

На правах рукописи



Петков Александр Федорович

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ТРЕХСТУПЕНЧАТОГО РОТОРА-МЕТАТЕЛЯ
ЛЕСОПОЖАРНОЙ ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и
переработки древесины (технические науки).

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»).

Научный руководитель: **Драпалюк Михаил Валентинович** - доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Григорьев Игорь Владиславович** – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», кафедра технология и оборудование лесного комплекса, профессор.

Ступников Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, ООО «ТД Вартон», конструкторское бюро, ведущий конструктор

Ведущая организация: Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (г. Пушкино).

Защита состоится 06.10.2023 г. в 11-30 часов на заседании диссертационного совета 24.2.285.01 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, зал заседаний – аудитория 146.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова https://vgltu.ru/files/FILES_UMI/Nauka/DissSovet/sovets24.2.285.01/Petkov/dissertaciya_petkov_a_f.pdf

Автореферат разослан « ___ » августа 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Платонов Алексей Дмитриевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Ежегодная статистика лесных пожаров, возникающих в разных странах, показывает нерешённые задачи и актуальность борьбы с неконтролируемыми лесными пожарами. Наиболее распространёнными противопожарными барьерами являются минерализованные полосы, Минерализованные полосы создаются почвообрабатывающими орудиями: плугами (ПКЛ-70, ПЛП-135), лесными фрезами, бульдозерами, полосопрокладывателями (ПЛ-3, ПФ-1), тракторными навесными и ручными грунтометами (ГТ-3). Основным рабочим органом грунтометательных машин, выполняющим фрезерование и метание потока почвогрунта в заданном направлении, является фрезерный рабочий орган. Но существующие фрезерные рабочие органы не позволяют создавать противопожарную полосу требуемой ширины с равномерным распределением грунта по толщине слоя и доставлять необходимое количество почвогрунта к кромке лесного низового пожара. Необходима разработка грунтометательной машины с комбинированным ротором-метателем, способным доставлять необходимый объем почвогрунта за счёт разделения уровней забора из разных пластов.

Для обоснования параметров ротора-метателя требуется проведение теоретических и экспериментальных исследований с учётом физико-механических свойств почвогрунта, взаимодействующего с рабочими плоскостями ротора-метателя. Представленная диссертация является востребованной и актуальной.

Диссертационные исследования проводились согласно госбюджетной теме кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТУ: «Разработка технологий и техники для лесовосстановления и защиты лесов от пожаров с обоснованием типа и параметров рабочих органов проектируемых машин на основе цифровых методов моделирования», сроки выполнения с 2021 по 2025 гг., а также гранта РФФИ «Аспиранты» «Развитие научных основ создания комбинированных роторов-метателей лесопожарных грунтометательных машин», сроки выполнения с 2020 по 2022 гг.

Степень разработанности проблемы. Рабочие процессы лесопожарных машин и орудий исследованы в работах И.М. Бартенева, И.В. Григорьева, М.В. Драпалюка, Д.В. Ескова, С.В. Фокина и др. Установлено, что существующие однорядные рабочие органы не способны обеспечить достаточным количеством почвогрунта потребность при ликвидации кромки открытого огня и предотвращения процессов горения. Комбинированный рабочий орган, состоящий из установки нескольких рядов лопаток на дисковых направляющих, позволит увеличить объем поднимаемого почвогрунта и разделить на несколько потоков для обеспечения необходимой ширины. Создание экспериментального образца возможно только после теоретического подтверждения работоспособности разрабатываемого агрегата с учётом физико-механических свойств почвы.

Целью работы является: обоснование параметров и режимов работы трехступенчатого ротора-метателя лесопожарной грунтометательной машины для повышения качества прокладки противопожарных полос.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **задачи**:

1) разработать новую конструкцию лесопожарной машины с трехступенчатым ротором-метателем, обеспечивающим доставку необходимого объема почвогрунта по всей ширине полосы;

2) разработать имитационную модель рабочего процесса трехступенчатого ротора-метателя с учетом его новых конструктивных и технологических параметров;

3) обосновать конструктивные параметры трехступенчатого ротора-метателя и оптимизировать их с учетом параметров технологического процесса.

4) обосновать технологические режимы работы трехступенчатого ротора-метателя и оптимизировать их по критериям качественных показателей прокладки противопожарных полос.

5) провести полевые испытания лабораторного образца лесопожарного грунтомета, и дать оценку технико-экономических показателей при его внедрении на предприятия лесного хозяйства.

Объектом исследования являются конструкция трехступенчатого ротора-метателя, параметры и технологический процесс его работы.

Предметом исследования является кинематика и динамика процесса взаимодействия трехступенчатого ротора-метателя с грунтом.

Научная новизна работы:

1) разработана новая конструкция лесопожарной машины с трехступенчатым ротором-метателем, отличающаяся способностью доставлять необходимый объем почвогрунта по всей ширине полосы за счёт разделения уровней забора из разных пластов подаваемого почвенного пласта;

2) разработана имитационная модель рабочего процесса трехступенчатого ротора-метателя, отличающаяся тем, что в ней учтены новые конструктивные и технологические параметры, а также физико-механические свойства грунта при метании на кромку огня.

3) обоснованы конструктивные параметры трехступенчатого ротора-метателя, отличающиеся рациональными значениями для повышения дальности выбрасывания грунта и общей толщины слоя высыпания.

4) обоснованы технологические режимы работы трехступенчатого ротора-метателя, отличающиеся повышенными значениями качественных показателей прокладки противопожарных полос.

5) результаты полевых испытаний лабораторного образца лесопожарного грунтомета, и оценка технико-экономических показателей при его внедрении на предприятия лесного хозяйства, отличающиеся повышением качества прокладки противопожарных полос.

Теоретическая значимость работы заключается в расширении основных положений теории взаимодействия ротора-метателя с почвогрунтом.

Практическая значимость работы состоит в создании опытного образца лесопожарной грунтометательной машины; разработке рекомендаций по выбору режимов работы и основных конструктивных и технологических параметров трехступенчатого ротора-метателя для его внедрения в производство; разработке программного комплекса, осуществляющего вычислительный экспе-

римент; разработке математической модели рабочего процесса нового трехступенчатого ротора-метателя, позволяющей рассчитывать не только траектории движения грунта в зависимости от конструктивных и технологических параметров ротора-метателя, но и толщину слоя выбрасывания и распределение грунта в слое.

Полученные результаты работы внедрены в Воронежском лесопожарном центре, ООО «Сталь-Синтез» и в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» при подготовке бакалавров и магистров.

Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследования. Теоретические исследования проводились при помощи метода формализованного моделирования конструктивных и технологических параметров ротора-метателя в рамках комплексного подхода с обоснованием ограниченного числа параметров физико-механических свойств почвогрунта. При проведении экспериментальных исследований применялась теория планирования эксперимента, теория вероятности и математической статистики.

Научные положения, выносимые на защиту:

1) разработанная новая конструкция лесопожарной машины с трехступенчатым ротором-метателем, позволяющая доставлять необходимый объем почвогрунта по всей ширине полосы за счёт разделения уровней забора из разных пластов подаваемого почвенного пласта;

2) разработанная имитационная модель рабочего процесса трехступенчатого ротора-метателя, позволяющая учитывать и оптимизировать новые конструктивные и технологические параметры с учетом физико-механических свойств грунта.

3) обоснованные конструктивные параметры трехступенчатого ротора-метателя, позволяющие получить его рациональные конструктивные значения с учетом толщины слоёв высыпания от каждой ступени, дальности выбрасывания грунта и общей толщины слоя высыпания;

4) обоснованные технологические режимы работы трехступенчатого ротора-метателя, позволяющие повысить качественные показатели прокладки противопожарных полос.

5) результаты полевых испытаний лабораторного образца лесопожарного грунтомета, и оценка технико-экономических показателей при его внедрении на предприятия лесного хозяйства, позволяющие повысить качество профилактики и тушения лесных низовых пожаров.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность результатов, представленных в диссертационной работе, обосновывается проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями, высокой степенью сходимости результатов изучения рабочих процессов ротора-метателя, применением современных методов статистической обработки данных.

Основные положения диссертационной работы докладывались на следующих конференциях: международной научно-практической конференции

«Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе» (г. Воронеж, 2020 г.), международной научно-технической конференции «Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества - взгляд в будущее.» (г. Воронеж, 2020 г.), всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием «Повышение эффективности лесного комплекса» (г. Петрозаводск, 2021), Всероссийской научно-практической конференции «Современные ресурсосберегающие технологии и технические средства лесного комплекса.» (г. Воронеж, 2021г.), а также научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова (2020–2022 гг.).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты, полученные при проведении научных исследований, соответствуют п. 5 «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных и лесохозяйственных машин» паспорта научной специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины (технические науки).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследований, разработке конструкции и изготовлении экспериментального образца, планировании и проведении экспериментов, анализе результатов исследований, а также подготовке основных публикаций по теме исследования.

Публикации. Материалы в рамках диссертационной работы были опубликованы в 23 работах, 5 публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК, 11 публикациях по материалам международных и всероссийских конференций, 3 патентах на изобретение, 3 программах для ЭВМ, 1 статье в издании в международной базе цитирования Scopus.

Структура и объем работы. В структуру диссертации входит введение, пять глав основного текста, основные выводы и рекомендации, а также библиографический список и приложения. Общий объем работы составил 133 страницы печатного текста, из них основного текста – 109 страниц, библиографический список и приложения – 24 страницы. Работа включает 78 рисунков, 17 таблиц и 128 использованных источников, 7 из которых – зарубежные.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, научные положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость научных исследований, а также опытно-производственная проверка полученных результатов и их внедрение.

В первой главе дан анализ способов и технических средств для профилактики и тушения лесных низовых пожаров. Установлено, что в лесном хозяйстве перспективными являются лесопожарные грунтометательные машины, обеспечивающие повышение эффективности профилактики и тушения лесных низовых пожаров.

Во второй главе представлено обоснование новой конструктивно-технологической схемы лесопожарной грунтометательной машины (патент на изобретение 2762965 С1, от 24.12.2021) (рисунок 1), на основе которой разработаны расчетная схема (рисунок 2) и математическая модель взаимодействия трехступенчатого ротора-метателя с почвой.

В классической механике основным соотношением при моделировании процессов вращения является уравнение динамики, определяющее угловое ускорение ротора-метателя в зависимости от момента вращения, определяемого конструктивными и технологическими параметрами лесопожарной грунтометательной машины. Рабочий процесс трёхступенчатого ротора-метателя с гидроприводом описывается уравнением вращательного движения и уравнением расхода рабочей жидкости:

$$J_{\text{пр}} \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{вр}} - \frac{1}{3} \mu \omega^2 (R_i^3 - (R_i - h_{\text{мет}})^3) \quad (1),$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1}{K_p} (q_n n_n - q_m \omega - a_y p),$$

где $J_{\text{пр}}$ - приведенный к валу гидромотора момент инерции, кг·м²; t -время, с; q_n , q_m - рабочие объемы насоса и гидромотора, м³/об; p - давление рабочей жидкости, Па; a_y - коэффициент утечек, м³/(с·Па); n_n - частота вращения насоса, с⁻¹; k_p - коэффициент податливости упругих элементов гидропривода, м⁵/(Н·с); R_i - радиус метания грунта, м; $h_{\text{мет}}$ - высота вылета грунта с лопатки ротора, м; μ - коэффициент, определяемый согласованием элементов трёхступенчатого ротора.

В первом приближении, при условии стационарности давления в системе, уравнения (1) решаются аналитически:

$$\omega = \omega_r (1 - (1 - K_\omega t / \omega_0) e^{-K_\omega t}) \quad (3),$$

где $K_\omega = \mu(R^3 - (R - H)^3) / (3J_{\text{пр}})$ определяется сопротивлением грунта и инерцией ротора, а $\omega_r = M_{\text{вр}} \omega_0 / (J_{\text{пр}} K_\omega)$ скоростью стационарного вращения ротора-метателя.

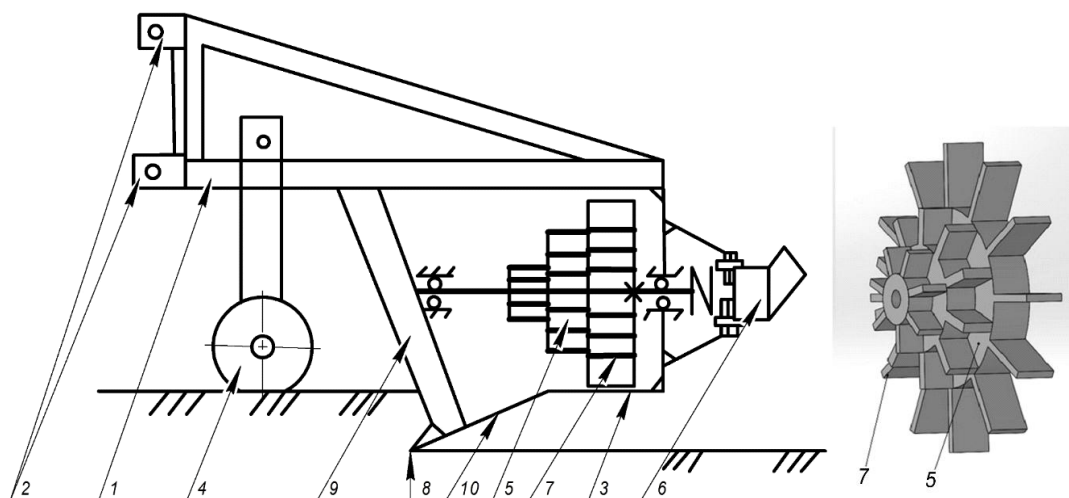
Получено аксиоматическое соотношение для зависимости давления от времени в исследуемой системе:

$$p = \frac{p_1 - p_2 C (1 - e^{-At})}{(1 - C e^{-At})} \quad (4)$$

Был разработан программный комплекс (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021669645, от 01.12.2021.) и проведены вычислительные эксперименты по определению давления в системе для различных значений функциональных параметров гидромотора и гидронасоса (рисунок 3). Результаты экспериментов показали, что время установления практически постоянного давления в системе не превышает 0,01 с, что значительно меньше (практически в 10 раз) времени оборота ротора-метателя (около 0,3 с). Результаты вычислительного эксперимента подтверждают адекватность базовых предположений и позволяют исследовать зависимости скорости вращения ротора-метателя и давления в системе от функциональных факторов гидромотора и насоса.

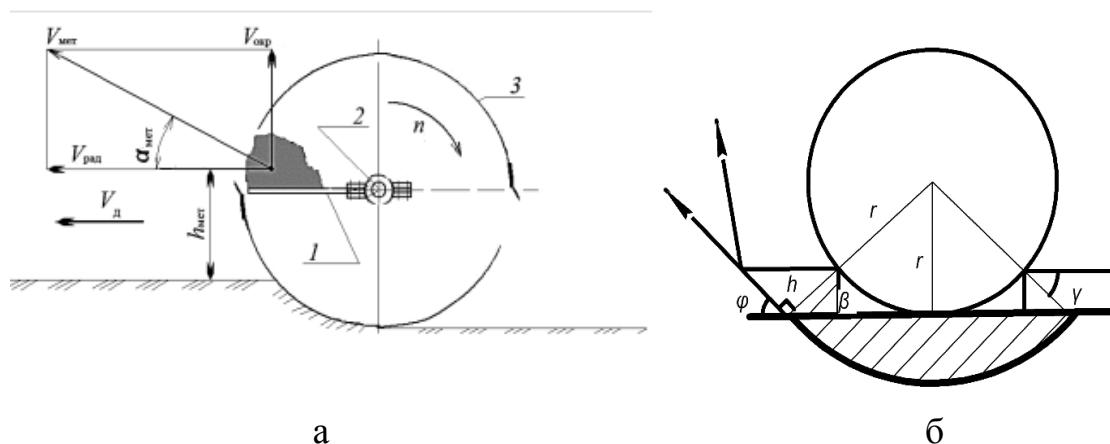
Для расчёта начальных скоростей вылета частиц почвогрунта из траншеи вследствие вращения трехступенчатого ротора-метателя получено выражение:

$$V_i = \frac{\eta_n q_m p \omega_0}{2\pi \eta_0 J_{\text{пр}} K_\omega} \frac{p_1 - p_2 C(1 - e^{-At})}{(1 - Ce^{-At})} (R_i + 0.5L) \quad (5)$$



рама 1, механизм навески 2, кожух-рыхлитель 3, опорные колеса 4, трехступенчатый ротор-метатель 5, гидромотор 6, лопатки 7, скоба с лемехом 8, наклонные ножи 9, лоток-подъемник 10.

Рисунок 1 - Конструктивно-технологическая схема лесопожарной грунтометательной машины.



а - схема рабочего процесса: 1 - лопатка метателя, 2 - вал со ступицей, 3 - кожух (n - частота вращения ротора-метателя); б - моделирование угла вылета почвогрунта при метании

Рисунок 2 - Взаимодействие ротора-метателя с почвенной средой

Дальность метания будет определяться формульным соотношением:

$$S = V_{\text{мет}} \frac{V_{\text{мет}} \sin(\alpha) + \sqrt{(V_{\text{мет}} \sin(\alpha))^2 + 2gh_{\text{мет}}}}{g} \cos(\alpha) \quad (6)$$

Результаты вычислительного эксперимента по определению угла вылета почвогрунта и дальности выбрасывания грунта представлены на рисунках 3 и 4.

Для имитации траектории движения в качестве базовых аксиом выбраны рекуррентные соотношения для координат частиц почвогрунта в дискретные моменты времени t_j . Число дискретных моментов времени определяется шаговым интервалом моделирования (в настоящей реализации программного комплекса эта величина составляет 0,01 с)

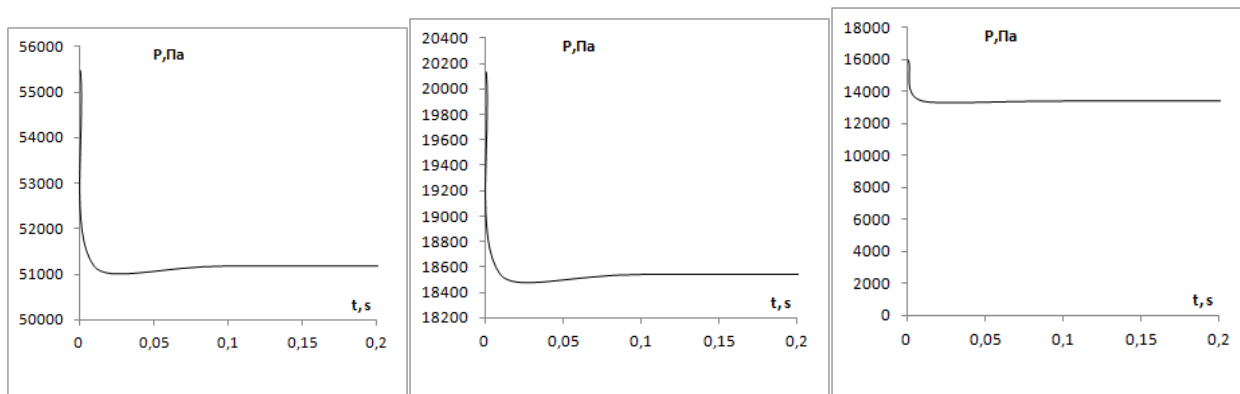
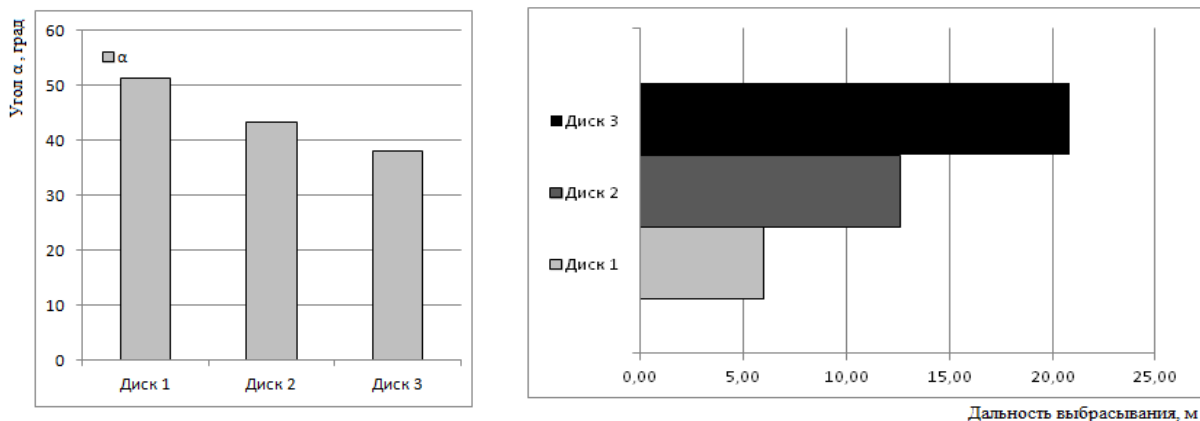


Рисунок 3 - Результаты вычислительного эксперимента по определению значимости объёма гидронасоса, гидромотора и частоты вращения насоса для моделирования давления в системе



а

б

Рисунок 4 - Результаты вычислительного эксперимента по определению угла вылета почвогрунта (а) и дальности выбрасывания грунта (б) с нулевым углом наклона лопатки

$$x_i(t_j) = \begin{cases} V_i t_j \cos(\alpha_i), & \text{при } y(t_{j-1}) > y_{min} \\ x_i(t_{j-1}), & \text{при } y(t_{j-1}) < y_{min} \end{cases}$$

$$y_i(t_j) = \begin{cases} h_i + V_i t_j \sin(\alpha_i) - \frac{gt_j^2}{2}, & \text{при } y_i(t_{j-1}) > 0 \\ 0, & \text{при } y_i(t_{j-1}) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

В этих соотношениях $i=1,2,3$ – номер диска ротора-метателя, соответственно угол и скорость метания почвогрунта моделируются соотношениями:

$$\alpha_i = 0,5\pi - \arcsin\left(\frac{R_i}{(R_i + L \cos(\gamma_i))}\right) \quad (8)$$

$$V_i = \omega(R_i + 0.5L \cos(\gamma_i)) \quad (9)$$

При этом h_i – высота метания для каждого диска определяется согласно конструктивным параметрам ротора-метателя, рассчитанной из величины радиусов ступеней ротора-метателя.

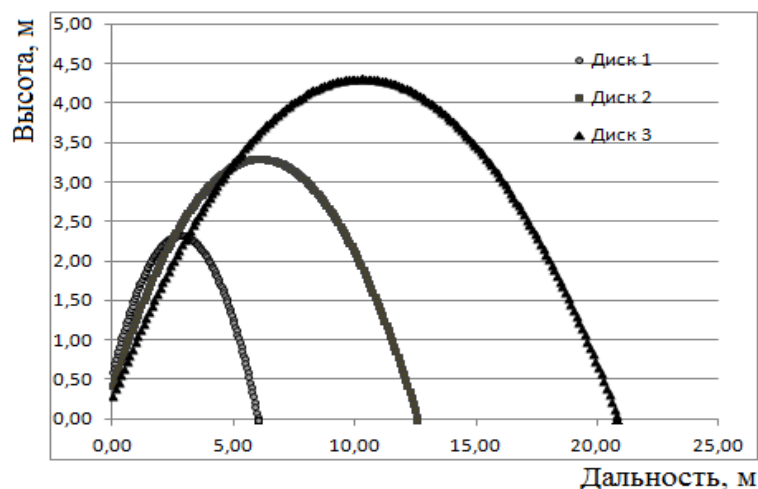


Рисунок 5 - Результаты вычислительного эксперимента по моделированию зависимости траектории движения частиц почвогрунта при нулевом угле наклона лопатки

Вычислительный эксперимент проводился для трех модификаций ротора-метателя. Исходными радиусами для первой ступени были $R_1 = 310$ мм, для второй радиус $R_2 = 330$ мм, для третьей радиус $R_3 = 350$ мм, при этом ступенчатость исходного ротора равна 60 мм, условно обозначен R-60. При увеличении радиусов первой и второй ступеней ротора на 40 мм и 20 мм ступени между дисками становились соответственно 20 мм и 40 мм (R-20, R-40). На рисунке 6 представлено распределение дальностей выброса грунта от дисков ротора метателя и ширины полосы.

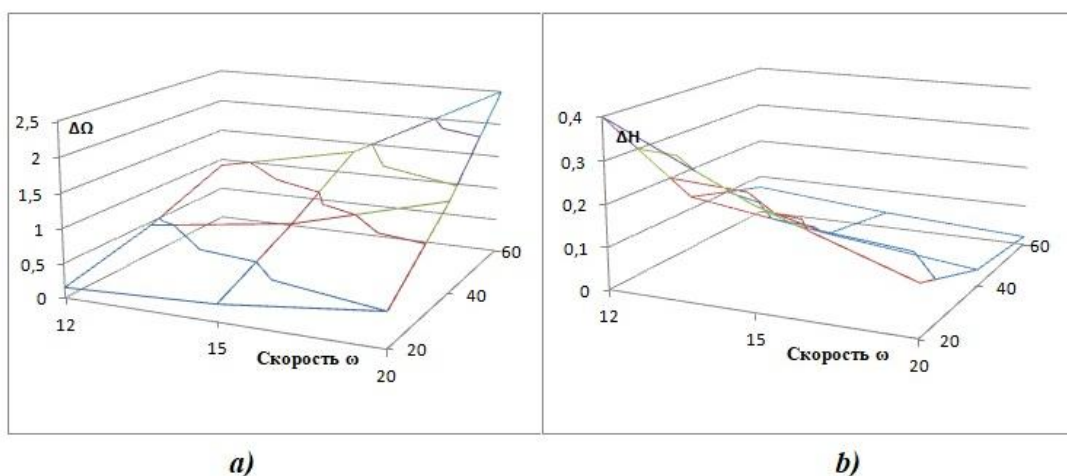


Рисунок 6 - Ширина полосы грунта и толщина слоя для модификаций R-20, R-40, R-60.

Для выбора оптимальной конструкции ротора метателя и величины угло-

вой скорости вращения в виду комплексности критерия эффективности (кучности и дальности) было принято решение использовать многокритериальный метод сравнения альтернатив. Параметрами выбора оптимальной конструкции ротора метателя были выбраны дальность полета грунта, ширина полосы выброса ($\Delta\Omega$) и высота выбрасываемого грунта (ΔH), поскольку перед разработчиками стояла задача кучного выброса грунта на наиболее дальнее расстояние.

Полнофакторный эксперимент проводился для трех модификаций ротора-метателя с размерами между лопаток 20мм, 40мм и 60мм (R-20, R-40, R-60). В результате сравнительного анализа альтернатив выявлено, что оптимальным выбором конструктивного решения будет модификация ротора метателя R-40 при условии его вращения со скоростью 20 об/с.

В третьей главе представлена методика лабораторных исследований, предусматривающая проведение серии экспериментов в 10-кратной повторности по оценке влияния угла наклона лопаток фрезы-метателя γ на величину давления в гидросистеме и объем метаемого почвогрунта. В процессе полевых исследований предусматривалось:

- проверка работоспособности гидропривода лесопожарной грунтометательной машины в производственных условиях.
- получение зависимостей дальности полета грунта, ширины полосы выброса ($\Delta\Omega$) и высоты выбрасываемого грунта (ΔH) от радиуса ступеней ротора и скорости вращения, поскольку стояла задача кучного выброса грунта на наиболее дальнее расстояние метания.

Разработан и изготовлен экспериментальный образец лесопожарной грунтометательной машины в лаборатории ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова при поддержке ООО «Сталь-Синтез». При лабораторном эксперименте запись давления рабочей жидкости машины происходила при помощи датчика давления



Рисунок 7 - Новая конструкция грунтометательной машины в агрегате с трактором Т-150К на полевых испытаниях

и тензометрической станции ZetLab (измерительная тензометрическая система ZET 058), под кожухом лабораторной установки находился резервуар, предназначенный для сбора метаемого почвогрунта. Для полевых исследований ротора-метателя грунта лабораторная установка была смонтирована на заднюю навеску трактора Т-150К (рисунок 7).

Гидромотор привода ротора-метателя был подсоединен к гидросистеме трактора.

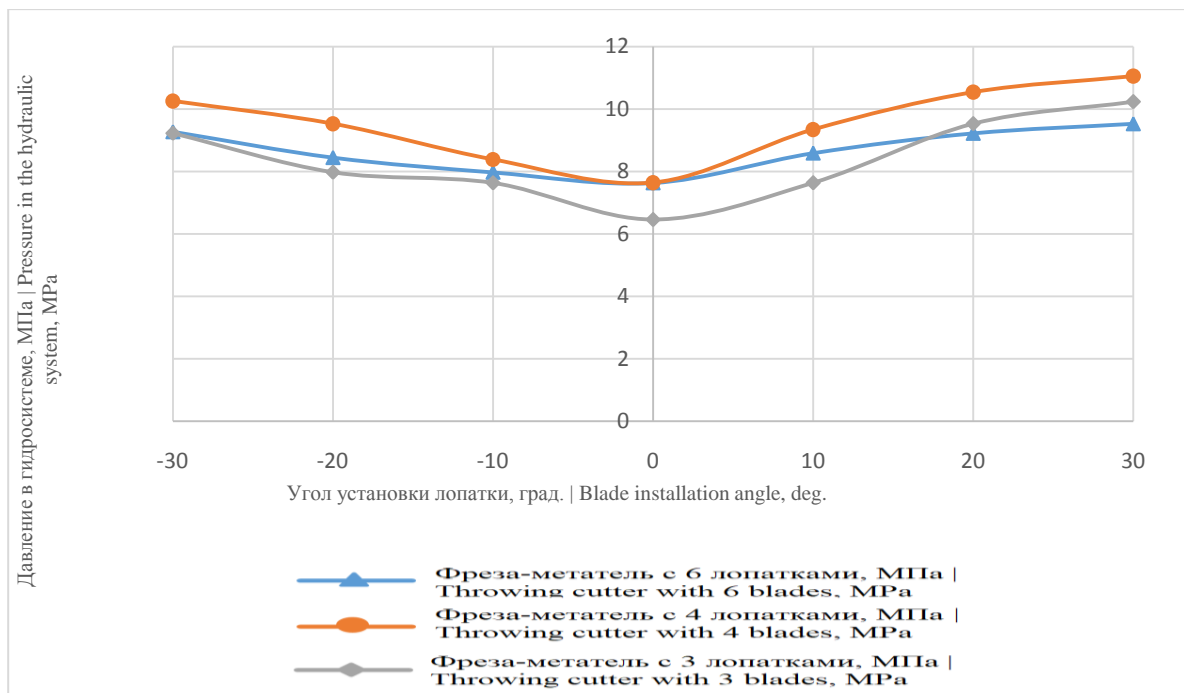


Рисунок 8 - Изменение величины давления в гидроприводе фрезы-метателя с 6, 4 и 3 лопатками в зависимости от угла установки лопаток

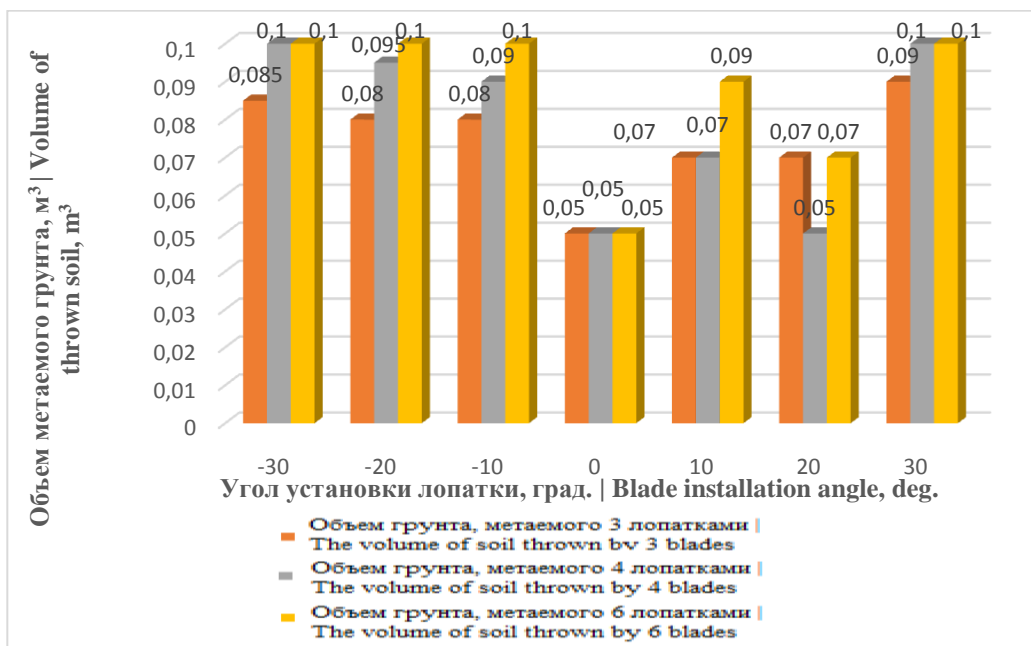


Рисунок 9 - Гистограмма зависимости объёма метаемого почвогрунта фрезой-метателем с 6, 4 и 3 лопатками от угла их установки

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований новой конструкции грунтометательной машины. При проведении лабораторных исследований дана оценка величины давления рабочей жидкости P в гидроприводе ротора-метателя с различным числом лопаток от угла их установки γ . Три графика совмещены на одной координатной плоскости (рисунок

8). Полученные данные по объему метаемого грунта ротором с различными углами наклона лопаток представлены в виде гистограммы (рисунок 9).

Оптимальным значением угла установки лопаток γ является -10° по объему метаемого грунта $0,1 \text{ м}^3$ с шестью лопатками на роторе-метателе, однако по энергозатратам оптимальным углом наклона лопаток для всех модификаций ротора является 0° .

В результате анализа данных вычислительного эксперимента методом многокритериального сравнения альтернатив выявлено, что оптимальным выбором конструктивного решения ротора метателя будут модификации ротора метателя R40 со скоростью вращения 15 об/с или R20 со скоростью вращения 20 об/с. Однако, анализ данных полевых испытаний этим же методом однозначно определяет оптимальный вариант как модификация ротора метателя R40 со скоростью вращения 15 об/с (рисунок 10 и 11). Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические исследования с расхождением менее 10 %.

В пятой главе определена технико-экономическая эффективность экспериментального образца. Годовой экономический эффект от внедрения новой грунтометательной машины с трехступенчатым ротором-метателем составит 826067 руб. Срок окупаемости – 0,15 года.

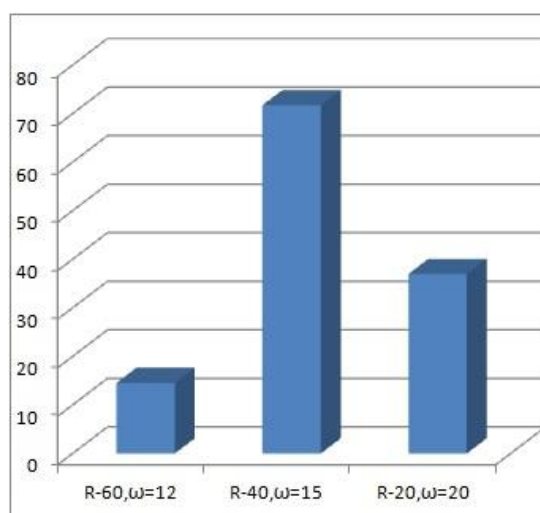
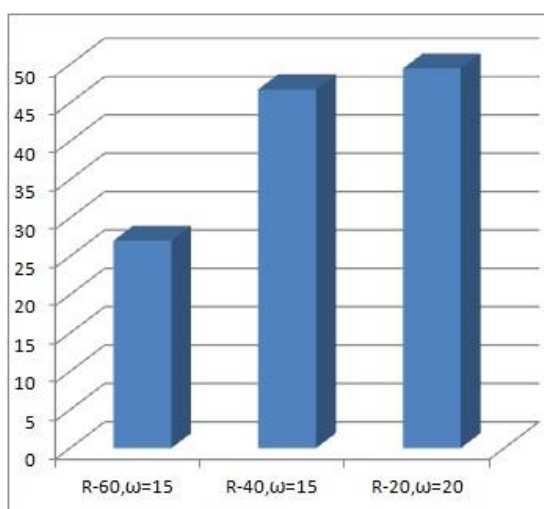


Рисунок 10 - Результат сравнения альтернатив по данным вычислительного эксперимента

Рисунок 11 - Результат сравнения альтернатив по данным полевых испытаний

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В ходе исследования рассмотрены причины возникновения и меры, применяемые для борьбы и предотвращения лесного пожара. Рассмотрены конструкции существующих агрегатов и фрез-метателей, в частности, а также проведён анализ научных трудов в области исследования. Для защиты от лесных пожаров высокоэффективными являются агрегаты с активными рабочими органами, но существующее фрезерные рабочие органы не позволяют доставлять необходимое количество почвогрунта к кромке лесного низового пожара. Разработана новая грунтометательная машина с

трехступенчатым ротором-метателем, способным доставлять необходимый объем почвогрунта за счёт разделения уровней забора из разных пластов.

2. Разработаны математическая модель рабочего процесса трехступенчатого ротора-метателя и программный комплекс, позволяющий рассчитывать траектории полета грунта на основании конструктивных и технологических параметров ротора метателя, а также распределение грунта в слое.

3. Определены траектории полета грунта и дальность выброса от каждого диска ротора при радиальном положении лопаток. Для изменения дальности выброса и уменьшения разброса грунта были определены углы установки лопаток относительно радиального положения. При однородном грунте вероятностный вес числа частиц при $\Delta\alpha=10^\circ$ максимален при углах метания $\alpha_i+\Delta\alpha_i$. Причём при таком сценарии большая часть грунта выбрасывается средним диском по траектории с максимальной дальностью. Неоднородность грунта в модели комбинированным углом разброса по дискам. От конструктивных параметров ротора зависит объем грунта, выбрасываемый каждым из дисков. При заданных геометрических размерах ротора большая часть грунта выбрасывается третьим, самым большим диском, а меньшая – первым. Согласно вычислениям более 30% грунта выбрасывается на расстояние 10,4-11,2 м.

4. Разработан и изготовлен экспериментальный образец новой грунтометательной машины с трехступенчатым ротором-метателем на основе конструктивно-технологической схемы новизна, которой подтверждена патентом на изобретение «Лесопожарная грунтометательная машина» : № 2762965С1 от.24.12.2021. Проведены лабораторные и полевые исследования с применением метода полнофакторного эксперимента и современного тензометрического оборудования с использованием датчиков давления и измерительной тензометрической системы ZetLab ZET 058.

5. Независимо от числа установленных лопаток минимальное давление в гидросистеме привода наблюдается при угле установки лопаток $\gamma = -10^\circ$, который принимаем как оптимальный. Скачки давления в гидроприводе минимальны при установленных 6 лопатках, привод работает более плавно. Это объясняется постоянным контактом лопаток с грунтом. Выбрасываемый ротором объем грунта больше, чем необходимый для локализации огня. При необходимом $0,06 \text{ м}^3$ ротор с 3 лопатками выбрасывает $0,08 \text{ м}^3$, с 4 лопатками $0,09 \text{ м}^3$ и $0,1 \text{ м}^3$ с 6 лопатками. По результатам опытов выявлено, что оптимальным углом установки лопаток по критерию минимального давления в гидроприводе будет $\gamma = -10^\circ$ и рационально установить 6 лопаток, поскольку при этом минимизированы скачки давления в гидроприводе, более плавная работа гидропривода и максимальный объем выбрасываемого грунта. Однако, по критерию минимальных энергозатрат оптимальным углом установки лопаток будет $\gamma = 0^\circ$.

6. На основе многокритериального метода сравнения альтернатив были выбраны критерии, к которым относятся: высота насыпи в полосе выброса, ширина полосы выброса (кучность) и дальность выброса грунта от первого диска. Приоритетным критерием был выбран критерий высоты насыпи, поскольку вычислительный эксперимент адекватен, если ее величина лежит в

интервале от 0,07 до 0,2 м. Вторым по значимости критерием была выбрана кучность или минимизация ширины полосы выброса грунта. Для модификаций ротора R-20 и R-40 оптимальной скоростью вращения является 20 об/с, для R-60 оптимальной скоростью вращения является 15 об/с. В результате сравнительного анализа выявлено, что оптимальным выбором конструктивного решения будет модификация ротора метателя R-40 со скоростью вращения 20 об/с. Годовой экономический эффект от внедрения новой грунтометательной машины с трехступенчатым ротором-метателем составит 826 067 рублей, срок окупаемости 0,15 года.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

В изданиях, входящих в базы данных Scopus

1. Gnusov M.A. Simulation of layout schemes of soil-throwing machine-tractor units based on articulated load-bearing machines/Gnusov M.A., Drapalyuk M.V., Lysych M.N., Druchinin D.YU., Petkov A.F.// в сборнике: iop conference series: materials science and engineering. krasnoyarsk science and technology city hall of the russian union of scientific and engineering associations. krasnoyarsk, russia, 2020. с. 32023.

В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

2. Попиков П.И. Влияние режимов работы лесопожарной грунтометательной машины с гидроприводом на показатели эффективности/П.И. Попиков, В.П. Попиков, А.В. Шаров, А.Ф. Петков, А.К. Поздняков// Лесотехнический журнал. 2020. т. 10. № 1 (37). с. 209-217.

3. Бартенев И.М. Математическая модель рабочего процесса ротора-метателя лесопожарной грунтометательной машины/И. М. Бартенев, А.Ф. Петков, Н.С. Камалова//Лесотехнический журнал. 2021. т. 11. № 1 (41). с. 172-180.

4. Драпалюк М.В. Оптимизация формализованной модели ротора-метателя лесопожарной грунтометательной машины к условиям тушения М.В. Драпалюк, Н.С. Камалова, А.Ф. Петков/Системы. методы. технологии// 2022. № 2 (54). с. 119-124.

5. Драпалюк М.В. Экспериментальная оптимизация параметров фрезы-метателя лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя. М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, П.Э. Гончаров, Д.Ю. Дручинин, М.А. Гнусов, Е.В. Поздняков, А.Ф. Петков/ Лесотехнический журнал. 2022. т. 12. № 2 (46). с. 100-114.

6. Попиков П.И. Исследование влияния параметров шнекового барабана лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя на качество очистки потока грунта от напочвенного покрова/П.И. Попиков, А.К. Поздняков, М.А. Гнусов, А.Ф. Петков//Лесотехнический журнал. 2022. т. 12. № 2 (46). с. 126-134.

7. Драпалюк М.В. Результаты имитационного моделирования рабочего процесса ротора-метателя лесопожарной грунтометательной машины/М.В. Драпалюк, А.Ф. Петков, А.К. Поздняков//Лесотехнический журнал. 2022. т. 12. № 2 (46). с. 89-99.

В патентах, свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ

8. Патент на изобретение 2762965 С1, Российская Федерация, МПК E02 F 3/18 Лесопожарная грунтометательная машина-полосопрокладыватель [Текст] / Бартенев Иван Михайлович, Попиков Петр Иванович, Петков Александр Федорович, Поздняков Антон Константинович, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова». заявка № 2021121717 от 21.07.2021; опубл. 24.12.2021

9. Патент на изобретение №2762160 с1, Российская Федерация, МПК E02 F 3/18 Лесопожарный грунтомет-полосопрокладыватель [Текст] /Попиков Петр Иванович, Бартенев Иван Михайлович, Поздняков Антон Константинович, Лысыч Михаил Николаевич, Попиков Виктор Петрович, Петков Александр Федорович заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова». заявка № 2021117044 от 10.06.2021; опубл. 16.12.2021

10. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020617382, Российская Федерация. Программа для моделирования движения потока почвогрунта в воздушной среде/ М.А. Гнусов, М.В. Драпалюк, В.В. Посметьев, А.Ф. Петков: заявка № 2020616439 от 22.06.2020. опубл. от 06.07.2020.

11. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021669645, Российская Федерация. Программный комплекс для моделирования траектории движения частиц почвогрунта в процессе работы лесопожарной грунтометательной машины, снабженной многоступенчатым ротором-метателем/ М.В. Драпалюк, Н.С. Камалова, М.А. Гнусов, А.Ф. Петков: заявка № 2021669306 от 01.12.2021. опубл. от 01.12.2021.

12. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022668756, Российская Федерация. Программа для оптического определения характеристик направленного потока почвогрунта на основе лабораторных экспериментальных исследований ротором-метателем

/М.В. Драпалюк, М.А. Гнусов, Д.Ю. Дручинин, В.В. Посметьев, А.Ф. Петков: заявка № 2022668391 от 11.10.2022. опубл. 11.10.2022.

В сборниках научных трудов и материалах конференций

13. Поздняков А.К. Перспективные направления совершенствования лесопожарных грунтометов-полосопрокладывателей/ А.К. Поздняков, А.Ф. Петков // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Воронеж, 2020 г. – С. 410-413.

14. Поздняков А.К. Перспективные направления совершенствования лесопожарных грунтометов-полосопрокладывателей/ А.К. Поздняков, А.Ф. Петков, Н.А. Шерстюков // Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества - взгляд в будущее: сборник статей международной научно-технической конференции, в 3-х томах. 2020. с. 184-187.

15. Гнусов М.А. Виды и характеристики лесных пожаров/М.А. Гнусов, С.В. Малюков, А.Ф. Петков//Воронежский научно-технический вестник. 2020. т. 1. № 1 (31). с. 140-146.

16. Гнусов М.А. Тактики тушения лесных пожаров/М.А. Гнусов, С.В. Малюков, А.Ф. Петков//Воронежский научно-технический вестник. 2020. т. 1. № 1 (31). с. 147-153.

17. Бартнев И.М. Анализ рабочих процессов роторов-метателей лесопожарных грунтометов-полосопрокладывателей/И.М. Бартнев, А.Ф.Петков, М.А. Попов//Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. т. 8. № 1 (48). с. 23-28.

18. Бартнев И.М. Анализ конструкций и рабочих процессов технических средств для профилактики и тушения лесных пожаров грунтом/ И.М. Бартнев, А.Ф.Петков//Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. т. 8. № 2 (49). с. 5-11.

19. Поздняков А.К. Анализ технических средств для профилактики и тушения лесных пожаров/ А.К. Поздняков, А.Ф. Петков//Воронежский научно-технический Вестник. 2019. Т. 4. № 4 (30). С. 101-106.

20. Бартнев И.М. Изучение способа тушения лесного низового пожара грунтометом/ И.М. Бартнев, А.Ф. Петков, Н.А. Костеев, А.В. Солнцев//в сборнике: повышение эффективности лесного комплекса. материалы седьмой всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. с. 13-15.

21. Петков А.Ф. Анализ современного состояния о физических представлениях лесной почвенной среды при ее взаимодействии с режущими рабочими органами/ А.Ф.Петков//В сборнике: современные ресурсосберегающие технологии и технические средства лесного комплекса. материалы всероссийской научно-практической конференции. отв. редактор И.В. Четверикова. Воронеж, 2021. с. 36-39.

22. Петков А.Ф. Обоснование параметров ротора-метателя лесопожарной грунтометательной машины/ А.Ф.Петков //в сборнике: повышение эффективности лесного комплекса. материалы восьмой всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2022. с. 152-153.

23. Попиков П.И. Оптимизация параметров шнековых рабочих органов лесопожарной грунтометательной машины/ П.И.Попиков, А. К.Поздняков, В.П. Попиков, А.Ф. Петков//В сборнике: Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Восьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2022. С. 161-162.

24. Болгов А.В. Виды обработки почвы/А.В. Болгов, М.В. Шавков, С.В.Малюков, А.Ф.Петков, И.И.Шанин//в сборнике: лесные экосистемы как глобальный ресурс биосферы: вызовы, угрозы, решения в контексте изменения климата. Материалы международного лесного форума. отв. редактор Н.В. Яковенко. Воронеж, 2022. с. 6-12.

25. Гнусов М.А. Математическая модель взаимодействия с грунтом фрезы-метателя лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя/Гнусов М.А., Драпалюк М.В., Попиков П.И., Петков А.Ф.//Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 159. с. 110-121.

Просим Ваши отзывы на автореферат с заверенными подписями высылать в двух экземплярах по адресу 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, ВГЛТУ, ученому секретарю

Петков Александр Федорович
Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано к печати
Формат 60×90 1/16. Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ.
Отпечатано в УОП ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»
394087, г. Воронеж, ул. Докучаева, 10
2-53-92-85