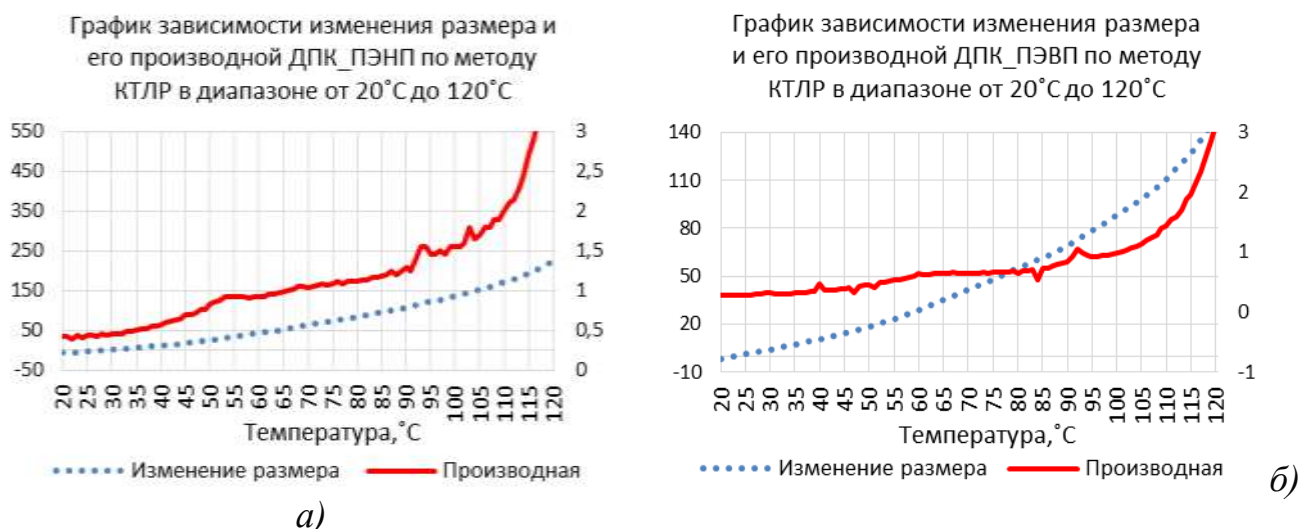


Рисунок 1 – Результаты по методу определения коэффициента термического линейного расширения в диапазоне температур от 20°C до 120°C для композита с полиэтиленом низкой плотности (а) и высокой плотности (б).

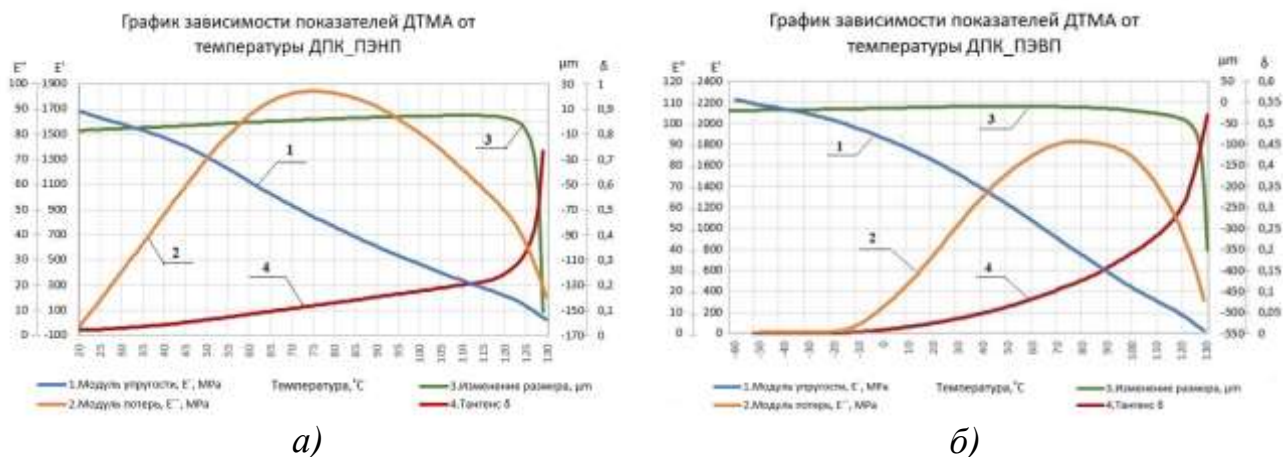


Рисунок 2 – Результаты по динамическому термомеханическому анализу для композита с полиэтиленом низкой плотности (а) и высокой плотности (б)

Превышение температуры стеклования и увеличение тангенса угла механических потерь выше порогового значения 0,1 является базовым условием для процесса формования, поскольку указывает на достижение материалом необходимого уровня пластичности и вязкоупругого состояния, обеспечивающим возможность необратимой деформации поверхностного слоя без нарушения структурной целостности. Термомеханический анализ установил критические температурные границы, релевантные для процессов формования:

а) для ДПК\_ПЭНП переход к положительному изменению размеров фиксируется при 63 °C, при 67°C значение  $\tan \delta > 0,1$  (ДТМА), превышение коэффициента температурного линейного расширения  $\alpha > 1,0 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  отмечается при 66 °C (КТЛР). При достижении 93 °C ( $\alpha = 1,55 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) возникает риск неконтролируемой деформации, однако технологическое окно может быть расширено до 110 °C при условии соблюдения ограничений, а именно сохранение  $\tan \delta \leq 0,2$ , что предотвращает доминирование вязкой составляющей над



упругой, и кратковременный нагрев (не более 20 с). Также допускается сверхкороткая выдержка до температуры плавления 126 °С без проявления термодеструкции, что подтверждается результатами термогравиметрического анализа композита [3], наблюдается значительное изменение размера КТЛР при переходе от 126°С к 127°С (с 327 мкм до 472 мкм), что может свидетельствовать о фазовом переходе;

б) для ДПК\_ПЭВП значение  $\tan \delta > 0,1$  фиксируется при 69 °С (ДТМА), превышение коэффициента линейного расширения  $\alpha > 1,0 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  наблюдается с 101 °С (КТЛР), достижение  $\alpha > 1,55 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  происходит при 111 °С, характеризуя риск неконтролируемой деформации. Превышение  $\tan \delta > 0,2$ , связанное с большей вязкой составляющей над упругой, фиксируется при 103 °С. При этом кратковременное воздействие до 130 °С технологически допустимо при соблюдении тех же условий [3]. т.к. после достижения 130°С при переходе к 132°С наблюдается значительное увеличение изменения размеров КТЛР (с 303 мкм до 561 мкм), что может свидетельствовать о фазовом переходе.

Такие режимы обеспечивают управляемое формование без потери структурной целостности материала. Обобщенные значения приведены в табл. 1:

Таблица 1 – Обобщенная таблица значений допустимых температур при поверхностях формовании древесно-полиэтиленовых композитов.

ДПК_ПЭНП	ДПК_ПЭВП	Показатель
67	69	Превышение $\tan \delta > 0.1$ (ДТМА), °С
66	101	Превышение коэффициента линейного расширения $\alpha > 1,0 \times 10^{-4}$ (КТЛР), °С
93	111	Граничное значение $\alpha > 1,55 \times 10^{-4}$ (риск неконтролируемой деформации), °С
110	103	Превышение $\tan \delta > 0.2$ (доминирование вязкой составляющей), °С
126	130	Допустимая максимальная температура кратковременного нагрева, °С (при отсутствии термодеструкции по ТГА)

Таким образом, ДПК\_ПЭВП обладает более высокой термостойкостью по сравнению с ДПК\_ПЭНП. Благодаря повышенной плотности и кристалличности, ДПК\_ПЭВП демонстрирует большую упругость и меньшую вязкую составляющую при нагреве ( $\alpha = 1,55 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), что подтверждается более высоким порогом  $\tan \delta$ . Переход к неконтролируемой деформации происходит при более высокой температуре (111 °С против 93 °С у ДПК\_ПЭНП). Это означает, что при повышенных температурах материал сохраняет структурную целостность дольше, прежде чем вязкие процессы начнут доминировать, что расширяет технологическое окно формования. Данные позволяют выбрать оптимальные режимы нагрева и охлаждения в широком диапазоне температур, повысить качество изделий за счёт минимизации внутренних напряжений.

Полученные результаты могут быть использованы в технологических процессах при разработке оснастки для формования, при выборе типа полимерной матрицы, позволяют определить допустимый температурный диапазон для термоформования и подтверждают, что **каждый полимерный композит обладает индивидуальными температурными и реологическими порогами, которые определяются составом.**

### Список литературы

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of wood-polymer composites (WPC): A review and research proposal on thermo-physical and geometric design options using hot-pressing / D. Friedrich // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Vol. 80, № 1. – pp. 7–21.
2. Блазнов А.Н. Анализ методов термомеханических испытаний композитных материалов и сравнение результатов / А.Н. Блазнов, Е.В. Атясова, В.В. Самойленко // Южно-Сибирский научный вестник. – 2017. – № 1(17). – С. 54-69.
3. Ганиева Э.Н. Кинетика термического разложения древесно-полимерных композитов / Э.Н. Ганиева, М.Г. Ермоченков, М.Ю. Кладов // Системы. Методы. Технологии. – 2025. – № 2(66). – С. 143-149. – DOI 10.18324/2077-5415-2025-2-143-149.

### References

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of wood-polymer composites (WPC): A review and research proposal on thermo-physical and geometric design options using hot-pressing / D. Friedrich // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Vol. 80, № 1. – pp. 7–21.
2. Blaznov A.N. Analysis of thermomechanical testing methods of composite materials and comparison of results / A.N. Blaznov, E.V. Atyasova, V.V. Samoylenko // South Siberian Scientific Bulletin. – 2017. – № 1(17). – pp. 54–69.
3. Ganieva E.N. Kinetics of thermal decomposition of wood-polymer composites / E.N. Ganieva, M.G. Ermochenkova, M. Kladov // Systems. Methods. Technologies. – 2025. – № 2(66). – pp. 143–149. – DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-143-149.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ  
ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МИЗЕСА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕМОНТНЫХ  
ПРОЦЕССОВ ГУСЕНИЧНЫХ ТРАКОВ ЛЕСОПОСАДОЧНОЙ  
ТЕХНИКИ**

**Гарькин И.Н., Войнаш С.А.**

*Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы,  
Москва, Россия*

**USING THE CRITERION OF SPECIFIC ENERGY OF MISES SHAPE  
CHANGE IN OPTIMIZING REPAIR PROCESSES OF TRACKS  
OF FORESTRY PLANT MACHINERY**

**Garkin I.N., Voinash S.A.**

*Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,  
Moscow, Russia*

*Аннотация:* В условиях интенсивной эксплуатации элементы гусеничных траков лесопосадочных машин испытывают значительные механические нагрузки, что приводит к накоплению пластических деформаций и усталостных повреждений. Для повышения надежности такой техники важно использовать научно обоснованные критерии оценки состояния наиболее нагруженных деталей. В статье обосновано применение критерия удельной энергии формоизменения по Мизесу для диагностики остаточного ресурса и оптимизации технологий восстановления траков. Моделирование напряженно-деформированного состояния показало, что этот подход позволяет точнее выявить опасные зоны и прогнозировать развитие повреждений. На основе результатов предложены рекомендации по совершенствованию технологических процессов ремонта и внедрению системы мониторинга состояния траков с использованием неразрушающих методов контроля. Интеграция современных критериев механики разрушения способствует продлению ресурса машин и снижению эксплуатационных затрат.

*Abstract:* Under intensive operation conditions, the elements of forest planting machine tracks experience significant mechanical loads, which leads to the accumulation of plastic deformations and fatigue damage. To improve the reliability of such equipment, it is important to use scientifically based criteria for assessing the condition of the most loaded parts. The article substantiates the use of the von Mises specific energy criterion for diagnosing the residual resource and optimizing track restoration technologies. Modeling the stress-strain state showed that this approach allows more accurately identifying hazardous areas and predicting the development of damage. Based on the results, recommendations are proposed for improving repair processes, as well as introducing a track condition monitoring system using non-

destructive testing methods. Integration of modern criteria of fracture mechanics helps to extend the service life of machines and reduce operating costs.

*Ключевые слова:* критерий Мизеса, удельная энергия формоизменения, гусеничные траки, оптимизация ремонта, лесопосадочная техника, диагностика износа.

*Keywords:* von Mises criterion, specific energy of deformation, track links, repair optimization, forest planting equipment, wear diagnostics.

Эксплуатация лесопосадочной техники, функционирующей в условиях интенсивных механических и климатических воздействий, характеризуется значительными нагрузками на узлы ходовой части, в особенности на гусеничные траки, которые являются одними из наиболее ответственных и подвергающихся изнашиванию элементов. Обеспечение надежности и долговечности этих компонентов требует своевременного проведения диагностических и восстановительных мероприятий, что позволяет не только продлить их эксплуатационный ресурс, но и существенно снизить риски аварийных отказов и вынужденных простоев специализированной техники. Традиционные подходы к оценке остаточного ресурса и степени поврежденности гусеничных траков зачастую основываются на эмпирических методах или визуальном контроле, что, в условиях сложного напряженно-деформированного состояния и разнообразия эксплуатационных факторов, не всегда обеспечивает достаточную точность и обоснованность планирования ремонтных работ. Это нередко приводит либо к преждевременной замене еще работоспособных деталей, либо к своевременному выявлению элементов, близких к предельному состоянию, что способствует возникновению нештатных ситуаций [1, 2].

В современных условиях все более широкое распространение находят энергетические критерии прочности, в частности критерий удельной энергии пластического формоизменения, также известный как критерий Мизеса. Этот критерий позволяет количественно оценивать достижение критического состояния материала при комплексных напряженных состояниях, что особенно актуально для деталей сложной пространственной геометрии, характерных для гусеничных траков. Применение энергетических критериев открывает возможности объективного мониторинга степени накопленного повреждения и остаточного ресурса, а также позволяет существенно повысить точность и информативность диагностики. С учётом указанных обстоятельств, актуальной научно-практической задачей становится интеграция энергетических критериев оценки прочности, в первую очередь критерия Мизеса, в современные системы технической диагностики и в технологические процессы регламентного и восстановительного ремонта гусеничных траков. Решение данной задачи должно предусматривать разработку алгоритмов и методик неразрушающего контроля, совершенствование программно-аппаратных средств диагностики, а также оптимизацию восстановительных технологий с учётом реального состояния материала и эксплуатационных нагрузок, что в свою очередь позволит повысить эффективность эксплуатации лесопосадочной техники и снизить затраты на её содержание.

Одним из наиболее эффективных методов анализа прочностного состояния элементов машин, работающих в условиях сложного нагружения, является энергетический критерий пластичности Мизеса (критерий максимальной удельной энергии формоизменения) [3, 4]. Его применение позволяет объективно оценивать момент начала пластической деформации в металлах с изотропными свойствами. Суть критерия заключается в том, что пластическая деформация в материале начинается при достижении определённого, строго определённого значения удельной энергии формоизменения, равного критическому уровню, характерному для данного материала.

Математическая формулировка критерия Мизеса записывается следующим образом:

$$\epsilon_v = \frac{1}{2G} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3] \quad (1)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные напряжения,  $G$  – модуль сдвига.

Условие возникновения пластической деформации, согласно критерию Мизеса, принимает вид:

$$\epsilon_v \geq \epsilon_{v,кр} \quad (2)$$

или, что эквивалентно,

$$\epsilon_{э\kappa\epsilon} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \geq \sigma_0 \quad (3)$$

где  $\sigma_0$  – условный предел текучести материала при одноосном растяжении.

В тензорной форме эквивалентное напряжение Мизеса удобно записывать как:

$$\sigma_{э\kappa\epsilon} = \frac{\sqrt{3}}{2} s, \quad (4)$$

где  $s$  – тензор девиаторов напряжений.

Для частных случаев нагружения приведённые выражения упрощаются:

– при одноосном растяжении  $\sigma_1 = \sigma, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$

$$\sigma_{э\kappa\epsilon} = |\sigma| \quad (5)$$

– при чистом сдвиге  $\sigma_1 = \tau, \sigma_2 = -\tau, \sigma_3 = 0$

$$\sigma_{э\kappa\epsilon} = \sqrt{3}|\tau| \quad (6)$$

Критерий Мизеса, основанный на принципе удельной энергии формоизменения, обеспечивает необходимую универсальность для анализа состояния материала гусеничных траков лесопосадочной техники, работающих под воздействием переменных контактных, изгибающих, сжимающих нагрузок, а также в условиях абразивного и ударного износа [5].

Его применение в контексте оптимизации ремонтных процессов позволяет:

- более корректно оценивать остаточный ресурс элементов траков после эксплуатационного износа,
- прогнозировать целесообразность восстановительного ремонта по критериям прочности и пластичности,
- оптимизировать режимы термической или механической обработки восстановленных деталей для обеспечения требуемых прочностных и эксплуатационных характеристик.

Рассматриваемый критерий тесно связан с энергетическим подходом к анализу прочности: пластическая деформация начинается тогда, когда локальная удельная энергия формоизменения достигает значения, равного удельной энергии пластической деформации при одноосном растяжении до предела текучести:

$$W_{f,кр} = \frac{\sigma_0^2}{6G} \quad (7)$$

Таким образом, применение критерия Мизеса в задачах диагностики и оптимизации ремонтных процессов деталей гусеничных траков позволяет с высокой степенью достоверности определять момент наступления пластического состояния, что обеспечивает научно обоснованный подход к выбору рациональных технологий восстановления и продлению срока службы лесопосадочной техники [6].

Исследование выполнено с использованием методов конечных элементов (МКЭ) для численного моделирования напряженно-деформированного состояния траковых элементов и детального выявления зон концентрации пластических деформаций, локализованных в области наибольших эксплуатационных нагрузок. В качестве эмпирической основы были задействованы результаты комплексного обследования гусеничных лент лесопосадочных машин отечественного и зарубежного производства, эксплуатируемых в различных климатических и эксплуатационных условиях, что позволило обеспечить репрезентативность выборки и достоверность моделирования.

Оптимизация технологии ремонта траковых деталей осуществлялась в рамках следующей интегрированной последовательности:

1. Проведение высокоточного сканирования изношенной детали с последующей реконструкцией её пространственной САД-модели, что обеспечивало адекватную геометрическую базу для дальнейшего численного анализа.

2. Реализация имитационного моделирования эксплуатационных нагрузок на основе эмпирических данных о действующих силах, моментах и цикличе-

ских воздействиях, что позволило воспроизвести реальные условия функционирования трака.

3. Оценка распределения плотности удельной энергии деформации по критерию Мизеса-Губера, дающая возможность локализовать потенциально опасные участки и выявить наиболее уязвимые структуры детали.

4. Идентификация областей с предельным накоплением пластической деформации посредством анализа полученных карт распределения механических характеристик, что служило основанием для выбора приоритетных зон ремонтного вмешательства.

5. Разработка комплекса оптимальных ремонтно-восстановительных операций, включающих нанесение наплавочных слоёв специализированными сплавами, проведение механической обработки для восстановления номинальной геометрии и применение технологий локального упрочнения с целью повышения ресурса узлов.

6. Экспериментальная верификация эффективности предложенных решений в процессе ресурсоиспытаний восстановленных деталей, с анализом показателей долговечности, износостойкости и остаточных деформационных свойств.

Комплексный подход, основанный на сочетании математического моделирования и экспериментальных исследований [7], позволил существенно повысить обоснованность разрабатываемых ремонтных технологий и обеспечить достижение требуемых эксплуатационных характеристик восстановленных деталей траковых систем.

Результаты проведенного моделирования свидетельствуют о том, что основные зоны интенсивного износа и разрушения гусеничных траков локализуются преимущественно в областях сопряжения трака с пальцами и осями, а также на наружной кромке гусеничных пластин. В указанных зонах значения удельной энергии формоизменения достигают 80...95% от критического уровня для сталей марок 35Г и 30ХГСА, традиционно применяемых при изготовлении траковых элементов. Подобное превышение энергозатрат на пластическую деформацию свидетельствует о вероятности инициирования и интенсивного развития повреждений вследствие усталостных и изнашивающих процессов при эксплуатации.

Комплексный анализ динамики накопления энергии пластической деформации при различных эксплуатационных режимах позволил обоснованно рекомендовать проведение целенаправленных мероприятий по локальному упрочнению (например, наплавку износостойких сплавов или высокочастотную закалку) именно в тех участках, где отмечаются максимальные значения критерия Мизеса. Реализация такой селективной стратегии противоизносной обработки обеспечивает существенное увеличение межремонтного ресурса траков – до 25...30%, а также способствует более рациональному расходованию ремонтных и эксплуатационных ресурсов предприятия [8].

Внедрение критериального подхода и регулярного мониторинга состояния узлов соединения траков на основании энергетических критериев (например, удельной энергии формоизменения) позволило снизить долю преждевременно-



го выбраковывания и замены ещё работоспособных деталей на 15...18%, а также существенно уменьшить непроизводственное время простоя специализированной техники, в частности, лесопосадочных машин. Такой подход не только способствует оптимизации ремонтных процессов, но и обеспечивает повышение эффективности эксплуатации парка машин, снижая совокупные эксплуатационные затраты и повышая техническую готовность оборудования.

Применение критерия удельной энергии формоизменения по Мизесу в анализе напряженно-деформированного состояния элементов гусеничных траков обеспечивает более строгую и объективную идентификацию зон локализации максимальных напряжений и потенциальных очагов развития повреждений усталостного и пластического характера. Такой подход способствует рационализации выбора технологий ремонта и методов упрочнения деталей, в том числе при проектировании режимов наплавки, поверхностной закалки и термомеханической обработки, что, в свою очередь, позволяет существенно сократить эксплуатационные расходы на восстановление работоспособности гусеничных движителей, одновременно способствуя повышению их ресурса и надежности в условиях интенсивной механической и абразивной нагрузки.

Дальнейшее развитие данной методологии предполагает интеграцию современных средств автоматизированного неразрушающего контроля, включая системы цифрового мониторинга и адаптивной диагностики технического состояния узлов машин в реальном времени. Особое значение приобретает формирование расширенной базы валидированных экспериментальных данных, позволяющей повысить достоверность и точность численного моделирования сложных напряженно-деформированных состояний с учётом реальных эксплуатационных нагрузок и микроструктурных преобразований материала. Комбинирование результатов компьютерного моделирования по методу конечных элементов с данными экспериментальных измерений открывает возможности для создания интеллектуальных систем управления техническим состоянием гусеничных траков, что станет основой для разработки новых, более эффективных технологий их технического обслуживания и ремонта, а также для совершенствования конструктивных решений с учетом анализа предельных состояний по критерию Мизеса на всех этапах жизненного цикла изделия.

На основании проведенного исследования по использованию критерия удельной энергии формоизменения Мизеса при оптимизации ремонтных процессов гусеничных траков лесопосадочной техники можно сделать следующие выводы:

Применение критерия Мизеса позволяет наиболее точно выявить участки трака, подверженные наибольшим пластическим деформациям и повреждениям в процессе эксплуатации. Это дает возможность обоснованно назначать места и методы восстановления для повышения надежности и долговечности узлов. Оптимизация ремонтных процессов на основе анализа удельной энергии формоизменения приводит к снижению трудозатрат и материальных расходов за счет своевременного диагностирования и локализации износа. Такой подход обеспечивает увеличение межремонтного ресурса гусеничных траков, уменьшение простоев техники и повышение эффективности работы лесопосадочных

комплексов. В целом использование критерия Мизеса в диагностике и ремонте подтверждает свою практическую значимость и целесообразность при эксплуатации гусеничной техники.

### **Список литературы**

1. Патент на полезную модель РФ № 232999. Лесопосадочная машина / С.В. Малюков, С.А. Войнаш, С.Е. Арико [и др.] Заявка № 2024113636 от 20.05.2024. Оpubл. 01.04.2025. Бюл. № 10.
2. Свойкин Ф.В. Совершенствование потока подачи лесоматериалов путем модернизации электрокозлового двухконсольного крана / Ф.В. Свойкин, В.Ф. Свойкин, С.А. Угрюмов [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 10. С. 13-17.
3. Абдуллазянов Э.Ю. Ресурсно-оптимизационный подход при ремонтных работах на объектах энергетического строительства башенного типа / Э.Ю. Абдуллазянов, Л.С. Сабитов, И.Н. Гарькин [и др.] // Строительное производство. 2025. № 2. С. 105-111.
4. Захаренко Ю.А. Оценка напряженно-деформированного состояния 3D-модели стрелчатой лапы с использованием компьютерного моделирования / Ю.А. Захаренко, А.П. Морозова, Д.О. Чуваева [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 1. С. 141-149.
5. Евсеев А.Е. Использование дифференциальных уравнений движения тела при определении параметров виброзащиты / А.Е. Евсеев, И.Н. Гарькин, Э.Ю. Абдуллазянов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2024. № 4 (50). С. 127-131.
6. Захаров В.А. Статистический анализ и методы оптимизации для планирования эксперимента в исследованиях трелевочных тракторов / В.А. Захаров // Математические модели техники, технологий и экономики. Материалы Всероссийской научно-практической студенческой конференции. 2019. С. 46-49.
7. Коваленко Т.В. К вопросу о методике учета влияния климатических факторов на скорость движения лесовозных автопоездов / Т.В. Коваленко, М.В. Тарабан, Н.А. Вохмянин // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 80-83.
8. Беляевский И.М. Современные подходы к организации охраны лесов от пожаров / И.М. Беляевский // Бизнес, общество и молодежь: идеи преобразований. Материалы V Всероссийской студенческой научной конференции (г. Саратов, 16 ноября 2016 г.): в 2 ч. – Часть 2. Редакционная коллегия: Кузнецова И.В. (отв. редактор); Жулина Е.Г.; Холоднова А.В.; Мухина И.В., 2016. С. 70-72.

### **References**

1. Patent for utility model of the Russian Federation No. 232999. Forest planting machine / S.V. Malyukov, S.A. Voynash, S.E. Ariko [et al.] Application No. 2024113636 dated 05/20/2024. Published 04/01/2025. Bulletin № 10.
2. Svoykin F.V. Improving the flow of timber supply by modernizing an electric double-cantilever gantry crane / F.V. Svoykin, V.F. Svoykin, S.A. Ugryumov [et al.] // Repair. Restoration. Modernization. 2022. № 10. pp. 13-17.

3. Abdullazyanov E.Yu. Resource-optimization approach to repair work at tower-type power engineering facilities / E.Yu. Abdullazyanov, L.S. Sabitov, I.N. Garkin [et al.] // Construction production. 2025. № 2. pp. 105-111.
4. Zakharchenko Yu.A. Assessment of the stress-strain state of a 3D model of a pointed paw using computer modeling / Yu.A. Zakharchenko, A.P. Morozova, D.O. Chuvaeva [et al.] // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. 2024. № 1. pp. 141-149.
5. Evseev A.E. Using differential equations of body motion in determining vibration protection parameters / A.E. Evseev, I.N. Garkin, E.Yu. Abdullazyanov // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. 2024. № 4 (50). pp. 127-131.
6. Zakharov V.A. Statistical analysis and optimization methods for planning an experiment in research of skidders / V.A. Zakharov // Mathematical models of engineering, technology and economics. Proceedings of the All-Russian scientific and practical student conference. 2019. pp. 46-49.
7. Kovalenko T.V. On the issue of the methodology for taking into account the influence of climatic factors on the speed of timber road trains / T.V. Kovalenko, M.V. Taraban, N.A. Vokhmyanin // Scientific Review. 2013. № 1. pp. 80-83.
8. Belyaevsky I.M. Modern approaches to the organization of forest fire protection / I.M. Belyaevsky // Business, society and youth: ideas for transformation. Proceedings of the V All-Russian student scientific conference (Saratov, November 16, 2016): in 2 parts. - Part 2. Editorial board: Kuznetsova I.V. (editor-in-chief); Zhulina E.G.; Kholodnova A.V.; Mukhina I.V., 2016. pp. 70-72.

## **КОВШ СКРЕПЕРА С НОЖЕВОЙ СИСТЕМОЙ АКТИВНОГО ТИПА**

**Гудков В.В., Сокол П.А.**

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия*

## **SCREPER BUCKET WITH ACTIVE TYPE KNIFE SYSTEM**

**Gudkov V.V., Sokol P.A.**

*Military Education and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky  
and Y.A Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* В статье представлена новая конструкция и система управления ножевой системой скрепера с изменением глубины резания, позволяющая минимизировать силы резания грунта при выполнении технологических операций. Полученные новые конструктивные технические решения смогут обеспечить скреперам активного типа заполнение ковша без применения вспомогательных машин-толкачей.

*Abstract:* The article presents a new design and control system for the scraper's knife system with variable cutting depth, which minimizes the cutting forces during technological operations. These new design solutions enable active-type scrapers to fill their buckets without the need for auxiliary pushing machines.

*Ключевые слова:* скрепер, ковш, грунт, ножевая система, сцепной вес.

*Keywords:* scraper, bucket, soil, knife system, tractive weight.

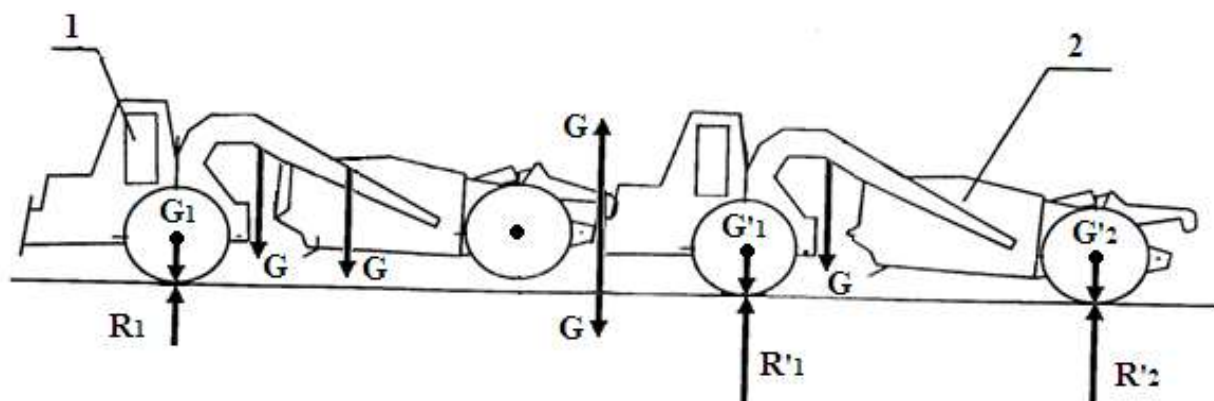
Суровые и специфические природно-климатические условия, особенно, северных широт, наличие мерзлой опорной поверхности (ОП) определяют приоритетное оснащение подразделений, осуществляющих подготовительные стадии при заготовке древесины, касающихся послойного копания, транспортирования и отсыпки грунтов при строительстве дорог современными и высокопроизводительными скреперами активного типа. В то же время, при работах по увеличению производительности и эффективности применения скреперов возникает ряд проблем, им препятствующих: наличия значительных сопротивлений грунта резанию, адгезионных процессов налипания грунта на поверхность ковша, неравномерного заполнения ковша скрепера из-за больших сопротивлений перемещению грунта. При этом, скрепер в большинстве случаев, не может выполнять самостоятельно операции технологического цикла без дополнительной вспомогательной машины-толкача (рис. 1).

Также, на плотных грунтах скрепер самостоятельно выполнять операции технологического цикла не может, поэтому, перед резанием грунта необходимо предварительно его разрыхлить специальной техникой.



Рисунок 1 – Выполнение скрепером забора грунта с помощью вспомогательной машины-толкача

Одним из вариантов решения проблемы недостаточной силы тяги скрепера является вариант использования скреперного поезда из двух соединенных между собой машин (рис. 2). Основным недостатком данного способа является необходимость оборудования машин металлоемким сцепным устройством сложной конструкции.

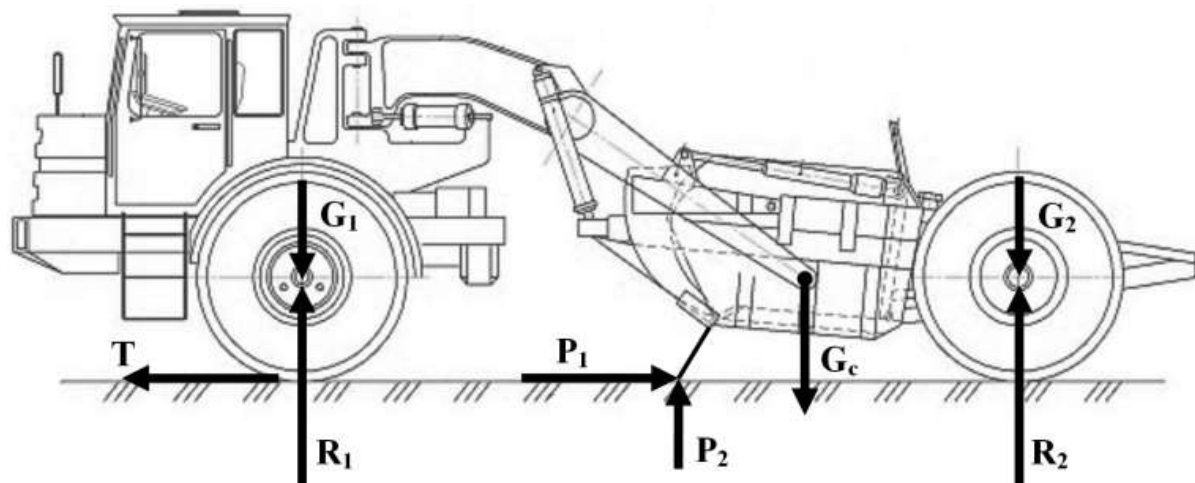


1 – передний скрепер; 2 – задний скрепер;  $R'_1$  – нагрузка от ведущего моста;  $R'_2$  – нагрузка от ведомого моста переднего скрепера;  $R_1$  – нагрузка от ведущего моста заднего скрепера;  $R_2$  – нагрузка от ведомого моста заднего скрепера;  $\Delta R$  – величина догрузки в сцепном устройстве;  $G_c$  – сцепной вес  
Рисунок 2 – Вертикальные силы, действующие на скреперный поезд

Сопротивление мерзлых грунтов сжатию, разрыву и сдвигу в зависимости от влажности и температуры различно: у песка непрерывно повышается прочность с увеличением влажности и понижением температуры; у супеси, суглинка и глины увеличение влажности приведет вначале к возрастанию, а затем к уменьшению сопротивления сжатию и разрыву, которые достигают максимума при влажности, близкой к полной влагоемкости [1].

При выполнении скрепером технологических операций резание грунта происходит при большой ширине захвата и относительно небольшой глубины резания. Для этого режущая кромка ножа устанавливается под углом к горизонтальной линии, за счет чего появляется вертикальная сила, стремящаяся заглубить ковш. При этом скрепер зарезается и силы тяги недостаточно для продолжения резания грунта. Для предотвращения заглубления передняя заслонка ковша опирается на грунт и скользит по нему, создавая дополнительное сопро-

тивление движению скрепера. На преодоление этого сопротивления может расходоваться до 30...35 % силы тяги скрепера, что требует применения второго двигателя, дополнительных вспомогательных машин-толкачей или скреперного поезда. Схема основных внешних сил и реакций, действующих на скрепер при резании грунта и заполнении его ковша показана на рис. 3.



$G_1R_1$  – вертикальная нагрузка и реакция на передней ведущей оси скрепера;  
 $G_2R_2$  – вертикальная нагрузка и реакция на задней оси скрепера;  $G_c$  – вес груза в ковше скрепера;  $P_1$  – сила сопротивления грунта резанию;

$P_2$  – вертикальная реакция от заглабления ковша

Рисунок 3 – Схема сил, действующих на ковш скрепера при копании

Сопротивление грунта разрушению за счет сдвига складывается из двух составляющих: не зависящих от вертикального давления по площадке скольжения (сцеплением при сдвиге) и зависящих от вертикального давления (внутреннего трения) [2]. Облегчение сдвига грунта благодаря его зональным дефектам, которые могут возникнуть из-за работы вибрационного ножа ковша скрепера, способствуют более легкому перемещению части грунта, чем при сдвиге всей поверхности на такую же величину.

Под действием механической нагрузки грунт разрушается в результате деформации, превосходящих предельные значения. Считается, что эти деформации происходят по плоскостям скольжения (плоскостям, по которым происходит сдвиг одних частиц относительно других).

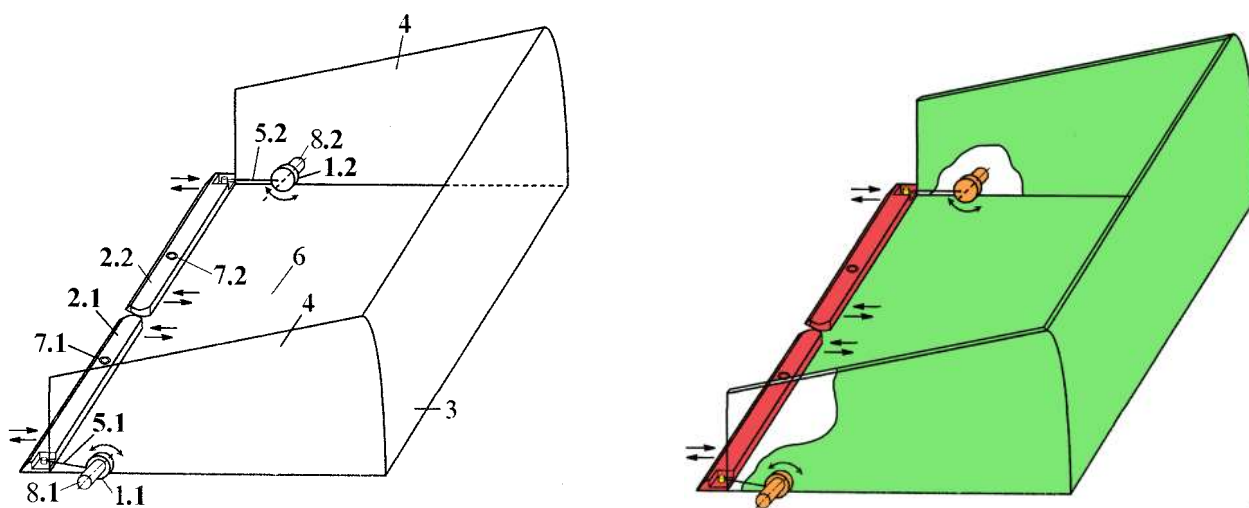
При разрушении грунта частицы сопротивляются относительному сдвигу. Это сопротивление характеризуется величиной сцепления. Сопротивление сдвигу по плоскости скольжения увеличивается в результате внутреннего трения частиц, возникающего под действием нормальных напряжений.

Таким образом, чтобы нарушить монолитность сложного грунта, необходимо, чтобы суммарное касательное напряжение от тангенциальных и нормальных внешних сил в плоскости скольжения ковша было равно наибольшему касательному напряжению.

Также, у существующих колесных землеройно-транспортных машин, к которым относятся скреперы, время воздействия технологического оборудования

на грунт при резании грунта непродолжительно, поэтому, прочность грунта (сопротивление сжатию, разрыву и сдвигу) должна определяться при таком времени воздействия. Поэтому, важным фактором при определении прочностных характеристик грунта является скорость деформации, с увеличением которой изменяются сцепление, угол внутреннего трения и возрастает хрупкость грунта [1].

В целях устранения указанных выше недостатков существующих колесных скреперов, авторами настоящей статьи была предложена усовершенствованная конструкция ковша скрепера с активными виброножами, представленная на рис. 4 [3].



1.1, 1.2 – эксцентрик привода первой и второй частей ножа; 2.1, 2.2 – первая и вторая часть ножа; 3 – задняя стенка ковша; 4 – боковая стенка ковша; 5.1, 5.2 – тяга привода первой и второй частей ножа; 6 – днище ковша; 7.1, 7.2 – ось первой и второй частей ножа; 8.1, 8.2 – гидромотор привода первой и второй частей ножа

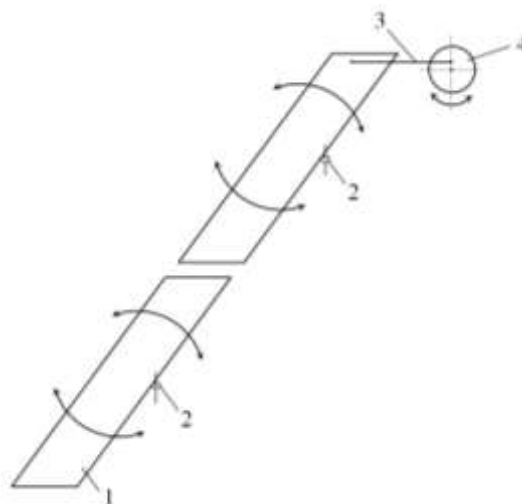
Рисунок 4 – Расположение активных виброножей на ковше скрепера

При заглублении ковша скрепера в грунт включается возбуждающий механизм, при этом, эксцентриковые валы начинают вращаться, а подвижные ножи поворачиваются вокруг своих центральных опор, создавая циклическую пульсирующую нагрузку на массив грунта (рис. 5).

Поскольку движение вперед осуществляет только часть ножа, общее сопротивление резанию снижается. В грунте развивается трещина и откалывается слой грунта, который одновременно и разрыхляется. Изменяя угловую скорость вращения эксцентрикового вала, можно изменять частоту колебаний виброножа, и, соответственно, подбирать оптимальный режим резания для определенного грунта (по упругости, влажности, фракционному составу). В ковше скрепера необходимо смонтировать два виброножа с одинаковыми размерами и параметрами колебаний, что будет обеспечивать симметрию нагрузки.

Использование активного вибрационного рабочего органа, разработанного авторами статьи, позволит снизить сопротивление резания, что обеспечит разработку грунтов III и IV категории, а так же мерзлых грунтов I и II категории.





1 – подвижный вибронож; 2 – центральная опора подвижного виброножа;  
3 – тяга; 4 – эксцентриковый вал

Рисунок 5 – Привод подвижных виброножей

Возможность разработки подобных грунтов без применения вспомогательной машины-толкача только одним скрепером позволит увеличить экономическую эффективность выполнения технологических операций в несколько раз, что будет способствовать повышению показателя эффективности применения скрепера с предложенным в статье авторами новым технологическим оборудованием.

Данная проблема является актуальной и требует дальнейшего изучения.

### Список литературы

1. Желукевич Р.Б. Разработка мерзлых грунтов землеройными машинами с дисковым инструментом: монограф. / Р.Б. Желукевич. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 196 с.
2. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов / М.Н. Гольдштейн. – М: Издательство литературы по строительству, 1971. – 368 с.
3. Патент РФ на изобретение № 2843913, МПК E 02 F 3/64, Ковш скрепера / В.В. Гудков, П.А. Сокол, Р.В. Могутнов, А.Н. Янин, Т.М. Хакимов; заявитель ВУНЦ ВВС «ВВА», – № 2024121928; заявл. 20.07.2024; опубл. 21.07.2025.

### References

1. Zhelukevich R.B. Development of frozen soils by earth-moving machines with disk tools: monograph / R.B. Zhelukevich. – Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2012. – 196 p.
2. Goldstein, M.N. Mechanical Properties of Soils / M.N. Goldstein. – Moscow: Publishing House of Construction Literature, 1971. – 368 p.
3. Russian Federation Patent for Invention №. 2843913, IPC E 02 F 3/64, Scraper Bucket / V.V. Gudkov, P.A. Sokol, R.V. Mogutnov, A.N. Yanin, T.M. Khakimov; applicant: VUNTS VVA Air Force Academy, №. 2024121928; applied on July 20, 2024; published on July 21, 2025.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ БЕСЧОКЕРНОГО  
ТРЕЛЕВОЧНОГО АГРЕГАТА С ГИДРОПРИВОДОМ  
РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ**

**Дерепаско И.В., Попиков П.И., Четверикова И.В.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**MODELING OF WORKING PROCESSES OF A CHOKERLESS SKIDDING  
UNIT WITH A HYDRAULIC DRIVE FOR ENERGY RECOVERY**

**Derepasko, I.V., Popikov P.I., Chetverikova I.V.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* В статье проведен анализ исследований динамики гидропривода технологического оборудования лесотранспортных машин для бесчокерной трелевки леса. Определены методы математического моделирования динамики предлагаемого усовершенствованного гидропривода лесотранспортных машин. Разработана математическая модель движения трактора с агрегатом по лесосеке. Проведена проверка адекватности модели при помощи лабораторного стенда, результаты которой подтвердили теоретические исследования. Построены зависимости функций вертикального перемещения, угла наклона агрегата и давления жидкости в системе рекуперации на основании проведенных расчетов. Доказано, что использование представленной в работе кинематической и гидравлической схемы трелевочного агрегата энергосбережение может составить до 48 кДж за один цикл трелевки, что говорит о снижении энергозатрат на 10%, что говорит об актуальности исследования.

*Abstract:* The article analyzes the research on the dynamics of the hydraulic drive of technological equipment for forest transport machines for choker-free logging. The methods of mathematical modeling of the dynamics of the proposed improved hydraulic drive for forest transport machines are determined. A mathematical model of the movement of a tractor with an aggregate through a logging area is developed. The adequacy of the model is verified using a laboratory bench, and the results confirm the theoretical studies. Based on the calculations, the functions of vertical movement, the angle of inclination of the aggregate, and the fluid pressure in the recovery system are constructed. It has been proven that the use of the kinematic and hydraulic scheme of the skidding unit presented in the work can result in energy savings of up to 48 kJ per skidding cycle, which corresponds to a 10% reduction in energy consumption. This highlights the relevance of the research.

*Ключевые слова:* трелевочный захват, сортименты, моделирование, коэффициент податливости, гидроцилиндр рекуперации

**Keywords:** skidding gripper, sorting, modeling, compliance coefficient, hydraulic recovery cylinder.

Российская лесная промышленность активно внедряет механизацию лесозаготовок, повышая эффективность предприятий. С целью экономической эффективности особое внимание уделяется энергосбережению при трелевке леса. В России, наряду со специализированными машинами (харвестерами и форвардерами), широко используются трелевочные агрегаты на базе обычных тракторов. Последние более популярны среди небольших предприятий, поскольку использование специализированной техники для них экономически нецелесообразно. Их общим конструктивным недостатком является отсутствие возможности гасить колебания от перемещений по неровностям местности, аккумулировать энергию колебаний и направлять её на нужды гидропривода. Это стимулирует исследования по повышению энергоэффективности таких агрегатов.

Гидропривод – ключевой элемент лесозаготовительной техники, нуждающийся в модернизации для увеличения её эффективности. Следовательно, целью данного исследования является снижение гидравлических нагрузок и повышение энергоэффективности бесчokerного трелевочного агрегата путем изменения в его конструкции, а также обоснование параметров гидропривода с системой рекуперации энергии с помощью математического моделирования [1-3].

Объектом исследования является бесчokerный трелевочный захват ПТН-0,8, работающий в составе агрегата с трактором МТЗ-82. Была разработана кинематическая расчетная схема (рис. 1), которая позволит смоделировать и оптимизировать работу захвата с учетом параметров энергосберегающей гидросистемы, что в конечном итоге должно привести к повышению эффективности трелевочных работ. Разработка такой схемы предполагает учет особенностей конструкции захвата ПТН-0,8 и характеристик трактора МТЗ-82, а также принципов работы и параметров энергосберегающего гидропривода [4].

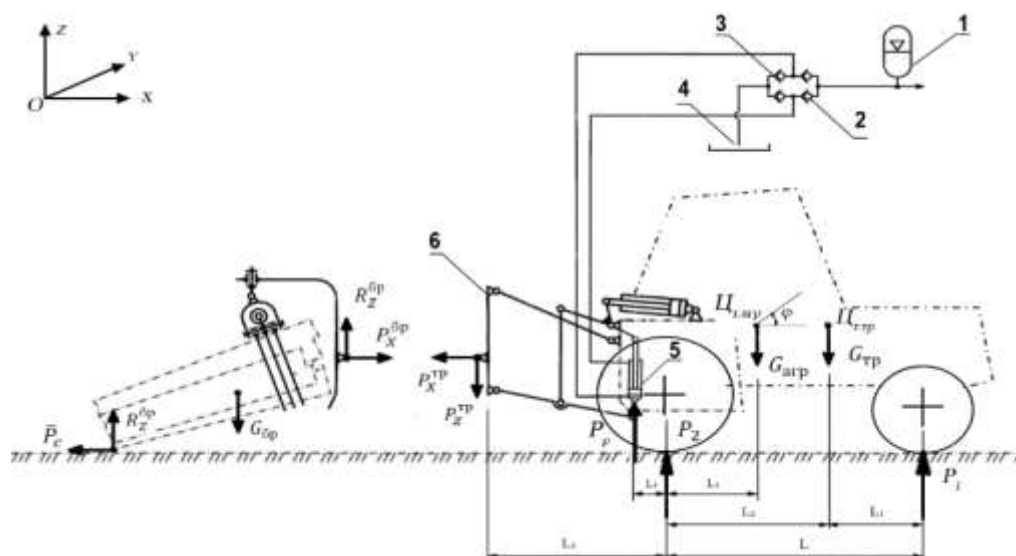


Рисунок 1 – Расчетная схема бесчokerного агрегата с гидроприводом рекуперации энергии

Конструктивное отличие от существующей системы заключается в применении дополнительного гидроцилиндра 5, связанного с гидроаккумулятором 1, через блок клапанов 2. Соответственно, физическая сущность применяемой конструкции заключается в том, что при движении агрегата по микронеровностям рельефа возникают колебания в вертикальной плоскости, которые вызывают перемещения поршня со штоком гидроцилиндра рекуперации 5, и рабочая жидкость поочередно вытесняется в гидроаккумулятор 1 через напорные обратные клапаны 2. Через всасывающие обратные клапаны 3 рабочая жидкость из гидробака 4 поступает в полости гидроцилиндра, в которых создается разрежение.

На основе расчетной модели (рис. 1) разработана математическая модель рабочего процесса бесчokerного трелевочного агрегата с гидроприводом рекуперации, она состоит из следующих дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_{\text{тр}} \ddot{Z} = P_1 + P_2 - G_{\text{агр}} - P_z + S \cdot p. \\ J_{\text{трз}} \ddot{\phi} = P_1 (L_1 + L_2 - L_4) - P_2 \cdot L_4 + P_z (L_3 + L_4) - S \cdot p \cdot (L_5 + L_4) \\ S \frac{dz}{dt} = k \cdot \sqrt{p - p_0} + k_p \cdot \frac{dp}{dt} + a_y p \end{cases} \quad (1)$$

где:  $m_{\text{тр}}$  – масса трелевочного агрегата, кг;

$P_1$  – реакция на переднем мосту, Н;

$P_2$  – реакция на заднем мосту трактора. Н;

$P_z$  – вертикальная составляющая силы тяги, Н;

$S$  – рабочая площадь поршня гидроцилиндра рекуперации энергии, м<sup>2</sup>;

$p$  – давление жидкости в гидросистеме рекуперации, Па;

$J_{\text{трз}}$  – момент инерции трелевочного агрегата относительно центра масс агрегата, кгм<sup>2</sup>

$R_{\text{агр}}^z$  – вертикальная составляющая силы сопротивления волочению пакета бревен на агрегате, Н;

$k$  – коэффициент дросселирования рабочей жидкости в гидролинии между гидроцилиндром рекуперации и гидроаккумулятором, м<sup>3</sup>·с·Па<sup>-1/2</sup>;

$p_0$  – давление предварительной зарядки гидроаккумулятора, Па;

$k_p$  – коэффициент податливости гибких элементов гидропривода можно определить по эмпирической зависимости, м<sup>5</sup>/(Н·с).

Полученная система дифференциальных уравнений является нелинейной, что исключает возможность получения точного аналитического решения. Допущения, принятые при составлении и решении математической модели: не учитывались горизонтальные колебания стрелы; не учитывалось возможные вращения трактор вокруг оси ОХ; неровности рельефа представлены в виде моментального увеличения значения сил реакции.

Начальные условия для решения системы (2):

$$\begin{aligned} Z(0) &= Z^0, \quad \frac{dZ}{dt}(0) = Z^1, \\ \varphi(0) &= \varphi^0, \\ p(0) &= p_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Подставив их в систему, выделив главные члены, и произведя математические действия, получим систему рекуррентных формул для нахождения искомых функций, на основании которых возможно проводить численный эксперимент:

$$Z_{i+2} = 2Z_{i+1} - Z_i + \sigma_1 h^2 \cdot p_i + \sigma_2 h^2, \quad (3)$$

$$\varphi_{i+1} = \varphi_i + \sigma_3 h \cdot p_i + \sigma_4 h, \quad (4)$$

$$p_{i+1} = (1 + \sigma_6 h) \cdot p_i + \sigma_5 h \sqrt{|p_i - p_0|} + \sigma_7 \cdot (Z_{i+1} - Z_i) \quad (5)$$

где  $i=0,1,2,\dots$ .

Начальные значения для них:

$$\begin{aligned} Z_0 &= Z^0, \quad Z_1 = Z^0 + hZ^1, \\ \varphi_0 &= \varphi^0, \\ p_0 &= p_0. \end{aligned} \quad (6)$$

Решить данную математическую модель можно путем построения циклического алгоритма в программном продукте Excel. Данная программа позволит построить зависимости функций 2, 3, 4 на основании проведенных расчетов.

Условиями проведения расчетов являются плотность пней на вырубке 200 шт./км, возможность возникновения до 60 столкновений трелюемой пачки сортиментов при среднем расстоянии трелевки 300 м при массе трелюемой пачки 600 кг и амплитуде колебаний агрегата 0,2 м.

Исходными данными для расчета принимаются геометрические и гидродинамические параметры трактора МТЗ-82 и ПНТ «Муравей». Расчетные графики зависимостей имеют вид (рис. 2, 3):

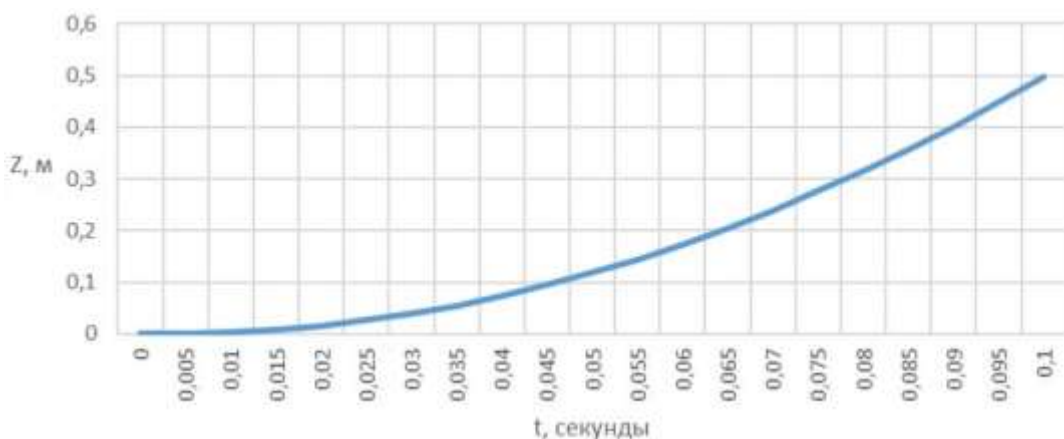


Рисунок 2 – Зависимость перемещения агрегата от времени  $Z_i = Z(t_i)$

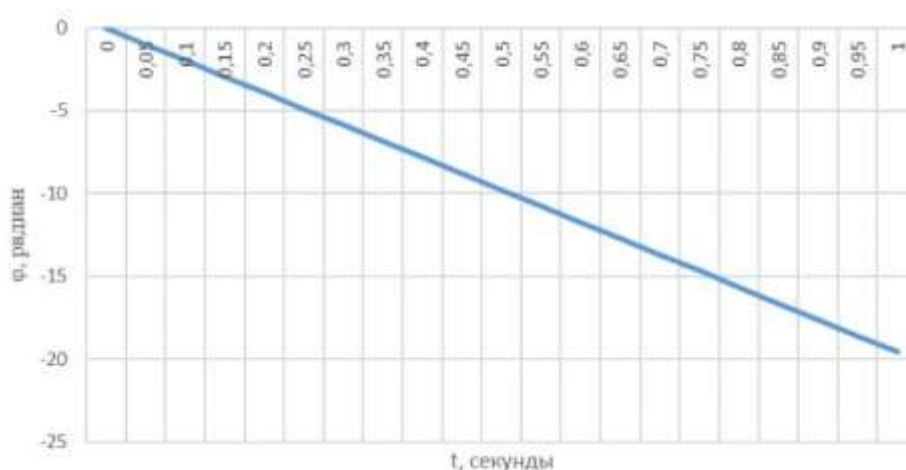


Рисунок 3 – Зависимость угла поворота строительной оси трактора от времени  $\varphi_i = \varphi(t_i)$

При проведении расчетов с математической моделью было получено, что давление в системе при возникновении колебаний превышает давление гидроаккумулятора, что способствует его зарядке.

Сравнительный анализ работы трелёвочного агрегата по производительности до и после изменения его конструкции показал, что объем выпадаемой из захвата древесины за час работы МТЗ-82 + ПТН-0,8 составляет  $0,933 \text{ м}^3$ . В результате реализации предложенных решений по совершенствованию его конструкции наблюдается рост часовой (с  $3,47 \text{ м}^3$  до  $4,2 \text{ м}^3$ ) и сменной производительности (с  $22,27 \text{ м}^3$  до  $26,9 \text{ м}^3$ ) при расстоянии трелёвки 270 м на уровне 17 %. Кроме этого, уменьшение объема выпадаемой древесины снижает количество рейсов трелевочного средства (от 1 до 2 рейсов). Также наблюдается снижение динамических нагрузок, увеличение усилия зажима сортиментов в захвате. Это приводит к уменьшению или полному исключению случаев выскакивания некоторых сортиментов из пачки в процессе трелёвки, а значит увеличению объема трелюемой пачки и уменьшению количества циклов работы трелёвочной техники на лесосеке, что в итоге повысит производительность работы с одновременным уменьшением затрат на процесс трелевки. Кроме этого, при плотности пней на вырубке 200 шт/км количество наездов трелюемой пачки сортиментов при среднем расстоянии трелевки 300 м достигает около 60 столкновений, а следовательно энергосбережение при массе трелюемой пачки 600 кг и амплитуде колебаний агрегата 0,2 м может составить 48 кДж за один цикл трелевки, т.е. произойдет снижение энергозатрат на 10%. При возвращении накопленной энергии в гидросистему обеспечивается поджатие сортиментов в захвате и предупреждается потеря сортиментов из трелюемой пачки и самопроизвольное опускание навесной системы трактора вследствие утечек рабочей жидкости. Таким образом, при применении гидропривода рекуперации в трелевочном агрегате сокращаются энергетические и транспортные затраты на трелевку древесины, увеличивается производительность агрегата и снижается техногенное воздействие на лесную среду.

### Список литературы

1. Юдин Р.В. Моделирование процессов в системе гидравлического привода лесозаготовительных машин / Р.В. Юдин, А.И. Максименков, А.А. Аксенов // Современный лесной комплекс страны: проблемы и тренды развития. – Воронеж: ВГЛУ, 2022. – С. 81-85. DOI 10.58168/MFCCPTD2022\_81-85.
2. Рыбак А.Т. Моделирование работы механизма поворота колонны манипулятора автосортиментовоза с учетом объемной жесткости энергосберегающего гидропривода / А.Т. Рыбак, П.И. Попиков, Д.Ю. Дручинин // Лесотехнический журнал. – 2024. – № 2(54). – С. 280-294. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/16.
3. Голякевич С.А. Математическая модель динамики манипуляторов комбинированного типа для многооперационных лесозаготовительных машин / С.А. Голякевич, Р.А. Карсюк, В.Н. Лой // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 14-18.
4. Дерепаско И.В. Математическая модель колебаний трелевочного агрегата с системой рекуперации в продольно-вертикальной плоскости / И.В. Дерепаско, И.В. Четверикова, А.В. Болгов // В сборнике: Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки и исследования, материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, 2024. С. 117-121.

### References

1. Yudin R.V. Modeling of processes in the hydraulic drive system of logging machines / R.V. Yudin, A.I. Maksimenkov, A.A. Aksenov // The modern forest complex of the country: problems and development trends. – Voronezh: VGLTU, 2022. – pp. 81-85. DOI 10.58168/MFCCPTD2022\_81-85.
2. Rybak A.T. Modeling of the operation of the rotation mechanism of the manipulator column of a timber truck taking into account the volumetric rigidity of the energy-saving hydraulic drive / A.T. Rybak, P.I. Popikov, D.Yu. Druchinin // Forestry journal. – 2024. – № 2 (54). – pp. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/16.
3. Golyakevich S.A. Mathematical model of the dynamics of combined-type manipulators for multi-functional logging machines / S.A. Golyakevich, R.A. Karsyuk, V.N. Loy // Forest engineering, materials science and design. – Minsk: BSTU, 2024. – pp. 14-18.
4. Derepasko I.V. Mathematical model of oscillations of a skidding unit with a recuperation system in the longitudinal-vertical plane / I.V. Derepasko, I.V. Chetverikova, A.V. Bolgov // In the collection: Modern forest complex of the country: innovative developments and research, materials of the All-Russian scientific and practical conference. – Voronezh: 2024. – pp. 117-121.



## **КОНЦЕПЦИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ПОЖАРАМ**

**Забродкин Е.О.**

*Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Россия*

## **CONCEPT FOR A DUAL-COMPONENT ROBOTIC FIREFIGHTING SYSTEM**

**Zabrodkin E.O.**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia*

*Аннотация:* Предложена концепция роботизированного комплекса для борьбы с лесными пожарами. Рассмотрены преимущества применения БПЛА для обнаружения возгораний и мобильной платформы для их ликвидации. Приведено описание взаимодействия компонентов роботизированного комплекса.

*Abstract:* A concept of a robotic wildfire-fighting system is proposed. The advantages of using UAVs for fire detection and a mobile platform for fire elimination are considered. A description of the interaction between the components of the robotic complex is provided.

*Ключевые слова:* роботизированный комплекс, виртуальные датчики, мобильная энергетическая платформа, пожар, пожаротушение.

*Keywords:* robotic complex, virtual sensors, mobile energy platform, fire, fire extinguishing.

### **Введение**

Пожары представляют собой серьёзную угрозу для жизни людей и существования материальных ресурсов. Согласно отчетам МЧС России, в 2024 г. зарегистрировано 83 случая лесных пожаров [1]. Отдалённость лесных территорий приводит к увеличению времени реагирования спасательных служб, что, в свою очередь, существенно усугубляет масштабы ущерба.

Оперативная оценка масштабов горения и своевременное выявление очагов возгорания остаются ключевыми задачами при мониторинге пожароопасных ситуаций. Дымовой шлейф дает неполную информацию о развитии пожара, а привлечение средств авиации (в частности вертолетов) для наблюдения нередко сопряжено с существенными финансовыми затратами. В этих условиях наиболее перспективным выглядит применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с электрическими двигателями, оборудованных виртуальными датчиками. Такая технология позволяет в автоматическом режиме получать высокоточные данные о геолокации точек распространения огня на обширных

лесных территориях, что существенно повышает эффективность локализации очагов возгорания и ускоряет принятие решений по их ликвидации.

Пожаротушение характеризуется высокой степенью риска и требует работы специалистов и техники в экстремальных условиях. В последнее время для локализации и ликвидации очагов возгорания с минимизацией прямого участия человека всё шире применяются роботизированные системы (рис. 1). Такие комплексы входят в состав оперативных подразделений МЧС и эксплуатируются в дистанционном режиме посредством пультов управления, что позволяет существенно снизить опасность для спасателей и повысить эффективность тушения.

БПЛА имеют ограничения по радиусу действия и нуждаются в мобильной платформе, на которой располагается пост управления, оборудование для зарядки бортовых накопителей энергии, площадки размещения и т.д. Кроме того, весьма желательно, чтобы платформа могла принять оперативное и активное участие в ликвидации обнаруженного возгорания, что выдвигает требования по подвижности и грузоподъемности. Таким требованиям в наибольшей степени удовлетворяет гусеничное шасси массой 11...13 т. В качестве прототипа могут быть рассмотрены бронированные пожарные машины, используемые при тушении возгораний в местах складирования боеприпасов.



а)



б)



в)

а) робот ЕЛЬ-4; б) пожарный робот СОБР-1; в) коммерческий робот RXR-M30D-A20.

Рисунок 1 – Пожарные роботы:

Целью данной работы является обоснование концепции двухкомпонентного роботизированного комплекса для переноса воздушных дронов, патрулирования территорий и оперативного тушения очагов возгорания, способного обнаруживать пламя и принимать решения об оптимальных траекториях движения и подаче огнетушащих средств.

### **Описание системы**

Предлагается разработка мобильной автономной платформы с модулем пожаротушения, способной переносить от 2 до 3 БПЛА. Функция обнаружения очагов возгорания реализована посредством видеокамер, установленных на БПЛА, оборудованных виртуальным датчиком на основе обученной нейросети.

В качестве мобильной платформы предлагается использовать шасси высокой проходимости, на котором будут расположены посадочные площадки для БПЛА [2], модуль пожаротушения, запасы топлива и дополнительные аккумуляторы.

Для модуля пожаротушения предлагается выбрать следующие компоненты: ствол (или несколько) для направленного распыления мелкодисперсного огнетушащего порошка, полость для хранения снарядов с огнетушащими веществами и механизм заряжания ствола. Данное решение обеспечивает компактность пожаротушащей установки и возможность тушения очагов возгорания на площади до 35 м<sup>2</sup>, а также дальности до 12 м [3] (пример работы установки на рис. 2). Такая конструкция так же повышает целостность комплекса при эксплуатации ввиду достаточного удаления от возгорания.

В качестве детектора возгорания предлагается использовать обученную нейросеть YOLOv11. Для обучающих данных целесообразно брать готовые наборы данных, а также комбинировать их для получения наилучшего результата. На рис. 3 представлены примеры изображений из готовых наборов данных [3], в рамках работы предложены наборы Fire Detection Computer Vision Project, DFireDataset, FIRE Dataset.



Рисунок 2 – Распыление порошка выстрелом пожаротушащего снаряда



Рисунок 3 – Изображения пожаров, огня и дыма из открытых наборов данных

Для обучения подойдет модель YOLOv11n от Ultralytics, предобученная на больших наборах данных, что позволит начать обучение с ненулевыми весами и быстрее адаптироваться модели к новым изображениям.

Сама по себе задача идентификации факта пожара не является тривиальной и требует комплексной обработки данных по температуре возможного очага, уровню задымления, скорости, направления движения дымовой завесы, видимого пламени и др.

Предполагается использование принципов группового управления для коллективного взаимодействия [4] при ликвидации возгораний. Пример взаимодействия: при обнаружении возгорания с камер дронов формируется оптимальный маршрут для гусеничной платформы, далее высчитывается баллисти-

ческая траектория для выпуска пожаротушащего снаряда. В это время, другие БПЛА, входящие в группу, патрулируют территорию лесного массива в поисках других очагов возгорания. По окончании работ, дроны возвращаются на посадочные места для подзарядки и технического обслуживания.

### **Дальнейшее развитие**

Реализация виртуальных датчиков может быть обеспечена использованием инфракрасных камер при условии доступности обширных обучающих выборок для алгоритмов распознавания тепловых аномалий. Конструктивные особенности мобильной платформы и пожаротушащей установки требуют детального анализа; в рамках настоящей работы планируются исследования по практической реализации предложенной концепции.

### **Список литературы**

1. Рослесхоз: 97% лесных пожаров в 2024 году пришлось на труднодоступные территории [Электронный ресурс] // Федеральное агентство лесного хозяйства [сайт] [2025]. – URL: <https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-97-lesnykh-pozharov-v-2024-godu-prishlos-na-trudnodostupnye-territorii-n11216> (Дата обращения: 14.07.2025)
2. Разведывательно-спасательный комплекс на базе двухкомпонентной роботизированной группы / А.Л. Долгополов, С.И. Матросов, Е.Г. Борисов [и др.] // Транспорт России: проблемы и перспективы–2020. – СПб: ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2020. – С. 210-213..
3. Захматов В.Д. Распыление мелкодисперсного огнетушащего порошка и воды выстрелом из стволов или залпом из многоствольных модулей / В.Д. Захматов // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – №. 7. – С. 61-70.
4. Каляев И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. – М: Физматлит, 2009. – 280 с.

### **References**

1. Rosleskhoz: 97% of forest fires in 2024 occurred in hard-to-reach areas [Electronic resource] // Federal Forestry Agency [website] [2025]. – URL: <https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-97-lesnykh-pozharov-v-2024-godu-prishlos-na-trudnodostupnye-territorii-n11216> (Accessed: 14.07.2025)
2. Reconnaissance and rescue complex based on a two-component robotic group / A.L. Dolgoplov, S.I. Matrosov, E.G. Borisov [et al.] // Transport of Russia: problems and prospects–2020. – St. Petersburg: FGBUN Institute of Transport Problems named after N.S. Solomenko RAS, 2020. – pp. 210-213.
3. Zakhmatov V.D. Spraying finely dispersed fire extinguishing powder and water by shot from barrels or by salvo from multi-barrel modules / V.D. Zakhmatov // Fire and explosion safety. – 2015. – Vol. 24. – № 7. – pp. 61-70.
4. Kalyaev I.A. Models and algorithms of collective control in groups of robots / I.A. Kalyaev, A.R. Gaiduk, S.G. Kapustyan. – M: Fizmatlit, 2009. – 280 p.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ  
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ  
ЛЕСНЫХ ДОРОГ**

**Зубова О.В., Зубова М.С.**

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени  
С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия*

**MODERN APPROACHES TO DETERMINING THE MECHANICAL  
PROPERTIES OF THE SOIL FOUNDATIONS OF FOREST ROADS**

**Zubova O.V., Zubova M.S.**

*Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russia*

*Аннотация:* В статье рассмотрены недостатки существующих подходов к определению механических свойств грунтовых оснований лесных дорог, обоснована необходимость более корректного определения параметров сдвига в связи с растущими требованиями к качеству лесных дорог. Приведены данные по погрешностям существующих методов, а также внесены предложения по более совершенной методике расчета сопротивления сдвигу.

*Abstract:* This article examines the shortcomings of existing approaches to determining the mechanical properties of forest road subgrades and substantiates the need for more accurate determination of shear parameters in light of increasing demands on the quality of forest roads. Data on the errors of existing methods is presented, and proposals for a more advanced method for calculating shear resistance are made.

*Ключевые слова:* лесные дороги, земляное полотно, грунтовые основания, сопротивление грунта сдвигу.

*Keywords:* forest roads, roadbed, soil foundations, soil shear resistance.

Внесение изменений в Лесной кодекс РФ в части строительства лесных дорог и элементов транспортной инфраструктуры требует новых подходов к проектированию этих объектов. В соответствии с статьей 23.7 ЛК РФ [1] лесные дороги могут относиться к объектам капитального строительства, что влечет за собой более высокие требования к содержанию в работоспособном состоянии. Это требование сложно выполнить в условиях грунтов лесной зоны, которые часто являются плохо дренирующими, слабыми и переувлажненными. В связи с вышеизложенным, существующие подходы к определению механических свойств грунтов необходимо подвергнуть критическому переосмыслению. В частности, в настоящее время в механике грунтов методы определения сдвигоустойчивости грунтов основываются на законе Кулона (1), т.е. линейной за-

зависимости между сопротивлением сдвигу и показателями сцепления ( $C$ ) и угла внутреннего трения ( $\varphi$ ).

$$\tau_{\text{сопр}} = \sigma \tan \varphi + c \quad (1)$$

Исследованиями проф. А.Ю. Виноградова и др. [2, 3] доказано, что показатели сцепления и угла внутреннего трения по нормативным методикам определяются с значительными погрешностями. Проведены эксперименты по определению параметров сдвига [2], где сравнивались значения сцепления и угла внутреннего трения, полученные в соответствии с методиками ГОСТ 12248.1-2020. «Грунты. Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза», ГОСТ 12248.2-2020. «Грунты. Определение характеристик прочности методом одноосного сжатия», ГОСТ 12248.3-2020. «Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия». При этом погрешность в определении сцепления составляла в ряде случаев более 100%, а погрешность в определении угла внутреннего трения доходила до 60%. Кроме того авторами [2] указывается на несоответствие размерностей в приведенном выше линейном уравнении (1), т.к. напряжение  $\sigma$  – это отношение нормальной силы к площади образца, а сопротивление грунта сдвигу достигается во всем объеме грунтового образца. Таким образом, авторами подвергнута критике сама методика, изложенная в вышеуказанных ГОСТ, кроме того отмечено, что лабораторные методики не учитывают состояние грунта в естественном залегании, т.к. при отборе проб плотность и структура образцов нарушены.

Особенно заметны отклонения в грунтах с повышенной влажностью. Авторами исследования [3] рассматривается нелинейность графика зависимости сопротивления сдвигу от нормального давления при малых значениях вертикальных нагрузок. Эти отклонения замечал еще классик исследований механических свойств грунтов Н.А. Цытович [4]. Отмечается, что считать зависимость (1) достоверно описывающей сдвиговое сопротивление можно только при достаточном уплотнении грунта. Если же грунт будет разуплотняться, например, в случае переувлажнения или других факторов, то определять сопротивление сдвигу по принятым в настоящее время формулам и методикам нельзя. Это приводит к серьезным ошибкам в проектировании, т.к. сопротивление сдвигу является одной из важнейших характеристик грунтовых оснований. Его правильная оценка способствует устойчивости земляного полотна лесных дорог, а, соответственно, их долговечности.

Коллективом ученых по руководством проф. Виноградова [3] предложена методика расчета сопротивления сдвигу как степенной функции (2), аппроксимирующая зависимость сопротивления грунта сдвигу от нормального давления:

$$\tau_i = a(\sigma_i)^b \quad (2)$$

Такая степенная функция, описывающая влияние внутреннего трения и сцепления на сдвигоустойчивость грунта, более точно описывает его поведение

при различных, в том числе повышенных, влажностях. Авторы указывают, что степенная функция дает наименьший процент погрешности в определении параметров сдвига по сравнению с линейной и логарифмической.

Из вышесказанного очевидно, что нормативные методики определения механических характеристик грунта и формулы расчета требуют пересмотра и корректировки. Необходимо проводить эксперименты, в том числе в полевых условиях, в грунтах ненарушенной структуры в различных климатических и гидрологических условиях для получения адекватных методик и математических моделей расчета механических показателей грунтовых оснований.

### **Список литературы**

1. О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [сайт] [2025]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1313330885>. (дата обращения: 15.09.2025)
2. Виноградов А.Ю. Прочностные характеристики грунта при проектировании объектов лесной инфраструктуры / А.Ю. Виноградов, О.В. Зубова // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2023. Т. 5. Вып.1. С. 75-86. DOI:10.34753/HS.2023.5.1.75.
3. Виноградов А.Ю. Об аппроксимации зависимости сопротивления грунта сдвигу от нормального давления / А.Ю. Виноградов, В.А. Обязов // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2023. Т. 5. Вып. 3. С. 256-263. DOI:10.34753/HS.2023.5.3.256
4. Цытович Н.А. Механика грунтов: учеб. пособие / Н.А. Цытович. – М: Госстройиздат, 1963. – 636 с.

### **References**

1. On Amendments to the Forest Code of the Russian Federation [Electronic resource] // Electronic Fund of Legal and Regulatory-Technical Documents [website] [2025]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1313330885>. (Accessed: 15.09.2025)
2. Vinogradov A.Yu. Strength Characteristics of Soil in the Design of Forest Infrastructure Facilities / A.Yu. Vinogradov, O.V. Zubova // Hydrosphere. Hazardous Processes and Phenomena. 2023. Vol. 5. Issue 1. pp. 75-86. DOI: 10.34753/HS.2023.5.1.75.
3. Vinogradov A.Yu. On Approximating the Dependence of Soil Shear Resistance on Normal Pressure / A.Yu. Vinogradov, V.A. Obyazov // Hydrosphere. Hazardous Processes and Phenomena. 2023. Vol. 5. Issue 3. pp. 256-263. DOI:10.34753/HS.2023.5.3.256
4. Tsytovich N.A. Soil Mechanics: Textbook / N.A. Tsytovich. – Moscow: Gosstroyizdat, 1963. – 636 p.



**ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ ЗАРАСТАНИЯ  
НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ  
РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ТЕРРИТОРИЙ ЛИНЕЙНЫХ  
ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Платонов А.А.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**ANALYSIS OF WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF WORK  
PROCESSES OF CHOPPING MACHINES**

**Platonov A.A.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* При планировании работ по удалению нежелательной растительности с территорий ряда инфраструктурных объектов необходимо предварительно оценить степень зарастания указанных территорий. В статье рассматриваются вариативные подходы к формированию объективных признаков степени зарастания различных территорий, обосновываются показатели зарастания участков ряда объектов инфраструктуры, формулируется вывод о возможности оптимизации на их основе технологических процессов удаления нежелательной растительности.

*Abstract:* When planning the removal of unwanted vegetation from certain infrastructure facilities, it is necessary to first assess the degree of vegetation growth in these areas. This article examines various approaches to developing objective indicators of the degree of vegetation growth in various areas, substantiates the indicators for vegetation growth in certain infrastructure facilities, and formulates a conclusion regarding the possibility of using these indicators to optimize vegetation removal processes.

*Ключевые слова:* инфраструктурный объект, нежелательная растительность, густота, показатель, классификация.

*Keywords:* infrastructure facility, unwanted vegetation, density, indicator, classification.

В настоящее время при планировании работ в рамках нормативно-технического содержания ряда объектов инфраструктуры (полос отвода автомобильных и железных дорог, трасс линий электропередачи и т.д.) нередко должно быть предусмотрено удаление с территорий вышеозначенных объектов нежелательной растительности [10], к которой в настоящем исследовании мы относили кустарник, мелколесье, подлесок и поросль. Особенностью организа-

ции подобного рода работ [9, 12] является то, что принимаемая схема технологического процесса во многом зависит от количества экземпляров нежелательной растительности, произрастающей на территории инфраструктурного объекта, что, в свою очередь, обуславливает необходимость предварительной оценки степени такого зарастания.

Однако, выполненным нами анализом различных нормативно-технических документов, справочников и научных работ, посвящённых теме оценки степени зарастания различных территорий, было установлено, что в настоящее время существует множество подходов к определению величины зарастания территорий объектов нежелательной растительностью, различающихся как в качественном (в отношении геометрических размеров растительности), так и в количественном соотношении [5].

Так, в ряде нормативных документов при рассмотрении вопросов, связанных с удалением нежелательной древесно-кустарниковой растительности (НДКР), например, в Лесоустроительной инструкции [6], при описании подлеска густоту его произрастания оценивают по следующим нормативам: редкий – до 2 тысяч кустов на 1 гектар, средней густоты – 2...5 тыс./1 га, густой – более 5 тыс./1 га. В Ведомственных нормах и расценках на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы [2], многих действующих территориальных единичных расценках на выполнение земляных работ для определения стоимости строительства, а также иных документах [3] такая нежелательная растительность, как кустарник и мелколесье, традиционно подразделяется по густоте произрастания на редкую (до 3000 шт./га), средней густоты (3000...10000 шт./га) и густую – более 10000 шт./га. Указанное разделение во многом объясняется тем, что при производстве тех или иных работ, связанных с расчисткой «по площадям», нередко осуществляется воздействие на нежелательную растительность исключительно больших (>1...2 м) размеров, формирующих покров расчищаемой территории, при этом на растительность меньших размеров внимания фактически не обращают, вдавливая её в землю колёсной/гусеничной техникой. В тоже время при работах на ряде инфраструктурных объектов их территории должны быть полностью очищены от нежелательной растительности, невзирая на её (порой – небольшие) размеры, при этом «вдавливание» такой растительности зачастую принципиально невозможно (например, на балластной призме полос отвода железных дорог). С учётом этого, для организации работ по содержанию озеленения автомобильных дорог общего пользования [8] древесно-кустарниковая растительность разделена по видам, среднему диаметру стволов и средней высоте (табл. 1).

Рядом учёных вопросу классификации растительности по густоте её произрастания также уделяется достаточно серьёзное внимание, при этом к настоящему времени разработано несколько близких друг другу объективных показателей степени зарастания исследуемых территорий нежелательной древесно-кустарниковой растительностью.

В частности, в работе Ф.К. Абдразакова [1] автором отмечается целесообразность разделения расчищаемых от НДКР территорий на несколько групп с учётом трудоёмкости выполняемых работ, определяемой по наличию: деревьев,

пней, мелколесья и кустарников; мелколесья и кустарника без пней и деревьев; с наличием только кустарниковой растительности; покрытые мелким и средним кустарником. Аналогично, в работах В.Н. Титова [11] был предложен принцип разделения нежелательной растительности на несколько групп по трудности её удаления (табл. 2).

Предложенная автором классификация формирует группы нежелательной растительности, опираясь на имеющиеся (по расчищаемой территории) запасы древесины с учётом возможности её дальнейшего использования в хозяйственных целях (например, на дрова).

Таблица 1 – Классификация сорной растительности при содержании автомобильных дорог

Вид растительности	Средний диаметр стволов, см	Средняя высота, м	Количество стволов лесокустарника на 1 га		
			редкого	среднего	густого
Кустарник:					
мелкий	до 3	до 3	до 15000	15000 ... 30000	более 30000
средний	3 ... 7	3 ... 6	до 8000	8000 ... 16000	более 16000
Мелколесье					
	8 ... 11	5 ... 9	до 800	800 ... 2250	более 2250
Лес:					
очень мелкий	12 ... 15	7 ... 11	до 400	400 ... 1400	более 1400
мелкий	16 ... 23	8 ... 16	до 300	300 ... 850	более 850
средний	24 ... 32	11 ... 20	до 160	160 ... 520	более 520
крупный	более 32	-	-	-	-

*Примечание: Диаметр ствола кустарников и мелколесья определяют в нижней части ствола у корневой шейки, у деревьев - на уровне груди человека (на высоте 1,3 м от поверхности земли)*

Таблица 2 – Классификация нежелательной растительности по запасам древесины

Группа сложности		Наибольший диаметр стволов, см	Высота дерева, м	Содержание мелколесья и деревьев, %	Запас древесины на 1000 стволов, м <sup>3</sup>	Затраты труда на удаление, чел. · ч/1000 стволов
I	а	3	3	–	0,16	1,62
	б	5	5	–	0,49	2,00
	в	7	6	–	1,03	2,72
II	а	11	9	до 5	1,83	3,78
	б	16	11	5...10	5,09	4,85
	в	16	11	более 10	более 5,09	более 4,85

Отдельно отметим несколько работ, где авторы предлагают учитывать не только густоту нежелательной растительности, но степень «непроектного» покрытия обследуемой территории. Так, в работе [4] авторы, отмечая необходимость определения густоты древостоя с учётом степени занятости расчищаемой площади, рекомендуют следующие показатели распределения НДКР: густой лес и кустарник – более 2200 деревьев и более 60% покрытия нежелательной растительностью на 1 га; средней густоты лес и кустарник – 600...2200 шт., покрытие 30...60%; редкий лес и кустарник – 200...600 деревьев и 10...30% покрытия; очень редкий лес, кустарник – до 200 деревьев.

В исследовании [7] О.А. Мерзлова, учитывая степень покрытия общей площади расчищаемого участка кронами древесно-кустарниковой растительности (редкая – 5...30%, средняя – 31...60% и густая – 61...100%), рекомендует отдельно выделять градацию для луговых земель: менее 10% кустов от площади луга – чистые, 10...30% – слабо, 30...60% – средне, более 60% – сильно закустаренные (залесенные).

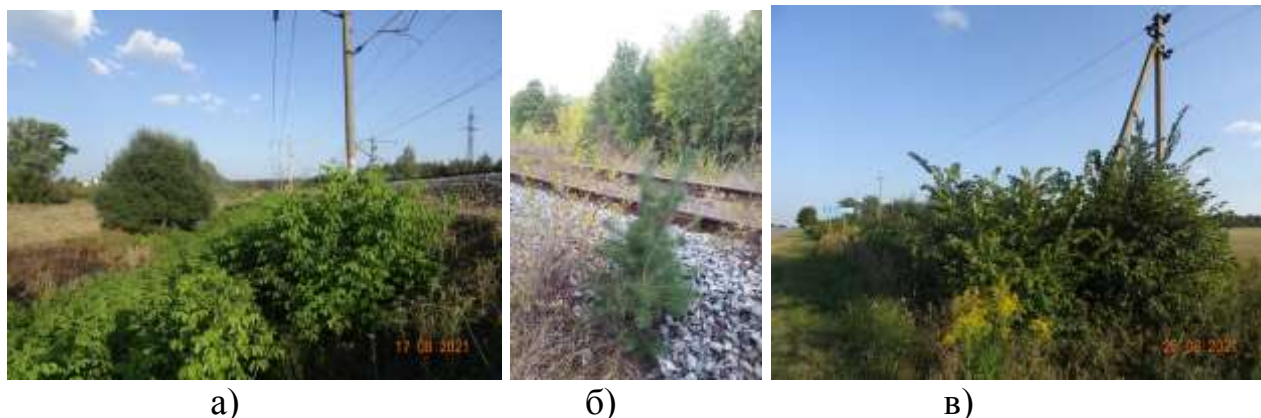
Приняв во внимание вышеизложенные сведения о наработках в области классификации растительности по густоте её произрастания, нами (на основе предварительно выполненного обследования ряда территорий) были разработаны новые показатели степени зарастания нежелательной древесно-кустарниковой растительностью территорий линейных инфраструктурных объектов (ЛИО), позволяющие осуществлять планирование мероприятий как по исследованию качественных и количественных характеристик указанной растительности, так и по её дальнейшему уничтожению в рамках мероприятий по текущему содержанию указанных объектов. При этом в качестве основного показателя степени зарастания указанных территорий нами предлагается использовать количество экземпляров произрастающих деревьев и кустарников в пересчёте на 1 га в зависимости от размеров исследуемой растительности (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели степени зарастания нежелательной древесно-кустарниковой растительностью территорий линейных инфраструктурных объектов

Растительность		Средний диаметр ствола, см	Средняя высота, м	Количество экземпляров растительности, шт./1 га		
Вид	Характеристика			редкая	средняя	густая
Кустарник, подлесок, поросль	очень мелкий	< 0,5	< 0,5	< 10000	10000 ... 30000	> 30000
	мелкий	< 1	< 1	< 5000	5000 ... 15000	> 15000
	средний	1...3	1...4	< 2500	2500... 8000	> 8000
	крупный	3...7	3...6	< 1600	1600... 6000	> 6000
Мелколесье		7...11	5...9	< 1000	1000... 3000	> 3000

В отличие от большинства существующих показателей степени зарастания НДКР различных территорий нами впервые введена градация для очень мелко-го кустарника (подлеска, поросли), которые предлагаем характеризовать средним диаметром одного ствола менее 5 мм при средней высоте растительности до 500 мм.

Необходимостью введения такой градации обусловлена тем, что в природе разные виды деревьев растут с разной скоростью. Так, к весьма быстрорастущим ( $\geq 2$  м/год) относятся зафиксированные нами в ходе натурного обследования территорий инфраструктурных объектов клён ясенелистный (*Acer negundo* L.; рис. 1, а), акация белая (*Robinia pseudoacacia* L.) и т.д., к быстро- и среднерастущим хвойным породам – ель обыкновенная (*Picea abies* L.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.; рис. 1, б), сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica*) и т.д., которые способны давать прирост 15...30 см/год, к быстро- и среднерастущим лиственным породам – вяз мелколистный (*Ulmus pumila* L.; рис. 1, в), тополь чёрный (*Populus nigra* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), клён остролистный (*Acer platanoides* L.) и т.д. Эти (а также целый ряд других пород) в первые месяцы (вплоть до первого года) своей жизни, не образуя нередко сплошной покров той или иной территории, способны, тем не менее, при большом их количестве и видовом разнообразии давать отрицательную картину визуально заросшего линейного инфраструктурного объекта.



- а) в полосе отвода железной дороги Отрожка-Усмань, август 2021 г.  
б) в полосе отвода железной дороги Подклетное – Чертовицкое, сентябрь 2019 г.  
в) в охранной зоне линии электропередачи ПС Дмитровская - ПС Гостомль, август 2021 г.

Рисунок 1 – Зафиксированные экземпляры нежелательной растительности

Принимая во внимание тот факт, что исследование качественных и количественных характеристик такой нежелательной растительности может быть запланировано и проведено в любой момент жизненного цикла НДКР нами было принято решение о введении дополнительной градации («Очень мелкий кустарник (подлесок, поросль)»), позволяющей оптимизировать (с учётом перспективного роста выявленных пород) сроки выполнения мероприятий по удалению нежелательной растительности при текущем содержании ЛИО.

В части количественных величин показателя степени зарастания нежелательной растительностью территорий ЛИО необходимо отметить следующее.

Анализ нормативно-технических документов и научных работ, посвящённых вопросу выявления степени зарастания территорий НДКР, позволил нам признать нецелесообразным назначение для наиболее густо произрастающей (и при этом – мелкой) растительности граничное количество её экземпляров 10000 шт./1 га ввиду малой проекции кроны одного среднестатистического экземпляра указанной растительности на исследуемую / расчищаемую территорию при фактическом отсутствии взаимного угнетения конкурирующих пород. Граничное (для перехода «средняя-густая») количество экземпляров очень мелкой растительности (кустарника, подлеска, поросли) нами было принято равным 30000 шт./1 га, что соответствует трём экземплярам данной НДКР на площади 1 м<sup>2</sup>. Исходя из аналогичных соображений граничное (для перехода «редкая-средняя») количество экземпляров очень мелкой растительности нами было принято равным 10000 шт./1 га, что соответствует одному экземпляру данной НДКР на площади 1 м<sup>2</sup>.

Граничные значения количества экземпляров для остальных видов растительности (мелкого, среднего и крупного кустарника, а также мелколесья) были получены нами с применением математической зависимости  $B_i = B_{i-1} / 2$  (где  $B_i$  – текущая величина граничного значения, шт./1 га;  $B_{i-1}$  – предыдущая величина граничного значения, шт./1 га) и последующим округлением получаемых величин в соответствии с рядом нормальных линейных размеров.

Отдельно следует на наш взгляд предусмотреть значения допустимых показателей степени зарастания.

В ходе натурного проведения эксперимента по выявлению качественных и количественных характеристик нежелательной растительности в 2021 г. нами было установлено, что на участках линейных инфраструктурных объектов, независимо от их вида, встречаются одиночные экземпляры НДКР, неравномерно распределённые по площади обследуемых участков указанных объектов. (рис. 2).

Особенность наличия таких экземпляров растительности в том, что ввиду «единичности» их произрастания они не способны фактом своего существования в подавляющем большинстве случаев кардинально изменить картину состояния зарастания того или иного линейного инфраструктурного объекта ввиду значительной его протяжённости. Однако, в узко ограниченном месте пространства (например, на таком небольшом участке инфраструктурного объекта, как зона вокруг опоры ЛЭП; рис. 2, в) такая растительность конечно же способна создавать неприглядный вид и в соответствии с вышерассмотренными указаниями по определению величины зарастания территорий объектов нежелательной растительностью подлежат удалению.





а)

б)

в)

а) Колодезная - Оп 14 км (Клён ясенелистный, сентябрь 2021 г.)

б) Разъезд 239 км-Шилово (Клён остролистный, август 2021 г.)

в) ПС Губкин - ПС Касторная (Клён ясенелистный, август 2021 г.)

Рисунок 2 – Зафиксированные экземпляры одиночной растительности

Тем не менее отметим, что в силу сложившейся практики надзора за нормативно-техническим состоянием линейных инфраструктурных объектов удаление таких единичных экземпляров НДКР небольшой высоты (диаметра ствола, не проектной площади покрытия кроной и т.д.), не оказывающих серьёзного влияния на внешний вид как самого участка ЛИО, так и его конструктивных элементов, признаётся нецелесообразной. С учётом вышеизложенного, нами были разработаны допустимые показатели степени зарастания нежелательной древесно-кустарниковой растительностью территорий линейных инфраструктурных объектов (табл. 4). Указанные показатели соответствуют допустимому наличию очень мелкого кустарника, подлеска и поросли в количестве не более одного экземпляра данной НДКР на площади  $20 \text{ м}^2$ , для мелкого – не более одного экземпляра на площади  $40 \text{ м}^2$ , для среднего – не более одного экземпляра на площади  $80 \text{ м}^2$ , для крупного – не более одного экземпляра на площади  $125 \text{ м}^2$ , для мелколесья – не более одного экземпляра данной НДКР на площади  $200 \text{ м}^2$ .

Таблица 4 – Допустимые показатели степени зарастания нежелательной древесно-кустарниковой растительностью территорий линейных инфраструктурных объектов

	Растительность				
	Кустарник, подлесок, поросль				Мелколесье
Характеристика растительности	очень мелкий	мелкий	средний	крупный	
Количество экземпляров растительности, шт./1 га	500	250	125	80	50



С учётом вышеизложенного, отметим, что полученное нами распределение показателей степени зарастания нежелательной древесно-кустарниковой растительности на территориях линейных инфраструктурных объектов обеспечивает дифференцирование указанных территорий по густоте произрастания НДКР, что, в свою очередь, позволят оптимизировать технологические процессы удаления нежелательной растительности как по периодичности воздействия на НДКР, так и по применяемым машинам/оборудованию.

### Список литературы

1. Абдразаков Ф.К. Перспективные технологии и средства удаления древесно-кустарниковой растительности / Ф.К. Абдразаков, И.Н. Потапов, В.Н. Мараев // Механизация строительства, 2007. – №4. – С. 13-17
2. Ведомственные нормы и расценки. Сборник В12. Специальные работы в мелиоративном водохозяйственном строительстве. Вып. 2. Культуртехнические работы. – М: Прейскурантиздат, 1987. – 48 с.
3. Гологорский Е.Г. Справочник по строительству и реконструкции ЛЭП 0,4-750 кВ / под. ред. Е.Г. Гологорского. – М: ЭНАС, 2017. – 560 с.
4. Голубев В.В. Разработка технических средств для ввода залежных земель в сельскохозяйственный севооборот / В.В. Голубев, А.В. Кудрявцев // В книге: Сборник тезисов по итогам Профессорского форума 2020 «Национальные проекты и профессорское сообщество». М: 2021. С. 157-158.
5. Лесное ресурсоведение: учеб. пособие / А.И. Жукова, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева, А.С. Ледяева; под ред. В.И. Пятякина. – СПб: Издательство СПбГЛТА, 2008. – 215 с.
6. Лесоустроительная инструкция / утв. приказом Минприроды России от 29 марта 2018 года № 122 // URL: <https://docs.cntd.ru/document/542621790?marker=6520IM> (дата обращения: 30.01.2022)
7. Мерзлова О.А. Культуртехническое состояние земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота в результате радиоактивного загрязнения / О.А. Мерзлова // Мелиорация. 2017. № 4 (82). С. 45-51
8. ОДМ 218.011-98 Методические рекомендации по озеленению автомобильных дорог / утв. приказом Федеральной дорожной службы России № 421 от 5.11.98 г. – М: Росавтодор, 1998. – 51 с.
9. Платонов А.А. Вариативность технологических процессов удаления нежелательной растительности по территориям линейных инфраструктурных объектов / А.А. Платонов // В сборнике: Перспективы транспортной отрасли. Труды 1-й международной научно-практической конференции. Воронеж, 2021. С. 106-112.
10. Платонов А.А. Специализированные машины обеспечения работ по удалению растительности на территориях инфраструктурных объектов / А.А. Платонов // Актуальные проблемы современного транспорта. 2021. № 2 (5). С. 5-11.
11. Титов В.Н. Технологические решения при удалении и утилизации древесно-кустарниковой растительности с откосов мелиоративных каналов / В.Н. Титов // Природообустройство. 2008. № 5. С. 80-84

12. Platonov A.A. Visualization of volumes of works for removing unwanted vegetation from the territory of infrastructural objects / A.A. Platonov, L.N. Bogdanova // *Colloquium-journal*. 2020. № 2-2 (54). С. 143-148.

### References

1. Abdrazakov F.K. Advanced Technologies and Means for Removing Woody and Shrub Vegetation / F.K. Abdrazakov, I.N. Potapov, V.N. Maraev // *Mechanization of Construction*, 2007. – № 4. – pp. 13-17
2. Departmental Standards and Prices. Collection B12. Special Works in Land Reclamation and Water Management Construction. Issue 2. Cultural and Technical Works. – Moscow: Price List Publishing House, 1987. – 48 p.
3. Gologorsky E.G. Handbook of Construction and Reconstruction of 0.4-750 kV Power Lines / ed. by E.G. Gologorsky. – Moscow: ENAS, 2017. – 560 p.
4. Golubev V.V. Development of technical means for introducing fallow lands into agricultural crop rotation / V.V. Golubev, A.V. Kudryavtsev // In the book: Collection of abstracts following the results of the 2020 Professorial Forum «National Projects and the Professorial Community». Moscow: 2021. – pp. 157-158.
5. Forest resource science: textbook / A.I. Zhukova, I.V. Grigoriev, O.I. Grigorieva, A.S. Ledyeva; edited by V.I. Patyakin. – St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State Forestry Academy, 2008. – 215 p.
6. Forest management instructions / approved. By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated March 29, 2018, № 122 // URL: <https://docs.cntd.ru/document/542621790?marker=6520IM> (date of access: January 30, 2022)
7. Merzlova O.A. Cultural and technical condition of lands withdrawn from agricultural use as a result of radioactive contamination / O.A. Merzlova // *Melioration*. 2017. № 4 (82). – pp. 45-51
8. ODM 218.011-98 Methodological recommendations for landscaping of highways / approved by order of the Federal Road Service of Russia No. 421 dated November 5, 1998. – Moscow: Rosavtodor, 1998. – 51 p.
9. Platonov A.A. Variability of Technological Processes for Removing Unwanted Vegetation on the Territories of Linear Infrastructure Facilities / A.A. Platonov // In the collection: Prospects of the Transport Industry. Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2021. pp. 106-112.
10. Platonov A.A. Specialized Machines for Ensuring Vegetation Removal on the Territories of Infrastructure Facilities / A.A. Platonov // *Actual Problems of Modern Transport*. 2021. № 2 (5). pp. 5-11.
11. Titov V.N. Technological Solutions for Removing and Disposing of Trees and Shrubs from the Slopes of Reclamation Canals / V.N. Titov // *Nature Management*. 2008. № 5. pp. 80-84
12. Platonov A.A. Visualization of volumes of works for removing unwanted vegetation from the territory of infrastructural objects / A.A. Platonov, L.N. Bogdanova // *Colloquium-journal*. 2020. № 2-2 (54). pp. 143-148.

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ РУБИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

**Прокопенко С.В., Платонов А.А.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

## **ANALYSIS OF WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF WORK PROCESSES OF CHOPPING MACHINES**

**Prokopenko S.V., Platonov A.A.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Разнообразие дробильных установок для изготовления топливной щепы обусловлено различиями в их конструкции. Ключевые отличия заключаются в типе рабочего органа, типе режущего элемента, способах подачи сырья и системах отвода щепы. В рамках настоящего исследования акцент сделан на дисковых рубительных машинах с верхним выбросом щепы.

*Abstract:* The variety of crushing plants for the production of fuel chips is due to differences in their design. The key differences are in the type of working element, the type of cutting element, the methods of feeding raw materials and chip removal systems. In this study, the emphasis is placed on disc chippers with top chip ejection.

*Ключевые слова:* топливная щепа, рубильные машины, привод рубильных машин.

*Keywords:* energy plantations, fuel wood chips, chipper, chipper drive, chipper drive.

Одной из насущных проблем лесного хозяйства, как отмечают авторы [1], является утилизация мелкотоварной древесины, образующейся при проведении рубок ухода, обрезке городских насаждений и расчистке территорий. Экономическая неэффективность данных мероприятий, обусловленная сложностями реализации низкосортной древесины, приводит к недостаточному вниманию к вопросам ее переработки [2]. В процессе рубок ухода, как правило, используется стандартная лесозаготовительная техника. Обрезка зеленых насаждений, чаще всего, ограничивается вывозом ветвей без предварительного измельчения.

В связи с этим, актуальной задачей является определение оптимальных конструктивных параметров и режимов работы машин и агрегатов, предназначенных для измельчения мелкотоварной древесины при выполнении вышеуказанных работ. Целью исследования является анализ способов повышения эффективности рабочих процессов рубительных машин [3]. Программа исследований включала в себя: изучение усилий резания древесины в зависимости от

угла скольжения ножа и энергозатрат на привод; расчет производительности транспортных средств при вывозе ветвей, полученных при обрезке зеленых насаждений, с использованием базовых и предлагаемых технологий; обоснование энергетических и динамических параметров гидропривода измельчения порубочных остатков на вырубках.

Экспериментальные исследования проводились с использованием тензометрического стенда и теоретических расчетов с применением разработанной автором компьютерной программы «Dina-2», что позволило обосновать параметры агрегата, конструкцию рабочего органа и режимы его работы еще на стадии проектирования. На основании полученных результатов предлагается конструкция и компоновка лесохозяйственных орудий и агрегатов для измельчения мелкотоварной древесины, оснащенных рабочим органом в виде улиткообразного ножа. Определены мощностные и динамические параметры устройства, что позволит повысить производительность труда и снизить энергозатраты на выполнение технологического процесса [4].

Основным преимуществом дисковых рубительных машин с верхним выбросом является их мобильность и способность работать непосредственно на месте заготовки древесины. Это существенно сокращает затраты на транспортировку отходов к стационарным пунктам переработки. Благодаря конструкции верхнего выброса, щепа может сразу направляться в кузов грузового автомобиля или прицепа, что оптимизирует процесс погрузки и снижает потребность в дополнительной технике, такой как погрузчики. Возможность поворота и наклона щепопровода позволяет адаптировать направление выброса под различные условия лесосеки и типы используемых транспортных средств [5].

Конструкция дисковых рубительных машин с верхним выбросом постоянно совершенствуется. Основные направления улучшений связаны с повышением эффективности работы ножевого диска, оптимизацией формы и расположения лопаток для выброса щепы, а также с разработкой более надежных и удобных систем управления щепопроводом. Важным аспектом является также снижение энергопотребления и уровня шума работающей машины, что делает ее более экологичной и комфортной в эксплуатации.

Наконец, важным направлением развития является интеграция дисковых рубительных машин с верхним выбросом в системы комплексной переработки биомассы. Это предполагает использование щепы, полученной с помощью этих машин, для производства не только биотоплива, но и других ценных продуктов, таких как древесный уголь, уксусная кислота и другие химические вещества. Комплексная переработка биомассы позволит максимально эффективно использовать лесные ресурсы и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Это, в свою очередь, будет способствовать устойчивому развитию лесного сектора и переходу к экономике замкнутого цикла.

Вместе с тем, нельзя не отметить, что конструкция машин с верхним выбросом щепы имеет свои особенности, влияющие на процесс транспортировки. Проблема устойчивости этого процесса обусловлена тем, что часть щепы, сталкиваясь с кожухом, не сразу выбрасывается диском, а оседает, что снижает эффективность удаления [6]. Авторы различных исследований [1, 4, 5, 6] указы-

вают на то, что щепа, независимо от способа выброса, подвергается дополнительным нагрузкам и измельчению при движении вдоль подножевой щели, ударах об обод диска и лопатки, а также при прохождении по щепопроводу.

Конструктивно машины с верхним выбросом щепы оснащены лопатками на задней стороне диска, которые выбрасывают щепу через верхнюю горловину кожуха. Расположение лопаток таково, что их плоскость является продолжением поверхности подножевой щели.

Количество лопаток, как правило, зависит от числа ножей на диске, но должно составлять не менее 6-8 штук. В машинах с малым количеством ножей на каждый нож приходится по две лопатки.

Некоторые исследователи считают, что выходной угол лопаток оказывает наибольшее влияние на процесс верхнего выброса щепы. В одном из технических решений [6] предлагается устанавливать вентиляционные лопатки под углом 90 градусов к оси вращения ножевого диска с целью устранения потерь древесины, снижения шума и обеспечения регулировки скорости и направления полета щепы.

Кожух рубительной машины должен быть таких размеров, чтобы в нем свободно размещался ножевой диск. С приводной стороны следует оставлять пространство для прохода щепы, образующейся в процессе отруба. Щепопровод по конструкции может иметь квадратное, круглое или прямоугольное сечение. Ширина (или диаметр) щепопровода должна быть равной ширине кожуха машины с тем, чтобы не создавать дополнительных сопротивлений при входе щепы в трубу [6]. При прямоугольной форме щепопровода его ширина больше высоты в 1,3...1,5 раза [6]. Длина щепопровода зависит от конструктивных особенностей базовой машины, высоты контейнера щеповоза и прицепа.

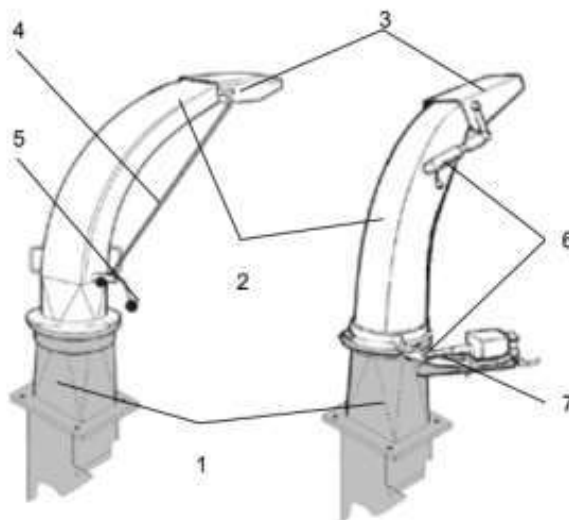
Конструкция кожуха также играет важную роль в обеспечении безопасности и эффективности работы рубительной машины. Материал кожуха должен обладать достаточной прочностью, чтобы выдерживать удары отлетающих кусков древесины и предотвращать их выход за пределы рабочей зоны. Кроме того, кожух должен обеспечивать достаточную шумоизоляцию для снижения уровня шума, создаваемого работающей машиной. Важно предусмотреть возможность легкого доступа к ножевому диску для его обслуживания и замены.

При проектировании щепопровода необходимо учитывать угол наклона, который может влиять на скорость и равномерность подачи щепы. Оптимальный угол наклона подбирается с учетом физических свойств щепы и характеристик системы транспортировки. Также следует учитывать возможность образования конденсата внутри щепопровода, особенно при работе в условиях повышенной влажности. Для предотвращения образования конденсата и замерзания щепы рекомендуется использовать теплоизоляцию или систему обогрева.

Практически во всех конструкциях дисковых рубительных машин отсутствует высокоэффективный механизм выброса щепы, поэтому необходимы дополнительные исследования, направленные на совершенствование конструктивных и технологических параметров механизма, обеспечивающих эффективность данного рабочего процесса [6]. Анализ патентной информации показал,

что совершенствование машин с верхним выбросом идет по пути либо снижения удара щепы о заднюю стенку кожуха, либо его исключения.

В рамках проводимого исследования по анализу способов повышения эффективности рабочих процессов рубительных машин, принималось участие в проводимом эксперименте [7], который был направлен на исследование проблематики равномерной загрузки контейнеров щепой (перспективным биотопливом). Вариант применяемого щепопровода представлен на рис. 1.



а) механически;                      б) гидравлически  
1 – основание, 2 – щепопровод, 3 – заслонка, 4 – тяга,  
5 – рычаг и поворачивающий механизм

Рисунок 1 – Вращающийся щепопровод с изменяемым вектором подачи щепы

В ходе данного эксперимента, были достигнуты поставленные задачи, а так же, рассмотрены важные аспекты, которые могут повлиять на повышение эффективности энергосберегающего гидропривода ножевого диска для снижения вибраций и энергозатрат при производстве щепы.

Таким образом, анализ способов повышения эффективности показал ряд особенностей. Основным преимуществом дисковых рубительных машин с верхним выбросом является их мобильность и способность работать непосредственно на месте заготовки древесины. Основные направления улучшений связаны с повышением эффективности работы ножевого диска, оптимизацией формы и расположения лопаток для выброса щепы, а также с разработкой более надежных и удобных систем управления щепопроводом. Важным аспектом является также снижение энергопотребления и уровня шума работающей машины, что делает ее более экологичной и комфортной в эксплуатации.

Перспективным направлением совершенствования рубительных машин, на наш взгляд, является применение энергосберегающего гидропривода ножевого диска для снижения вибраций и энергозатрат.

### Список литературы

1. Фокин С.В. О конструктивных схемах выброса щепы в рубительных машинах / С.В. Фокин, Д.А. Рыбалкин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 8-3(19-3). – С. 15-18. – DOI 10.12737/15582.
2. Фокин С.В. Способы транспортирования щепы из рубительных машин / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Научная жизнь. – 2018. – № 2. – С. 10-15.
3. Авторское свидетельство № 718258 А1 СССР, МПК В27L 11/02. Рубительная машина : № 2606032 : заявл. 24.04.1978 : опубл. 29.02.1980 / Э. М. Лаутнер ; заявитель Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия им. с.м. Кирова. Заявлено 24.04.78, № 2606032/29-15; опубл. 28.02.80 Бюл.№8.
4. Саввин Е.В. О проблемах измельчения порубочных остатков на лесосеке / Е.В. Саввин, С.В. Фокин // Лесотехнический журнал. – 2011. – № 2(2). – С. 30-31.
5. Сунёв В.С. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет: учеб. пособие / В.С. Сунёв, А.А. Селиверстов, Ю.Ю. Герасимов. – Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2011. – 143 с.
6. Фокин С.В. Описание конструкции и работы опытного образца рубительной машины для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 2–1 (13–1). – С. 146–14.
7. Патент на полезную модель № 234571 U1 Российская Федерация. Устройство для измельчения порубочных остатков: заявл. 15.02.2025: опубл. 02.06.2025 / М.В. Драпалюк, А.А. Платонов, П.И. Попиков.

### References

1. Fokin S.V. On the design schemes of chip ejection in chippers / S.V. Fokin, D.A. Rybalkin // Current areas of scientific research in the 21st century: theory and practice. – 2015. – Vol. 3, № 8-3 (19-3). – pp. 15-18. – DOI 10.12737/15582.
2. Fokin S.V. Methods of transporting chips from chippers / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Scientific Life. – 2018. – № 2. – pp. 10-15.
3. Author's certificate № 718258 A1 USSR, IPC B27L 11/02. Chipper: № 2606032: declared. 24.04.1978 : published 29.02.1980 / E. M. Lautner ; applicant Leningrad Order of Lenin Forest Engineering Academy named after S. M. Kirov. Claimed 24.04.78, No. 2606032/29-15; published 28.02.80 Bulletin № 8.
4. Savvin E.V. On the problems of crushing logging residues in a logging area / E.V. Savvin, S.V. Fokin // Forestry Engineering Journal. – 2011. – № 2 (2). – pp. 30-31.
5. Sunev V.S. Logging machines in the focus of bioenergetics: designs, design, calculation: textbook / V.S. Sunev, A.A. Seliverstov, Yu.Yu. Gerasimov. – Joensuu: Finnish Forest Research Institute METLA, 2011. – 143 p.
6. Fokin S.V. Description of the design and operation of a prototype chipper for crushing logging residues / S.V. Fokin // Current research trends in the 21st century: theory and practice. – 2015. – Vol. 3. – № 2-1 (13-1). – pp. 146-149.
7. Patent for utility model № 234571 U1 Russian Federation. Device for crushing logging residues: declared 15.02.2025: published 02.06.2025 / M.V. Drapalyuk, A.A. Platonov, P.I. Popikov.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ

Седрисев И.Д., Куликова Н.В., Аксёнов П.А.

*Мытищинский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), Москва, Россия*

## STUDY OF FACTORS AFFECTING THE DENSITY OF SIBERIAN FIR WOOD

Sedrisev I.D., Kulikova N.V., Aksenov P.A.

*Mytishchi branch of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (national research university), Moscow, Russia*

**Аннотация:** Исследовались 42 образца из древесины пихты сибирской (*Abies sibirica*), полученных случайной выборкой и произведена их обработка для выявления причин повышенной плотности, приведены результаты и методика обработки полученных числовых данных.

**Abstract:** An investigation of 42 randomly selected Siberian fir wood samples was conducted to determine the causes of their increased density. The processing methodology and results are presented.

**Ключевые слова:** плотность, поздняя древесина, годичный слой, пихта сибирская, *Abies sibirica*.

**Key words:** density, latewood, annual ring, Siberian fir, *Abies sibirica*.

Исследуемые образцы пиломатериалов заготовленные в Иркутской области, Чунском районе, Мироновском участковом лесничестве, Захаровская дача, квартал 162, имеют сечение от 22 до 22,6 мм по толщине, от 94,3 до 96,3 мм по ширине, от 125 до 154 мм по длине. На торцевой поверхности образца была произведена обработка лезвием ножа. На рис. 1 показана узкослойная структура строения древесины, что является не характерным для рассматриваемой породы.



Рисунок 1 – Исследуемый образец, поперечный срез

Средняя ширина годичного слоя составляет  $1,23 \pm 0,15$  мм, также с помощью искусственного интеллекта по сканированным торцам изучаемых образцов был определен процент поздней древесины в годичных кольцах пиломатериала. Он варьирует в пределах 22-30% от ШГК, средний показатель процентного содержания поздней древесины после обработки данных полученных с 42 единиц образцов составил 27%. Данный показатель для хвойных пород считается достаточно высоким и является больше табличного значения указанного в справочнике на 9-10%, что в свою очередь серьезно увеличивает плотность древесины в целом [3].

В условиях лаборатории МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана были проведены измерения плотности в соответствии с ГОСТ 16483.1-84 показатель составил  $469 \text{ кг/м}^3$  в среднем для всех образцов, при нормализованной влажности. Полученное значение неудовлетворительно сочетается с табличными стандартными значениями ( $375 \text{ кг/м}^3$ , при влажности 12%) показателя плотности для древесины пихты сибирской [3]. Это даёт основание полагать, что плотность древесины в первую очередь зависит от средней толщины годичного слоя [1, 4].

В ранее проводимых исследованиях был выявлена родовая принадлежность исследуемой древесины и доказано, что она принадлежит деревьям рода Пихта, семейства Сосновые. На рис. 2, 3 для демонстрации описываемых фактов приведены микроснимки исследуемых образцов, отснятых с помощью объектива Reichert SPlan 40/0,65/160/0,17:



Рисунок 2 – Микроснимок радиального среза исследуемого образца древесины. Поровость осевых трахеид. Препарат не окрашен.



Рисунок 3 – Микроснимок радиального среза древесины образца. Сердцевинный луч с полем перекреста. Препарат не окрашен.

Методика исследования строения древесины образцов, предоставленных для проведения экспертизы:

Исследование поверхности древесины было проведено с использованием искусственного интеллекта по следующей методологии:

Преобразование изображения – перевод в градации серого. Фильтрация шумов – применение медианного фильтра  $3 \times 3$ . Адаптивное пороговое выделение – алгоритм Otsu с коррекцией яркости для выделения темных участков (поздняя древесина). Сегментация – выделение границ годовичных колец по радиальным профилям интенсивности. Расчет площади – подсчет числа пикселей, принадлежащих поздней древесине, и их отношение к общей площади изображения. Точность выделения границ между ранней и поздней древесиной составила  $\geq 95\%$ .

Полученные данные были подтверждены контрольными измерениями годовичных слоёв древесины дендрохронологическими методами с ручной разметкой с использованием программы PhotoM. Древесину подвергали углубленной обработке для детального изучения [4].

Полученные сводные данные по 42 единицам образцов предоставлены ниже в табл. 1:

Таблица 1 – Сводные данные по образцам

Показатель	Значение	Погрешность	Коэффициент вариации, %
Диапазон плотности исследуемых образцов	379-610,8 кг/м.куб	$\pm 5\%$	10,6
Средняя доля площади поздней зоны от общей площади образца	27,0%	$\pm 5\%$	17,5
Средняя ширина годовичного кольца	1,23 мм	$\pm 0,15$ мм ( $\pm 12\%$ )	35
Минимальный размер годовичного кольца	0,38 мм	$\pm 0,1$ мм ( $\pm 26\%$ )	19,8
Максимальный размер годовичного кольца	2,5 мм	$\pm 0,3$ мм ( $\pm 12\%$ )	9,2
Средний показатель доли поздней древесины во всём годовичном кольце	28,5%	$\pm 4\%$	15
Средняя плотность годовичных колец (в 1 см)	7,7 колец/см	$\pm 0,2$	12,5

Полученные данные, представленные на рис. 4 и 5, соответствует нормальному распределению Гаусса.

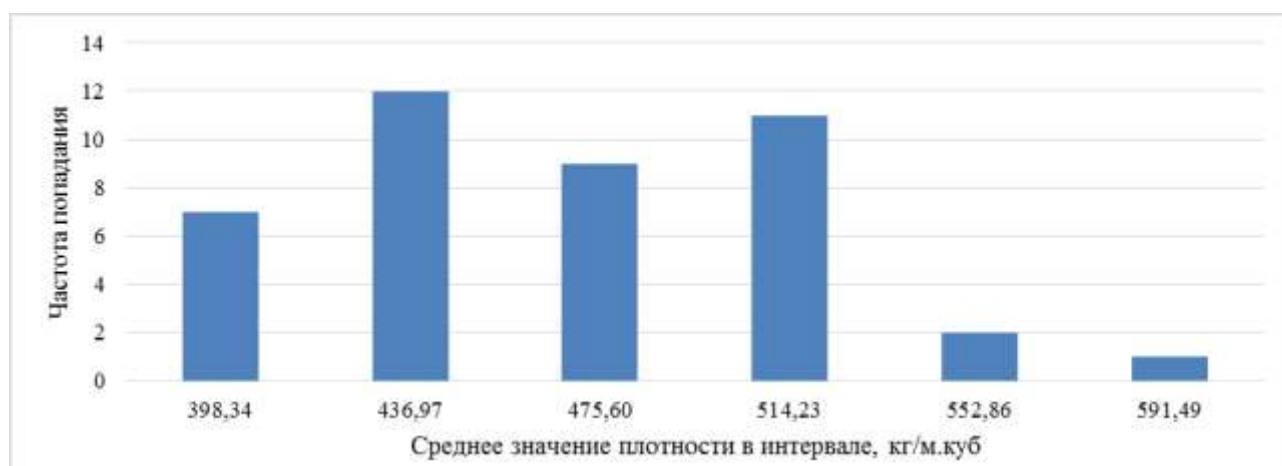


Рисунок 4 – Распределение значений плотности

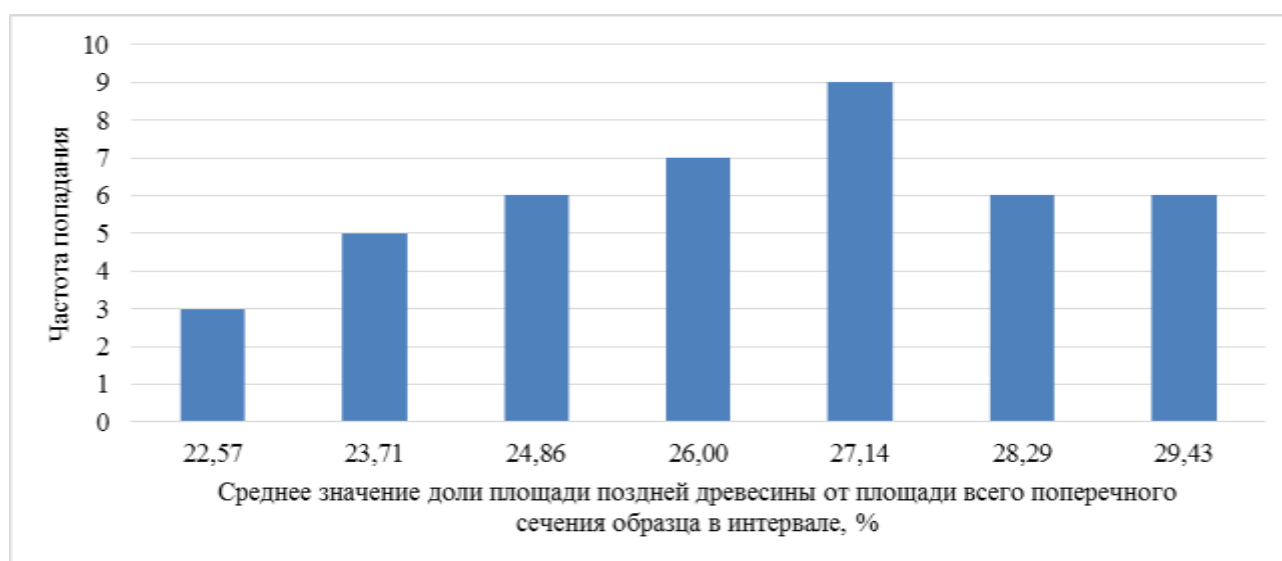


Рисунок 5 – Распределение значений доли поздней зоны древесины относительно всего образца, %.

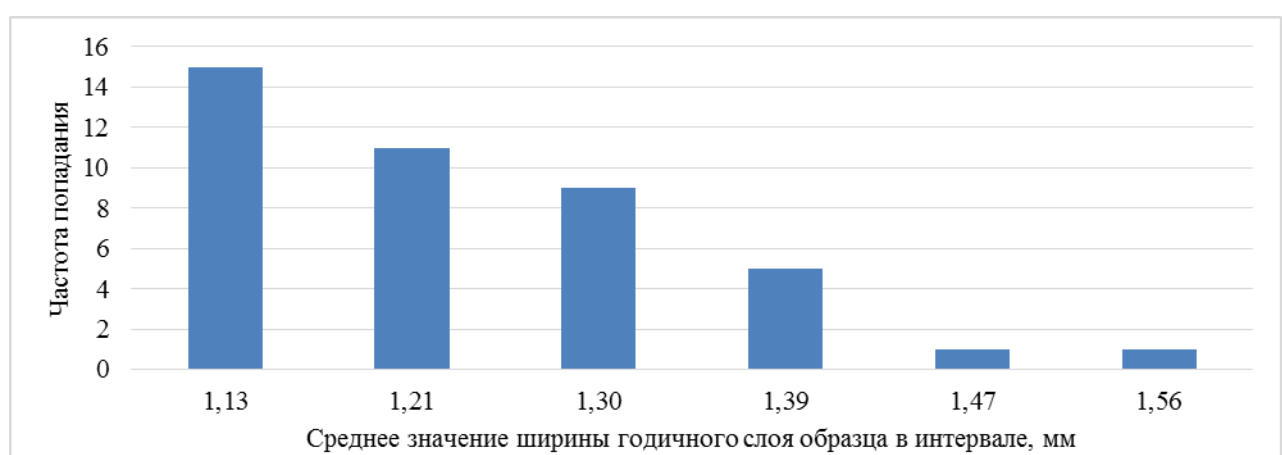


Рисунок 6 – Распределение значений средней ширины годичного слоя, мм

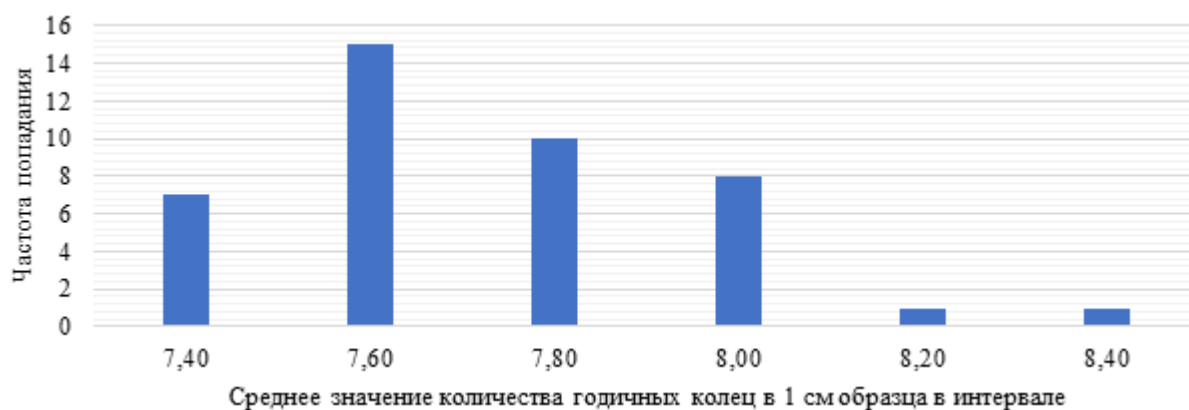


Рисунок 7 – Распределение значений количества годовичных колец в 1 см исследуемого образца

По результатам полученных данных можно сделать вывод, что повышенные значения плотности исследуемых образцов из древесины пихты сибирской относительно справочных значений связаны с повышенным содержанием в её структуре поздней древесины. Это даёт основание полагать, что увеличение плотности древесины пихты сибирской, произрастающей в данном районе, вызвано элементами её биологического строения.

### Список литературы

1. Барыкина Р.П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы / Р.П. Барыкина. – М: МГУ, 2004. – 312 с.
2. Бордонос Т.Г. Судебнобиологическая экспертиза мелких частиц древесины. Методическое пособие для судебных экспертов / Т.Г. Бордонос, Д.С. Рудич. – Киев, 1970. – 84 с.
3. Боровиков А.М. Справочник по древесине: Справочник / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев. – М: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
4. Аксёнов П.А. Особенности плотностных характеристик древесины пихты сибирской / П.А. Аксёнов, Н.В. Куликова, И.Д. Седрисев // Сборник тезисов конференции Леса России: политика, промышленность, наука, образование, 2025.
5. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения – учебн. для лесотехнических ВУЗов / Б.Н. Уголев. – М: МГУЛ, 2007. – 351 с.
6. Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины / А.А. Яценко-Хмелевский. – М-Л.: Изд. АН СССР, 1954. – 335 с.
7. Ruffinatto F. Atlas of macroscopic wood identification with a special focus on timbers used in Europe and CITES-listed species. / F. Ruffinatto, A. Crivellaro – Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, 2019. – 439 p.

### References

1. Barykina R.P. Handbook of Botanical Microtechnics. Fundamentals and Methods / R.P. Barykina. – Moscow: Moscow State University, 2004. – 312 p.

2. Bordonos T.G. Forensic Biological Examination of Small Wood Particles. Methodological Manual for Forensic Experts / T.G. Bordonos, D.S. Rudich. – Kyiv, 1970. – 84 p.
3. Borovikov A.M. Handbook of Wood: Handbook / A.M. Borovikov, B.N. Ugolev. – Moscow: Lesn. prom-st, 1989. – 296 p.
4. Aksenov P.A. Features of the density characteristics of the siberian fir wood / P.A. Aksenov, N.V. Kulikova, I.D. Sedrisev // Collection of abstracts of the conference Forests of russia: politics, industry, science, education, 2025.
5. Ugolev B.N. Wood Science with the Basics of Forest Commodity Science - a textbook for forestry universities / B.N. Ugolev. – Moscow: MGUL, 2007. – 351 p.
6. Yatsenko-Khmelevsky A.A. Fundamentals and methods of anatomical study of wood / A.A. Yatsenko-Khmelevsky. – Moscow-Leningrad: Publ. of the USSR Academy of Sciences, 1954. – 335 p.
7. Ruffinatto F. Atlas of macroscopic wood identification with a special focus on timbers used in Europe and CITES-listed species / F. Ruffinatto, A. Crivellaro. – Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, 2019, 439 p.

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ДЛЯ ДИЗАЙНА ПРОДУКТОВ ОТ  
РАЗРАБОТКИ ДО УТИЛИЗАЦИИ**

**Стородубцева Т.Н., Мелихова А.В., Плотников Д.С.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**MATERIALS SCIENCE FOR PRODUCT DESIGN FROM  
DEVELOPMENT TO DISPOSAL**

**Storodubtseva T.N., Melikhova A.V., Plotnikov D.S.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* В данной работе рассматриваются основополагающие аспекты актуального продуктового дизайна, акцентирующие внимание на значении науки о материалах и экологически ответственных подходов при разработке продукции. Центральной идеей является потребность в интеграции принципов полного цикла существования товара, охватывающего все стадии – от извлечения ресурсов до переработки. Особое внимание уделяется значимости выбора оптимальных материалов, принимая во внимание экологический след, а также подходящих производственных техник, стремящихся к минимизации потребления энергии и образования отходов.

*Abstract:* This paper examines the fundamental aspects of current product design, focusing on the importance of materials science and environmentally responsible approaches in product development. The central idea is the need to integrate principles of the entire product life cycle, covering all stages - from resource extraction to recycling. Particular attention is paid to the importance of choosing optimal materials, taking into account the ecological footprint, as well as suitable production techniques that aim to minimize energy consumption and waste generation.

*Ключевые слова:* дизайн, добыча сырья, переработка, жизненный цикл, утилизация.

*Keywords:* design, raw material extraction, processing, life cycle, disposal.

Дизайн продукта в современном мире – это не только эстетика и функциональность, но и глубокое понимание материалов, которые используются при его создании. Материаловедение [1], которое нацелено на дизайн, учитывает весь жизненный цикл продукта, начиная от добычи сырья и заканчивая его утилизацией или переработкой. За последние 20 лет дизайн существенно эволюционировал. Одно из таких наиболее востребованных направлений в дизайне позиционирует себя как Design thinking [2].



Исходный материал – фундамент всего процесса. Выбор наилучшего материала представляет собой баланс между требуемыми характеристиками изделия (надежность, масса, цена, эстетика) и его экологическим следом. Экологически безопасные варианты, например, биоразлагаемые пластмассы или вторичные металлы, приобретают все большую популярность [3].

Экологический след материала тесно связан с процессом его производства. Устойчивое производство достигается за счет энергоэффективных технологий, минимизации отходов, использования возобновляемой энергии и выбора оптимальных методов обработки.

Долговечность и ремонтпригодность изделия снижают потребность в его частой замене, что, в свою очередь, сокращает потребление ресурсов и образование отходов. Использование износостойких и устойчивых к внешним воздействиям материалов продлевает срок службы продукта.

Утилизация и переработка завершают жизненный цикл продукта (рис. 1). Важно проектировать изделия так, чтобы их было легко разобрать на компоненты для вторичной переработки [4]. Использование перерабатываемых материалов способствует развитию экономики замкнутого цикла.



Рисунок 1 – Жизненный цикл продукции

Для успешного перехода к устойчивому производству требуется подготовка квалифицированных специалистов в области материаловедения и дизайна, обладающих знаниями и навыками в области LCA и устойчивого развития [5]. Дизайнеры должны знать свойства материалов, производственные процессы и методы оценки воздействия на окружающую среду, чтобы создавать продукты, отвечающие потребностям потребителей и минимизирующие негативное воздействие на планету.

Инновационные материалы, такие как нанокompозиты и умные материалы, открывают новые возможности для дизайна. Нанокompозиты позволяют созда-

вать изделия с уникальными свойствами, а умные материалы – продукты с адаптивной функциональностью.

Современный дизайн продукта все чаще ориентируется на принципы циркулярной экономики, где отходы рассматриваются как ресурсы. Это подразумевает создание продуктов, которые легко разбираются, ремонтируются и перерабатываются.

Внедрение принципов устойчивого материаловедения требует сотрудничества между различными участниками цепочки создания стоимости: дизайнерами, инженерами [6], производителями материалов, переработчиками и потребителями.

Мир захлестывает волна пластиковых бутылок: каждую секунду производится 20000 штук. К сожалению, большая часть этого пластика, несмотря на утилизацию половины, не перерабатывается (всего 7 %) и попадает на свалки и в океан, усугубляя экологическую ситуацию [4,7]. Но, как ни парадоксально, этот же пластик иногда становится материалом для создания произведений искусства.

Сумки *Polyarus* (рис. 2). Александра Полярус, дизайнер и создательница бренда *Polyarus*, уже более пяти лет занимается апсайклингом, давая вторую жизнь отслужившим материалам.



Рисунок 2 – Сумки *Polyarus*

Александра делает из баннеров, автомобильных и велосипедных камер стильные сумки и рюкзаки. Один из ключевых проектов *Polyarus* стал проект с *Adidas*, в рамках которого были созданы уникальные шоперы. Помимо этого, *Polyarus* реализовала крупные проекты для таких крупных организаций, как Русский музей, «Газпром нефть» и Сбербанк.

Заключение. Вместо слепого следования моде, устойчивый дизайн и материаловедение предлагают ответственный подход к разработке продуктов, учитывающий ограниченность ресурсов и экологические последствия. Интегрируя анализ жизненного цикла в процесс проектирования, мы создаем более эффек-

тивные и экологически чистые товары, которые приносят пользу как потребителям, так и нашей планете.

### **Список литературы**

1. Байер В.Е. Архитектурное материаловедение: учебник / В.Е. Байер. – М: Архитектура-С, 2019. – 264 с.
2. Папанек В. Дизайн для реального мира / В. Папанек. – М: Изд-во Аронов, 2018. – 416 с.
3. Картонова Л.В. Основы материаловедения металлических и неметаллических веществ: учеб. пособие / Л.В. Картонова, В.А. Кечин. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2014. – 176 с.
4. Шевченко О.В. Инновационные методы переработки природных материалов для создания мебели / О.В. Шевченко, Л.И. Громова // Научный мир. – 2021. – № 4(2). – с. 50-56.
5. Берг Д.Б. Модели жизненного цикла : учеб. пособ. / Д.Б. Берг, Е.А. Ульянова, П.В. Добряк. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2014. – 76 с.
6. Арсеньева Н.В. Управление жизненным циклом продукции: теория, методология, практика: монография / Н.В. Арсеньева, Г.В. Тихонов. – Курск: Университетская книга, 2025. – 209 с.
7. Стородубцева Т.Н. Современные композиционные материалы для гражданского строительства: монография / Т.Н. Стородубцева, А.А. Аксомитный. – Воронеж: Изд-во ВГЛУ, 2021. – 143 с.

### **References**

1. Bayer V.E. Architectural Materials Science: a textbook / V.E. Bayer. – Moscow: Arkhitektura-S, 2019. – 264 p.
2. Papanek V. Design for the Real World / V. Papanek. – Moscow: Aronov Publishing House, 2018. – 416 p.
3. Kartonova L.V. Fundamentals of Materials Science of Metallic and Non-Metallic Substances: a textbook / L.V. Kartonova, V.A. Kechin. – Vladimir: VISU Publishing House, 2014. – 176 p.
4. Shevchenko O.V. Innovative Methods of Processing Natural Materials for Furniture Creation / O.V. Shevchenko, L.I. Gromova // Scientific World. – 2021. – № 4 (2). – pp. 50-56.
5. Berg D.B. Life Cycle Models: A Textbook / D.B. Berg, E.A. Ulyanova, P.V. Dobryak. – Yekaterinburg: Ural Federal University, 2014. – 76 p.
6. Arsenyeva N.V. Product Life Cycle Management: Theory, Methodology, Practice: monograph / N.V. Arsenyeva, G.V. Tikhonov. – Kursk: University Book, 2025. – 209 p.
7. Storodubtseva T.N. Modern Composite Materials for Civil Engineering: A Monograph / T.N. Storodubtseva, A.A. Aksomitny. – Voronezh: VSTU Publishing House, 2021. – 143 p.

## **О КОМПЛЕКСЕ МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ В УСЛОВИЯХ ВЫРУБОК**

**Фокин С.В., Шпортько О.Н.**

*Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия*

## **ABOUT A COMPLEX OF MACHINES FOR PRODUCING ENERGY WOOD IN FOREST FELLING CONDITIONS**

**Fokin S.V., Shportyko O.N.**

*Saratov State Technical University named after Gagarin Y.A.  
Saratov, Russia*

*Аннотация:* В данной работе представлен комплекс машин для производства энергетической древесины в условиях вырубок. Представлены конструктивные особенности машин, входящих в состав данного комплекса

*Abstract:* This paper presents a set of machines for the production of energy wood in logging conditions. The design features of the machines included in this set are presented.

*Ключевые слова:* коническая фреза, рубильная машина, энергетическая древесина, измельчение древесных отходов.

*Keywords:* conical cutter, chopping machine, energy wood, wood waste grinding.

Преобразование древесных отходов в щепу непосредственно на лесосеке – задача, имеющая первостепенное значение для России. Обладая четвертью мировых запасов леса, страна использует свой лесной экономический потенциал, оцениваемый более чем в 100 миллиардов долларов, всего на 7-10%. Доходность с гектара эксплуатируемых российских лесов в 10-15 раз уступает показателям ведущих мировых держав [1, 2].

Современные химико-механические технологии дают возможность применять отходы лесозаготовки после предварительного измельчения в качестве исходного материала. Щепа, размер которой варьируется от 21 до 100 мм, может быть использована для сжигания в котельных, бытовых печах и промышленных топочных устройствах, способствуя решению проблемы энергообеспечения регионов, испытывающих дефицит энергии [3, 4].

С целью производства щепы предложен мобильный комплекс оборудования, предназначенный для работы непосредственно на лесосеке и включающий в себя: агрегат с конической фрезой, заполненной жидкостью, для измельчения пней, а так же рубильную машину дискового типа для переработки отходов лесозаготовок, оснащенную ножами ступенчатой формы.

Фреза конической формы, заполненная жидкостью, состоит из следующих элементов (рис. 1): пустотелый корпус 1; режущие элементы 2; жидкая среда 3; лопатки, обеспечивающие принудительное вращение жидкости 4; направляющее сверло 5; поддерживающие элементы для режущих кромок и сверла 6; выпускное отверстие 7; треугольная база 8; входное отверстие для заливки жидкости 9; трубчатая опора для привода 10; крестообразная соединительная деталь 11.

Улучшение стабильности инструмента достигается за счет частичного заполнения пустотелого корпуса фрезы 1 жидкостью 3 через заливное отверстие 9. В начале обработки, жидкость 3, приводимая в движение лопатками 4, закрепленными на внутренней поверхности корпуса 1, начинает циркулировать вокруг оси ОУ. Это вращение жидкости 3 создает момент инерции, который компенсирует моменты, возникающие при обработке древесины из-за неравномерной нагрузки на режущие элементы 2 фрезы.

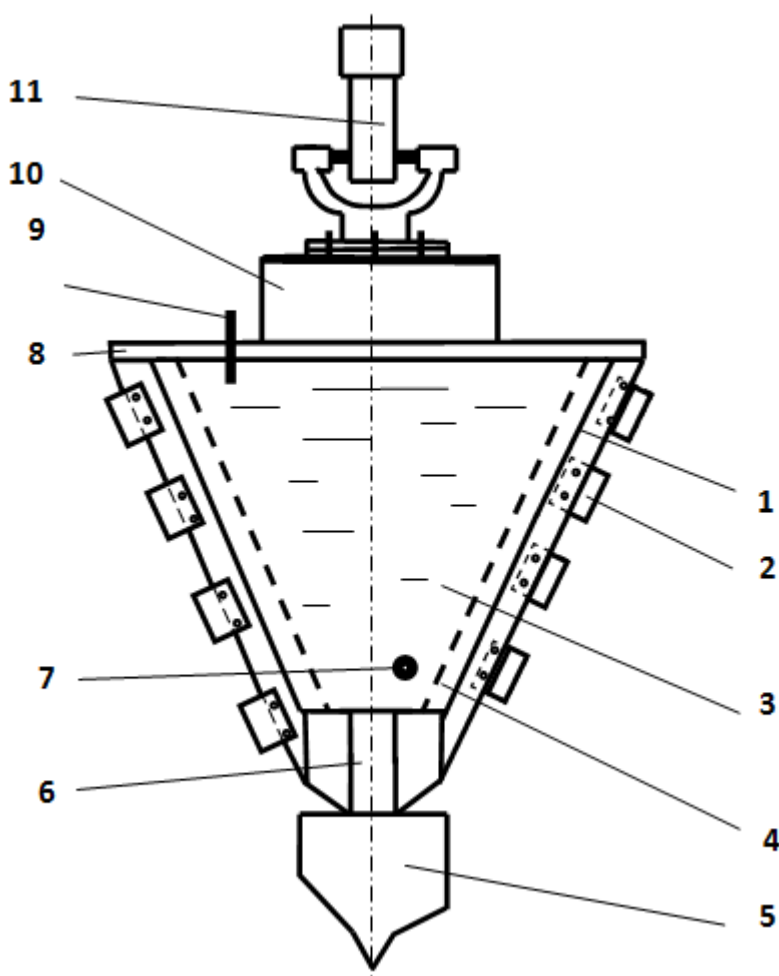


Рисунок 1 – Схема конической фрезы с жидким наполнителем

Разнообразие технических решений и специализированного оборудования, применяемых в производстве топливной щепы, весьма велико. Наиболее востребованными оказались технологии, базирующиеся на использовании передвижных машин для измельчения древесины, поскольку такой подход подразумевает минимальную потребность в дополнительном оборудовании [5, 6].

Дисковые измельчители, получившие самое широкое распространение на практике, характеризуются нестабильным процессом переработки отходов лесозаготовки, который сопровождается ударными нагрузками при контакте режущего инструмента с древесиной [7, 8].

Получаемая в результате щепа зачастую нуждается в последующей обработке для выравнивания ее геометрических параметров. В связи с этим, внедрение дисковых рубительных машин, оборудованных ножами ступенчатой формы, способствует решению важной общественно-экономической задачи [9, 10].

Дисковая машина со ступенчатыми ножами, разработанная для утилизации отходов лесозаготовок, рекомендуется к использованию на участках с небольшим количеством пней (рис. 2). Рабочий процесс этого тракторного агрегата выглядит следующим образом: трактор доставляет агрегат к кучам лесосечных остатков, располагая раму подъемника 8, закрепленную снаружи корпуса загрузочной воронки 1 на оси подающего механизма 6, у основания кучи.

Затем, в гидроцилиндре 9, соединенном с маслобаком 11 через трубопровод 10 и гидравлическую систему трактора, нагнетается давление. Поршень, выдвигаясь из гидроцилиндра 9, толкает раму подъемного устройства 8, обеспечивая её вертикальное перемещение.

В результате этого часть порубочных остатков оказывается на уровне входного отверстия загрузочной воронки 1. Этот патрон закреплен на рубильном диске 3, оборудованном ступенчатыми ножами, которые состоят из нескольких лезвий одинаковой длины, выполненных в виде ступеней, расположенных друг относительно друга под углами:  $\alpha_1=0^\circ$ ;  $\alpha_2=5^\circ$ ;  $\alpha_3=10^\circ$ .

Расположенные по обеим сторонам приемного отверстия загрузочного бункера 1, подвижные пилы 12, закрепленные консолью 13 на валу подающего устройства 6, приводят поступающие в бункер 1 отходы обрезки деревьев к нужным размерам.

Устройство подачи 6, чей вал зафиксирован в основании корпуса загрузочного бункера 1, вместе с подающими роликами 7, прикрепленными к внутренним стенкам бункера 1, гарантируют продвижение ветвей в бункер 1 и дальнейшее перемещение отходов к измельчителю 3.

Движение подающего механизма 6 и роликов 7, а также продольное перемещение сырья в загрузочном бункере 1, осуществляется ременной передачей 4 и системой шкивов, включающей шкивы 14, 15 и 16, которые через понижающий редуктор 20 и валы 17, 18, вал 5 и клиноременную передачу 19 соединяются с валом отбора мощности трактора.

Расположение роликов 7 и сама конструкция загрузочного бункера 1 способствуют уплотнению массы порубочных остатков перед процессом измельчения. Дополнительную стабильность процессу резки отходов дают два контрножа, установленные в загрузочном бункере 1 [5, 7].



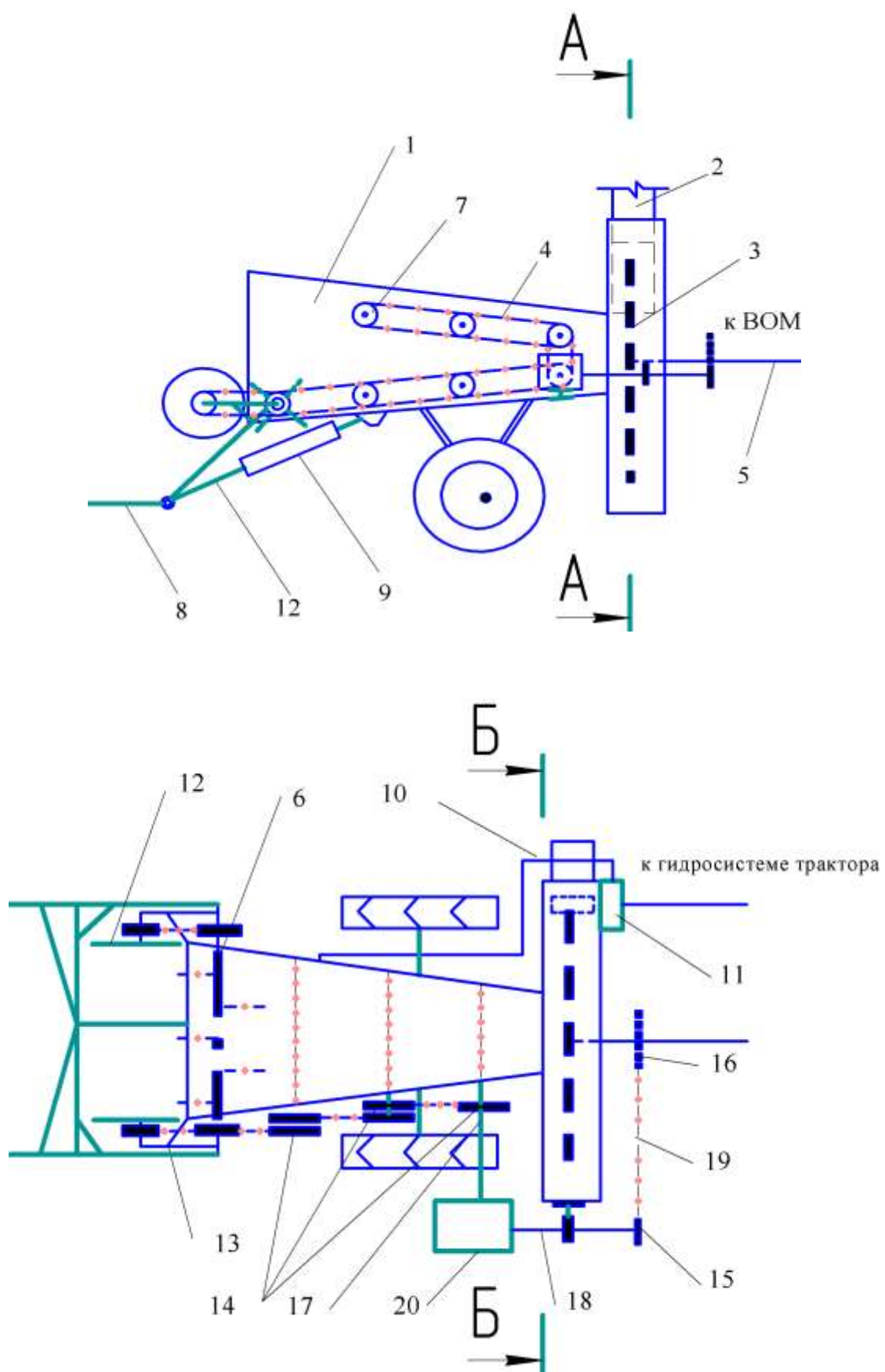


Рисунок 2 – Конструктивная схема машины для измельчения отходов лесосечных работ



Под влиянием центробежной силы измельченная масса древесных отходов направляется в щепопровод 2, откуда поступает непосредственно в предназначенную для сбора емкость.

### Список литературы

1. Фетяев А.Н. Об имитационной модели процесса измельчения порубочных остатков / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 2. – С. 291-294..
2. Цыплаков В.В. О применении устройства для измельчения порубочных остатков при реконструкции защитных лесонасаждений / В.В. Цыплаков, С.В. Фокин // Научное обозрение. – 2011. – № 5. – С. 253-257..
3. Фокин С.В. О конструктивных особенностях дисковой рубительной машины для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : Материалы VII Международной научно-практической конференции, Саратов, 17-19 марта 2020 года. – Саратов: Амирит, 2020. – С. 390-393.
4. Фокин С.В. Об основных видах энергетической древесины / С.В. Фокин, О.А. Фомина // В сборнике: Forest Engineering. материалы научно-практической конференции с международным участием. 2018. – С. 273-276.
5. Фокин С.В. Технические средства, применяемые при очистке вырубок от отходов лесосечных работ / С.В. Фокин, А.В. Храмченко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 9-2(20-2). – С. 280-283.
6. Фокин С.В. Моделирование машины для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин // Научное обозрение. 2011. № 5. – С. 258-265.
7. Фокин С.В. О проблемах измельчения порубочных остатков на лесосеке / С.В. Фокин, Е.В. Саввин // Лесотехнический журнал. 2011. № 2 (2). - С. 30-31.
8. Фокин С.В. Об использовании древесных отходов при восстановлении защитных лесных полос / С.В. Фокин, О.Н. Шпортько, В.В. Цыплаков // Научная жизнь. 2015. № 6. – С. 134-142.
9. Фокин С.В. Об использовании математических методов моделирования рубительных машин / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Фундаментальные исследования, методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы 17-ой Международной молодежной научно-практической конференции, Новочеркасск, 06-07 сентября 2018 года. – Новочеркасск: Лик, 2018. – С. 158-159.
10. Фокин С.В. Способы транспортирования щепы из рубительных машин / С.В. Фокин, О.А. Фомина // Научная жизнь. – 2018. – № 2. – С. 10-15.

### References

1. Fetyaev A.N. On the Simulation Model of the Process of Grinding Cutting Remnants / A.N. Fetyaev, S.V. Fokin // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2012. – № 2. – pp. 291-294.

2. Tsyplakov V.V. On the Use of a Device for Grinding Cutting Remnants in the Reconstruction of Protective Forest Plantations / V.V. Tsyplakov, S.V. Fokin // Scientific Review. – 2011. – № 5. – pp. 253-257.
3. Fokin S.V. On the Design Features of a Disc Chopper Machine for Grinding Tree Stumps / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Innovations in Environmental Management and Protection in Emergency Situations : Materials of the VII International Scientific and Practical Conference, Saratov, March 17-19, 2020. – Saratov: Amirit, 2020. – pp. 390-393.
4. Fokin S.V. On the main types of energy wood / S.V. Fokin, O.A. Fomina // In the collection: ForestEngineering. materials of the scientific and practical conference with international participation. 2018. – pp. 273-276.
5. Fokin S.V. Technical means used in the cleaning of clearings from logging waste / S.V. Fokin, A.V. Khramchenko // Actual Directions of Scientific Research in the 21st Century: Theory and Practice. – 2015. – Vol. 3, № 9-2(20-2). – pp. 280-283.
6. Fokin S.V. Modeling of a Machine for Chopping Stumps / S.V. Fokin // Scientific Review. 2011. № 5. – pp. 258-265.
7. Fokin S.V. On the problems of grinding logging residues in the logging area / S.V. Fokin, E.V. Savvin // Lesotekhnicheskyy Zhurnal. 2011. № 2 (2). – pp. 30-31.
8. Fokin S.V. On the use of wood waste in the restoration of protective forest belts / S.V. Fokin, O.N. Shportko, V.V. Tsyplakov // Scientific Life. 2015. № 6. pp. 134-142.
9. Fokin S. . On the Use of Mathematical Methods for Modeling Chopping Machines / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Fundamental Research, Methods and Algorithms of Applied Mathematics in Engineering, Medicine, and Economics : Proceedings of the 17th International Youth Scientific and Practical Conference, Novocherkassk, September 6-7, 2018. – Novocherkassk: Lik, 2018. – pp. 158-159.
10. Fokin S.V. Methods of transporting wood chips from chopping machines / S.V. Fokin, O.A. Fomina // Scientific Life. – 2018. – № 2. – pp. 10-15.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ  
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА  
ПОВОРОТА КОЛОННЫ МАНИПУЛЯТОРА АВТОСОРТИМЕНТОВОЗА**

**Хоменко К.Г. Попикова А.В.**

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**RESULTS OF RESEARCH OF WORKING PROCESSES  
OF ENERGY-SAVING HYDRAULIC DRIVE OF MECHANISM OF TURN  
OF COLUMN OF MANIPULATOR OF AUTOMOBILE CARRIAGE**

**Khomenko K.G. Popikova A.V.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* В данной работе приведены результаты исследования энергоёмкости и динамической нагруженности механизма поворота колонны манипулятора автолесовоза на основе разработанной математической модели рабочих процессов и обоснования параметров энергосберегающего гидропривода. С целью уменьшения потребления энергии и снижение динамических нагрузок на лесозаготовительный манипулятор за счет усовершенствования гидропривода разработана методика экспериментальных исследований и изготовлен специальный лабораторный стенд, воспроизводящий работу энергосберегающего гидропривода поворотного механизма колонны.

*Abstract:* This paper presents the results of a study of the energy intensity and dynamic load of the rotation mechanism of the manipulator column of a logging truck based on the developed mathematical model of the working processes and the justification of the parameters of the energy-saving hydraulic drive. In order to reduce energy consumption and dynamic loads on the logging manipulator by improving the hydraulic drive, a method for experimental research has been developed and a special laboratory bench has been created to simulate the operation of the energy-saving hydraulic drive of the rotation mechanism of the column.

*Ключевые слова:* манипулятор, механизм поворота, энергосберегающий гидропривод, эффективность, энергосбережение, рекуперация.

*Keywords:* manipulator, rotary mechanism, energy-saving hydraulic drive, efficiency, energy saving, recovery.

Данная работа посвящена оптимизации энергопотребления и снижению динамических нагрузок в механизме поворота колонны манипулятора автолесовоза. В основе исследования лежит разработанная математическая модель, описывающая рабочие процессы системы, и обоснование параметров специ-

ально разработанного энергосберегающего гидропривода. В качестве объекта исследования выбран механизм поворота колонны серийного лесного манипулятора «Атлант С100», это позволяет получить конкретные результаты, применимые к реальному оборудованию, и оценить эффективность предлагаемых решений на практике.

Предметом исследования является глубокое изучение математической модели процесса поворота колонны, модель учитывает такие критически важные факторы, как объемная жесткость элементов энергосберегающего гидропривода. Особое внимание уделяется теоретическим зависимостям, описывающим давление рабочей жидкости в гидросистеме на разных этапах рабочего цикла. Это позволяет не только понять происходящие процессы, но и предсказать поведение системы в различных условиях эксплуатации, включая экстремальные нагрузки. Точное моделирование объемной жесткости, позволяет учесть влияние сжимаемости масла на динамику системы и более точно спрогнозировать давление в гидросистеме, что в свою очередь, необходимо для выбора оптимальных параметров элементов гидропривода, обеспечивающих как эффективность, так и надежность.

В рамках исследования предлагается принципиально новая конструкция энергосберегающего гидропривода. Ключевое отличие этой конструкции (рис. 1) – наличие двух дополнительных гидроцилиндров рекуперации (10 и 11), соединенных с гидроаккумулятором (18). Эта конструкция позволяет эффективно рекуперировать энергию, которая обычно рассеивается в виде тепла при торможении поворотной колонны (1), установленной на раме (2). При остановке поворота колонны гидролинии (7 и 8) перекрываются, под действием инерционных сил движение колонны продолжается, что приводит к повышению давления в полостях силовых гидроцилиндров (5 и 6), одновременно, избыточное давление возникает и в гидроцилиндрах рекуперации (10 и 11). Благодаря обратным клапанам (15 и 16), рабочая жидкость под давлением перетекает в гидроаккумулятор (18), накапливая энергию и эффективно гася колебания давления в силовых гидроцилиндрах и их гидролиниях, тем самым снижая динамические нагрузки на механизм в целом.

При полностью заряженном гидроаккумуляторе (18) рабочая жидкость перенаправляется через обратный клапан (31) в разгрузочный клапан (29). Это превращает предохранительный клапан (30) в переливной, и насос (33) переходит в режим холостого хода, что снижает потребление энергии насосом, являясь дополнительным фактором энергосбережения [1].

В предлагаемой конструкции механизма поворота колонны манипулятора автосортиментовоза предусмотрена система подпитки гидроцилиндров рекуперации. При повороте вертикального основания в ту или иную сторону в полостях энергосберегающих цилиндров 10 или 11 создается разрежение, и рабочая жидкость из гидробака 22 по линии 21 поступает на вход цилиндров через обратные клапаны 19 или 20.

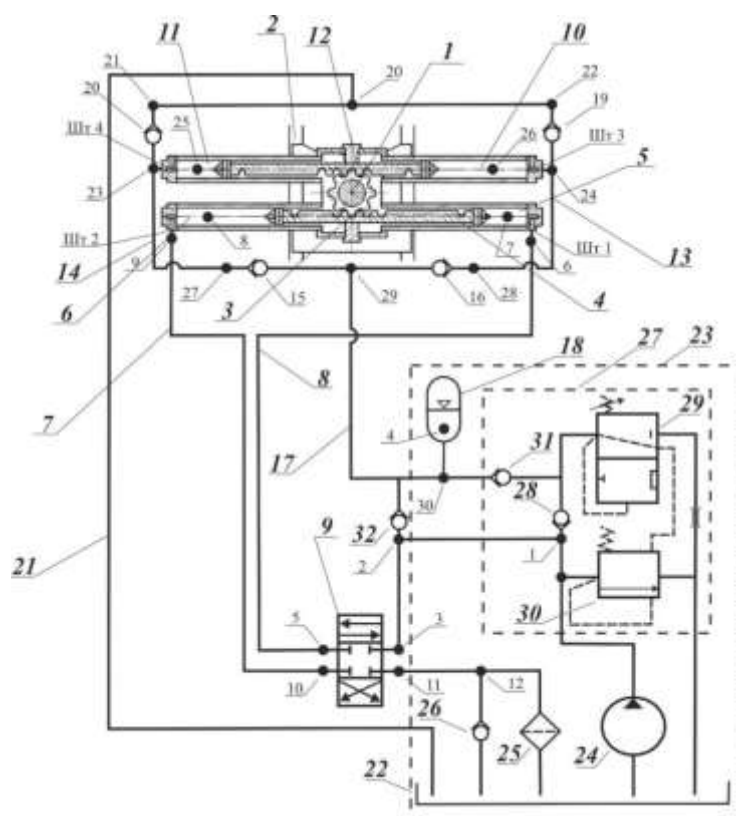


Рисунок 1 – Гидрокинематическая схема энергосберегающего гидропривода механизма поворота колонны манипулятора автосортиментовоза с учетом объемной жесткости энергосберегающего гидропривода

В статье [2] рассмотрена математическая модель рабочего процесса, предлагаемого механизма поворота колонны манипулятора, в которой гидравлическая система манипулятора представлена в виде отдельных полостей (рис. 2). Математическая модель включает дифференциальные уравнения вращательного движения колонны, расходов рабочей жидкости и рабочего процесса гидроаккумулятора. Приведены графики перемещения и скорости поршня гидроцилиндра (рис. 3), из которого видно, что при перемещении поршня начинается через 1,4 с момента включения насоса. В этот момент скорость поршня достигает величины 0,9 м/с, а затем выходит на уровень среднего значения 0,4 м/с.

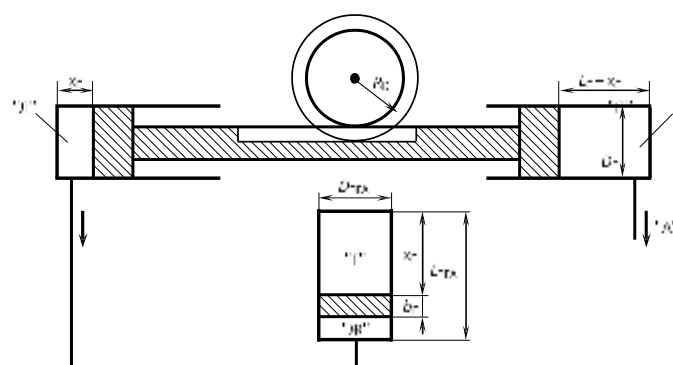


Рисунок 2 – Расчетная схема энергосберегающего гидропривода механизма поворота колонны манипулятора



Для изучения поведения гидропривода [4] выполнен анализ поршневых камер гидроцилиндров. При этом учитывается как наличие, так и отсутствие гидропневмоаккумулятора в гидравлической системе манипулятора ЛВ-210-01 (рис. 4).

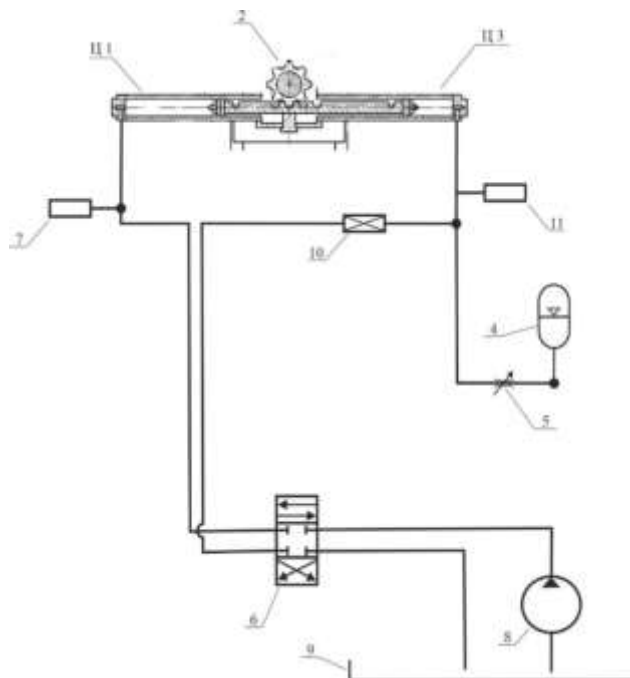


Рисунок 4 – Гидрокинематическая схема лабораторного стенда, включающего гидроманипулятор модели ЛВ-210-01.

Порядок проведения лабораторного эксперимента: включение гидрораспределителя 6 на подачу рабочей жидкости в гидроцилиндр 1 при открытом кране 10 и закрытом дросселе 5, поворот колонны 2 против часовой стрелки на углы поворота ( $60^\circ$ ;  $120^\circ$ ); после каждого поворота распределитель ставится в нейтральное положение, одновременно закрывается кран 10 и открывается дроссель 5. Колонна по инерции в режиме торможения продолжает поворот против часовой стрелки и накапливает энергию в гидроаккумуляторе 4. При полной остановке колонны закрывается дроссель 5. Остановка колебаний груза 10 секунд; открытие дросселя 5, включение распределителя 6 на слив рабочей жидкости из гидроцилиндра 1 в гидробак 9 и измерение угла поворота колонны от гидроаккумулятора 4.

Проведение исследования работы механизма поворота гидроманипулятора предлагается выполнить по методике полнофакторного эксперимента при следующих параметрах: масса груза: 100 кг; вылет стрелы: 1,6 м; 2,7 м; 3,8 м; максимальный угол поворота колонны  $180^\circ$ ; номинальное давление в гидросистеме 20 МПа; номинальный расход рабочей жидкости 26 л/мин; используемый гидрораспределитель Badestnost 5–408; предварительная зарядка гидроаккумулятора 5 МПа. Измерение давлений в гидроцилиндрах Ц1 и Ц3 проводится при пошаговом повороте колонны на угол  $30^\circ$ . Гидроцилиндр 3 выполняет функцию гидроцилиндра рекуперации.

Результаты анализа исследований дают понять, что использование энергосберегающего гидропривода позволяет снизить энергопотребление при повороте колонны на 25% и увеличить производительность всего манипулятора на 14%. Кроме того, использованный в системе гидроаккумулятор способен накапливать энергию в диапазоне от 1,7 до 2,1 кВт. Полученные данные свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований в области динамики энергосберегающих гидроприводов, применяемых в грузоподъемных механизмах высоконагруженных лесотранспортных машин.

### Список литературы

1. Моделирование работы механизма поворота колонны манипулятора автосортиментовоза с учетом объемной жесткости энергосберегающего гидропривода / А.Т. Рыбак, П.И. Попиков, Д.Ю. Дручинин [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14, № 2(54). – С. 280-294. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/16.

2. Analysis of studies of work processes of energy-saving hydraulic drives and devices of highly loaded technological machines and equipment / P.I. Popikov, I.V. Derpasko, K.G. Khomenko [et al.] // E3s web of conferences : International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2023), Blagoveshchensk, 08-10 ноября 2023 года. Vol. 462. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – P. 01039. – DOI 10.1051/e3sconf/202346201039.

3. Попиков П.И. Стенд для испытаний грузоподъемных механизмов лесных маманипуляторов с рекуперацией энергии/ П.И. Попиков, А.В.Конюхов, С.К.Попиков [и др.] // В сборнике: Энергоэффективность и энергосбережение в



современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Воронеж, 2022. с. 105-110.

4. Драпалюк М.В. Моделирование рабочего процесса гидравлического пульсатора манипулятора лесных машин / М.В. Драпалюк, А.А. Платонов, П.И. Попиков // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15, № 2(58). – С. 191-206. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2025.2/12.

### References

1. Modeling the operation of the rotation mechanism of the manipulator column of a timber truck taking into account the volumetric rigidity of the energy-saving hydraulic drive / A.T. Rybak, P.I. Popikov, D.Yu. Druchinin [et al.] // Forestry journal. – 2024. – Vol. 14, № 2 (54). – pp. 280-294. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/16

2. Analysis of studies of work processes of energy-saving hydraulic drives and devices of highly loaded technological machines and equipment / P.I. Popikov, I.V. Derepasko, K.G. Khomenko [et al.] // E3s web of conferences : International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2023), Blagoveshchensk, 08-10 ноября 2023 года. Vol. 462. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – P. 01039. – DOI 10.1051/e3sconf/202346201039.

3. Popikov P.I. Test rig for lifting mechanisms of forestry manipulators with energy recovery / P.I. Popikov, A.V. Konyukhov, S.K. Popikov [et al.] // In the collection: Energy efficiency and energy saving in modern production and society. Proceedings of the international scientific and practical conference. Voronezh, 2022. pp. 105-110.

4. Drapalyuk M.V. Modeling the working process of the hydraulic pulsator of the manipulator of forest machines / M.V. Drapalyuk, A.A. Platonov, P.I. Popikov // Forestry journal. – 2025. – Vol. 15, № 2 (58). – pp. 191-206. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2025.2/12.

## **ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕЖЕЛАТЕЛЬНУЮ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ В ОХРАННЫХ ЗОНАХ ТРАСС ВЛ**

**Шадрина Е.Л., Богданова Л.Н.**

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия*

## **DISTINCTIVE FEATURES OF METHODS OF INFLUENCE ON UNWANTED VEGETATION IN PROTECTION ZONES OF OVERHEAD LINES**

**Shadrina E.L., Bogdanova L.N.**

*Military Education and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky  
and Y.A Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia*

*Аннотация:* Удаление нежелательной растительности в полосах отвода трасс ВЛ сопряжено с необходимостью предусмотреть развитие всех негативных последствий таких работ. В статье рассматривается сравнительный анализ химического и механического методов борьбы на указанных территориях.

*Abstract:* Removal of unwanted vegetation in the right-of-way of overhead power lines is associated with the need to foresee the development of all negative consequences of such work. The article examines a comparative analysis of chemical and mechanical methods of control in the specified areas.

*Ключевые слова:* нежелательная растительность, охранные зоны, удаление, метод воздействия, характеристики.

*Keywords:* unwanted vegetation, protected areas, removal, method of action, characteristics.

В настоящее время продолжает оставаться актуальным вопрос надлежащего содержания охранных зон трасс высоковольтных линий электропередачи в части удаления с их территорий нежелательных деревьев и кустарников [1, 2]. Произрастание нежелательной растительности оказывает негативное влияние на производственный процесс (передачу электроэнергии). При этом основной задачей управления растительностью в электроэнергетике является избирательный контроль тех древесных растений, которые способны вырастать достаточно высокими, чтобы мешать проводникам электрической энергии (проводам), а также препятствовать доступу к опорам линий электропередач (рис. 1) с целью их осмотра и/или ремонта [3, 4]. Указанная высокорослая «целевая растительность» (для ее удаления) идентифицируется по характеристикам роста растений

[5] в зависимости от ее расположения на полосе отвода (охранной зоне) для передачи или распределения электроэнергии.



Рисунок 1 – Заросшие опоры ЛЭП

К нежелательным видам относятся деревья, а также высокие зрелые кустарники. Деревья – это древесные растения, обычно вырастающие в высоту 8 метров и более, обычно с одним стволом, неветвящиеся на высоте от одного метра над землей и с определенной кроной. Высокие созревающие кустарники – это древесные растения, достигающие высоты более 5 метров, но менее 8 метров в высоту и имеющие обычно кустистый вид из-за их нескольких прямостоячих раскидистых или распростертых стеблей. К нежелательным видам деревьев относятся, например, тополь, сосна и клен, которые способны вращать в опоры и достигать проводов. Высокие зрелые кустарники включают, например, ольху и крушину. Отдельное внимание необходимо уделять древесным лозам, таким как дикий виноград, произрастание которых также должно контролироваться, виду их способности к «лазанию» по конструкциям, столбам и растяжкам.

Желательные виды включают низкорослые кустарники, папоротники и низкорослые травы. В целом низкорослые кустарники – это древесные растения, обычно не превышающие 5 метров в высоту и имеющие в общем кустистую форму.

В некоторых случаях, например, во дворах электростанций, существует нулевая терпимость к любой растительности, и вся растительность (как древесная, так и кустарниковая) на этих участках подлежит удалению.

Комплексный подход к удалению растительности в охранных зонах трасс ВЛ сводит к минимуму использование гербицидов за счет сбалансированного сочетания агротехнических приемов, механического воздействия и тщательно спланированной программы первоначального и последующего химического контроля.

В современных методах, а также проверенных временем методах удаления растительности [6, 7] основное внимание уделяется защите здоровья и безопасности людей, а также предотвращению необоснованного неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Контроль растительности запланирован та-

ким образом, чтобы охранная зона трасс ВЛ поддерживалась по мере необходимости для обеспечения целостности электрической системы.

При борьбе с нежелательной растительностью с применением химических методов гербициды могут наноситься, например, на листья отдельных нежелательных растений. Нанесение обычно производится с помощью ручных или моторизованных «рюкзачных» опрыскивателей низкого давления. Поскольку при методе «малого объема листвы» используется меньше смеси гербицидов, чем при «лиственном» методе, смесь содержит более высокую концентрацию гербицида. Однако на целевые растения наносят равное количество активного ингредиента, чтобы поддерживать минимальную дозу метки гербицида для борьбы с целевыми растениями. Такой способ полезен в целом и для отдельных целей (растительности) высотой менее 5 метров, а также там, где рельеф местности не позволяет использовать тяжелое оборудование, например трактора. К отрицательным сторонам такого метода относится ограниченный сезон его применения (так называемый «лиственный» сезон), зависит от погоды, эффективность теряется в районах с высокой плотностью нежелательной растительности, характеризуемой её густотой.

Метод нанесения гербицида на свежесрезанный пенёк (пенек, в зависимости от изначально произраставшей растительности) применяется в местах, доступных для больших моторизованных транспортных средств, особенно в районах с высокой плотностью и/или высокими нежелательными экземплярами растительности. Гербицид наносится непосредственно на камбий свежесрезанных пней. Наносить можно с помощью ручного распылителя, ручного распылителя или кисти. Обычно выполняется в сочетании с ручной или механической резкой. К достоинствам такого метода относится возможность его круглогодичного осуществления, надежность восстановления контроля над растительностью на подведомственных участках. Кроме того, снос распыла незначительный или отсутствует, визуальный эффект отсутствует (нет затемнения подвергнутой воздействию химии остатков растительности).

В отличие от вышеописанных методов, при удалении нежелательной растительности методом срезания воздействие на деревья или кустарники осуществляется механическим способом с помощью машины (например, трактора) с закрепленным на манипуляторе режущей головкой (рис. 2), при этом указанная машина может перемещаться на пневматическом ходу или гусеницах. К отрицательным сторонам такого воздействия можно отнести иногда плохое визуальное последующее восприятие результатов работ (например, остались обломки и искривленные корни/стебли) [8]. Кроме того, такой метод мало применим на каменистых, холмистых или влажных участках, имеет тенденцию быть не избирательным (подрезает желательные сорняки/кустарники/травы), устраняет среды обитания диких животных, фактически не контролирует корневую систему, способствует агрессивному повторному прорастанию посредством самопроизвольного размножения от корней.



Рисунок 2 – Расчистка просеки ЛЭП в Западной Якутии от растительности

Аналогично, механическое воздействие на нежелательную растительность в охранных зонах трасс ВЛ, но посредством ручной резки может использоваться в труднодоступных, жилых и холмистых (с уклонами) зонах (рис. 3). Целевая (нежелательная) растительность срезается механически с помощью пилы (ручной или бензопилы), иных ручных инструментов (кусторезов) [9]. К плюсам относится круглогодичность проведения, большая избирательность. Отрицательными сторонами такого воздействия является его трудоемкость, высокая стоимость, отсутствие контроля корневой системы, способствует агрессивному повторному прорастанию срезанной растительности.



Рисунок 3 – Ручное удаление растительности в охранных зонах трасс ВЛ

Программы ручного воздействия на растительность или ее скашивания посредством тракторов требуют многократной повторной очистки деревьев и кустарников из-за повторного прорастания с единовременными затратами примерно в 1...5 раз больше, чем при одном применении гербицидов. Этот множитель затрат дополнительно усугубляется тем, что обрезку необходимо проводить в 2...3 раза чаще, чем выборочную обработку гербицидами [10]. Несмотря

на то, что при определенных условиях (например, на ограниченных уязвимых территориях, когда погода неподходящая и когда древесная растительность слишком высока для эффективной обработки гербицидами) это оправдано, высокая стоимость вырубki в расчете на гектар, отсутствие контроля повторного возобновления растительности и необходимость более частого технического обслуживания технических средств снижает долгосрочную экономическую эффективность рубки без обработки гербицидами.

Еще одним методом воздействия на нежелательную растительность в охранной зоне трасс ВЛ является метод проведения культурных практик. По такому методу осуществляется целенаправленное развитие стабильных низкорослых сообществ с местной растительностью для предотвращения появления нежелательных деревьев, кустарников и инвазивных видов. Использование такого метода оправдано в любой области, где комплексное воздействие на растительность может привести к эффективному результату по контролю произрастания нежелательной целевой растительности. Применение метода культурных практик приводит к меньшему уходу в последующие годы и снижает количество гербицидов, необходимых для желаемого уровня контроля.

Таким образом, выполненный сравнительный анализ различных методов воздействия на нежелательную растительность в охранных зонах трасс ВЛ позволяет сделать следующий вывод. Селективное применение гербицидов обеспечивает значительные преимущества в снижении плотности целевой растительности и способствует развитию низкорослых местных растительных сообществ. Долгосрочное сокращение количества деревьев и кустарников может быть достигнуто за счет выборочной обработки только тех нежелательных видов, которые способны мешать проводам и доступу к опорам ЛЭП. Используются гербициды, которые обычно обеспечивают полный контроль как наземной части целевой растительности, так и корневой системы, чтобы предотвратить ее повторное прорастание.

### **Список литературы**

1. Новокрещенов И.М. Проблема зарастания линий электропередач древесно-кустарниковой растительностью / И.М. Новокрещенов, Е.С. Залесова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2019. – № 54. – С. 36-38.
2. Ивашнев М.В. Линии электропередачи как объект защиты от древесно-кустарниковой растительности / М.В. Ивашнев, И.Р. Шегельман // Наука и бизнес: пути развития. – 2013. – № 7(25). – С. 36-39.
3. Платонов А.А. Классификация линейных инфраструктурных объектов: линии электропередачи / А.А. Платонов // Актуальные проблемы современного транспорта. – 2023. – № 1(11). – С. 14-22.
4. Платонов А.А. Обоснование классификационных признаков опор линий электропередачи как объектов произрастания поросли / А.А. Платонов // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2022»): Труды международной научно-практической конференции, Воронеж, 25-27 апреля 2022 года. – Воронеж: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ростовский



государственный университет путей сообщения" в г. Воронеж, 2022. – С. 125-133.

5. Платонов А.А. Оценка видового разнообразия растительности, произрастающей на территориях линейных инфраструктурных объектов Центральной России / А.А. Платонов // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 1(49). – С. 180-193. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/12.

6. Платонов А.А. Вопросы утилизации нежелательной растительности при содержании охранных зон трасс ВЛ / А.А. Платонов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2020. – Т. 1, № 1(31). – С. 95-102.

7. Платонов А.А. Анализ критериев оценки качества работ по удалению нежелательной поросли / А.А. Платонов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 1. – С. 177-181.

8. Платонов А.А. О местах воздействия на нежелательную растительность при её удалении с территорий транспортных инфраструктур / А.А. Платонов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы XVII Международной научно-технической конференции, Вологда, 03 декабря 2019 года / Ответственный редактор Ю.М. Авдеев. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2019. – С. 216-218.

9. Платонов А.А. Ручные средства механизации воздействия на нежелательную поросль в охранных зонах транспортных инфраструктур / А.А. Платонов // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2021. – № 1. – С. 94-98.

10. Свечков В.И. Химические способы борьбы с нежелательной растительностью на линиях электропередачи в Приморском крае / В.И. Свечков, Г.И. Гавренков. – Хабаровск: Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 1999. – 24 с.

## References

1. Novokreshchenov I.M. The problem of overgrowing power lines with trees and shrubs / I.M. Novokreshchenov, E.S. Zalesova // Actual problems of the forest complex. – 2019. – № 54. – pp. 36-38.

2. Ivashnev M.V. Power lines as an object of protection from trees and shrubs / M.V. Ivashnev, I.R. Shegelman // Science and business: development paths. – 2013. – № 7 (25). – pp. 36-39.

3. Platonov A.A. Classification of linear infrastructure facilities: power lines / A.A. Platonov // Actual problems of modern transport. – 2023. – № 1 (11). – pp. 14-22.

4. Platonov A.A. Justification of classification features of transmission line supports as objects of undergrowth growth / A.A. Platonov // Transport: science, education, production («Transport-2022»): Proceedings of the international scientific and practical conference, Voronezh, April 25-27, 2022. – Voronezh: branch of the federal state budgetary educational institution of higher education «Rostov State University of Transport» in Voronezh, 2022. – pp. 125-133.

5. Platonov A.A. Assessment of species diversity of vegetation growing on the territories of linear infrastructure facilities of Central Russia / A.A. Platonov // For-

estry journal. – 2023. – Vol. 13, № 1 (49). – pp. 180-193. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/12.

6. Platonov A.A. Issues of disposal of unwanted vegetation in the maintenance of security zones of overhead power lines / A.A. Platonov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2020. – Vol. 1, № 1(31). – pp. 95-102.

7. Platonov A.A. Analysis of criteria for assessing the quality of work on removing unwanted growth / A.A. Platonov // Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 1. – pp. 177-181.

8. Platonov A.A. On the impact sites on unwanted vegetation during its removal from the territories of transport infrastructures / A.A. Platonov // Actual problems of forest complex development: Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference, Vologda, December 03, 2019 / Editor-in-chief Yu. M. Avdeev. – Vologda: Vologda State University, 2019. – pp. 216-218.

9. Platonov A. A. Manual means of mechanization of the impact on unwanted growth in the security zones of transport infrastructures / A.A. Platonov // History and prospects for the development of transport in the north of Russia. – 2021. – № 1. – pp. 94-98.

10. Svechkov V.I. Chemical methods of combating unwanted vegetation on power lines in Primorsky Krai / V.I. Svechkov, G.I. Gavrenkov. – Khabarovsk: Far Eastern Research Institute of Forestry, 1999. – 24 p.



Научное издание

СОВРЕМЕННЫЙ ЛЕСНОЙ КОМПЛЕКС СТРАНЫ: ИННОВАЦИОННЫЕ  
РАЗРАБОТКИ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы Всероссийской научно-практической конференции

Воронеж, 25 сентября 2025 г.

Ответственный редактор А.А. Платонов

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано к изданию 24.10.2025. Объем данных 9,93 Мб  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова»  
ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8