

На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Гнусов' (Gnusev), written in a cursive style.

Гнусов Максим Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНЫХ МАШИН**

4.3.4 - Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и
переработки древесины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора 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 консультант: **Драпалюк Михаил Валентинович** – доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Григорьев Игорь Владиславович** – доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», кафедра технологии лесозаготовительных производств, профессор

Рыбак Александр Тимофеевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», кафедра приборостроения и биомедицинской инженерии, профессор

Фокин Сергей Владимирович – доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», кафедра лесного хозяйства и лесомелиорации, профессор

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

Защита диссертации состоится 15 декабря 2023 г. в 10-00 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/sov24.2.285.01/GnusoVV/DissGnusov.pdf

Автореферат разослан «04» октября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Платонов Алексей Дмитриевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одна из наиболее значимых проблем лесного хозяйства – борьба с лесными пожарами, которая в настоящее время вышла за рамки лесной отрасли и стала важной частью охраны природы и окружающей среды, стала социально-государственной задачей в области обеспечения безопасности населённых пунктов и жизни человека. На планете ежегодно лесной пожар преодолевает более 340 млн. га. природных территорий (включая площади леса).

В соответствии с Основами государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года, утверждёнными распоряжением Правительства РФ от 26 сентября 2013 года № 1724-р, для реализации государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов необходимо интенсифицировать использование и воспроизводство лесов.

В настоящее время защита и сохранение лесных ресурсов согласно основным нормативно правовым актам, приказам, постановлениям и иным нормативным документам, определяющим выполнение работ по созданию технических средств для предупреждения и тушения лесных пожаров в РФ, обозначены в распоряжении правительства РФ «Распоряжение от 20 сентября 2018 г. №1989-р об утверждении стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года», Стратегии научно-технологического развития РФ, ЛК РФ ПП «Об утверждении Правил разработки и утверждения плана тушения лесных пожаров и его формы».

В современных условиях, вызванных глобальными климатическими изменениями на нашей планете, возросли требования к уровню охраны леса, что стимулирует повышение требований к разрабатываемой технике и потребности в совершенствовании и разработке средств для противопожарных работ с наращиванием материальных ресурсов лесопожарных служб. В современном обществе при противопожарных работах на практике используются орудия с пассивными рабочими органами, которые значительно сужают возможности, в особенности при активном виде тушения кромки пожара, и ограничивают ширину минерализованных полос размерами применяемой машины. А использование машин, тушащих водой и/или химическими растворами, значительно повышает требуемое количество ресурсов для предупреждения и тушения кромки лесного пожара.

Проанализировав научно-технологические документы и распоряжения правительства РФ, заметна тенденция по импортозамещению с развитием вектора совершенствования технического процесса и конструктивно-технологических возможностей существующей техники. Грунтометательная техника, предназначенная для тушения пожаров при помощи прокладки минерализованных полос, а также засыпки кромки грунтом, является востребованной из-за своей универсальности.

Научно-технические и производственные процессы переходят в цифровую среду. Работы по предупреждению лесных пожаров включают целый ряд мероприятий: создание минерализованных полос, расчистку лесных тер-

риторий от ветровалов и буреломов, что позволяет оздоровить лес и повысить его экологическую и экономическую ценность. Тушение лесных пожаров при помощи грунта относится к экологически чистым технологиям.

Выбор направления диссертационных исследований обусловлен тем, что не в полной мере изучены технологические процессы и выполнены научные исследования по системе процессов, входящих в технологию тушения полосы лесного низового пожара, распространяющегося по гумусовым отложениям в нижнем ярусе леса. Не полностью изучены движение грунтового потока в воздушном пространстве, взаимодействие грунта с горящей кромкой, с учетом выбора конструктивно-технологической схемы грунтометательной техники.

Теоретическая база научных исследований грунтометательных машин, параметров и режимов работы основных рабочих органов не в полной мере систематизирована. Не полностью обоснованы состояние проблемы и технико-технологические решения, направленные на совершенствование конструктивных характеристик основных и вспомогательных рабочих органов грунтометательных машин. Остаются нерешенными основные задачи фундаментального описания технологического процесса порционного тушения грунтом кромки низового пожара и не определены закономерности физико-механических свойств лесного грунта, движимого в воздушной среде на горящую кромку.

Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой ФГБОУ ВО «ВГЛТУ» «Разработка ресурсо- и экологосберегающих технологий и обоснование типа и параметров рабочих органов машин для лесовосстановления и лесоразведения в лесостепной и степной зонах РФ» (№ гос. Регистрации 01201168736).

Степень разработанности: Вопросами изучения предупреждения и ликвидации природных пожаров в настоящее время занимаются учёные многих стран. Это связано с высоким процентом гибели лесных массивов от лесного пожара и угрозы для социально-общественной деятельности. Подавление лесного пожара грунтом имеет высокую эффективность за счёт неограниченного количества доступного материала с возможностью его перемещения в зону кромки лесного низового пожара, а также с одновременным созданием минерализованной противопожарной полосы на пути движения кромки лесного низового пожара по гумусовым лесным отложениям.

Теоретическое исследование опубликованных научных работ по теме диссертационных исследований показывает, что взаимодействие рабочих органов лесных машин с почвенной средой в разное время исследовалось В.П. Горячкиным, А.Н. Зелениным, Н.Е. Резником, Ю.А. Ветровым и другими. Учёными рассмотрены такие теоретические вопросы, как теория масс и скоростей, удара и разрушения материалов, клина, резания и теория подобия физических процессов. Исследованы разновидности процесса резания лезвием на основе дифференциации технологических факторов. Кроме этого, к настоящему времени выполнен ряд исследований процессов

по ликвидации лесных пожаров грунтом и формированию противопожарных минерализованных полос такими учёными, как И.М. Зима, А.И. Баранов, Г.А. Ларюхин, И.М. Бартенев, Ю.А. Добрынин, Ю.М. Жданов, В.В. Чернышов, А.Н. Чукичев, П.М. Кодляков, Н.П. Валадайский, В.И. Посметьев, В.И. Казаков, М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, П.Э. Гончаров, J.J. Podur и другими.

Общие особенности возникновения очага, протекания и распространения ландшафтных пожаров рассмотрены в работах Е.С. Арцыбашева, И.С. Мелехова, Г.А. Амосова, Э.Н. Валендика, А.М. Гришина, С.И. Душа-Гудымы, Г.Н. Коровина, Н.П. Курбатского, В.А. Белова, П.М. Матвеева и других. Наряду с отечественными работами также следует отметить некоторые труды зарубежных учёных, таких как М.Е. Alexander, Н.Е. Anderson, J.G. Goldammer, В.Д. Lawson, В.Д. Stocks, С.Е. Van Wagner, С.В. George, А.Д. Blakely, G.M. Johnson и других.

Анализ научных работ показывает, что не полностью исследован процесс тушения и предупреждения лесного низового пожара, распространяющегося по нижней части гумусовых отложений при условии тушения порциями грунта, посылаемого механическим способом. Разработка и создание грунтометательной техники требует более глубоких теоретических и экспериментальных исследований процесса формирования направленного потока грунта, подаваемого на кромку лесного низового пожара,двигающегося по нижней части гумусовых лесных отложений.

Цель и задачи: Целью работы является совершенствование грунтометательной техники путем научного обоснования технологического процесса и разработки рабочих органов.

Задачи исследования:

1. Проанализировать состояние проблемы, технологию работы и технико-технологические схемы грунтометательных машин с направленным потоком грунта;
2. Разработать математические модели процесса тушения и взаимодействия основных рабочих органов грунтометательных машин с грунтом;
3. Исследовать технологические процессы тушения пожара, движение в воздушном пространстве грунта и взаимодействие его с рабочими органами машины;
4. Установить закономерности процесса работы базовой грунтометательной машины, обосновать и оптимизировать основные параметры рабочих органов;
5. Установить зависимости влияния движения грунта в воздушном пространстве и геометрических, кинематических характеристик грунтометательных машин на процесс механического и теплового тушения пожара;
6. Определить качественные и технико-экономические показатели работы грунтометательных машин и разработать рекомендации по их рациональному применению.

Объекты и предмет исследования. Объектами исследования

являются конструкции, технологические процессы и рабочие процессы грунтометательных машин. Предметом исследования являются рабочие узлы и технологические операции грунтометательных машин.

Научная новизна результатов работы:

1. Новые технико-технологические решения для совершенствования параметров грунтометательных машин с направленным потоком грунта, отличающиеся повышенной эффективностью в условиях уплотненных связных и насыщенных древесно-кустарниковой растительностью грунтов;

2. Математические модели процесса тушения и взаимодействия основных рабочих органов грунтометательных машин с направленным потоком грунта, отличающиеся учетом физико-механических свойств грунта;

3. Закономерности движения в воздушной среде направленного потока грунта, подаваемого грунтометательными машинами, отличающиеся учетом коэффициента сплошности, скоростью достижения поверхности и параметрами формируемой полосы;

4. Закономерности рабочего процесса базовой грунтометательной машины на основе метода динамики частиц, отличающиеся учетом плотности, скорости метания грунта и плотности оседания грунта на горящую поверхность;

5. Зависимости влияния движения грунта в воздушном пространстве на процесс механического и теплового тушения пожара, отличающиеся учетом геометрических, кинематических характеристик грунтометательных машин;

6. Качественные и технико-экономические показатели работы грунтометательных машин, отличающиеся учетом воздействия внешней среды с конструктивно-технологическими особенностями рабочего процесса новых грунтометательных машин, используемые для разработки рекомендаций по их рациональному применению.

Теоретическая значимость работы заключается в углублении теории процессов взаимодействия параметров пассивных и активных рабочих органов с грунтом и их влияния на энергетические показатели процессов его перемещения; расширении теории теплового и механического воздействия грунта на процессы тушения лесной подстилки; расширении теоретических положений движения фрагментов сыпучих грунтов в воздушной среде вблизи источника высокой температуры лесного пожара.

Практическая значимость работы заключается в апробации технологического процесса тушения кромки лесного пожара поверхностным слоем грунта; совершенствовании конструкций и повышении эффективности грунтометательных машин различных типов; разработке конструкций различных типов грунтометательных машин, содержащих грунтометательный механизм оригинальной конструкции, дисковые рабочие органы и кожухи-направители, защищенные патентами РФ; разработке рекомендаций, обеспечивающих сокращение сроков и повышение качества проектирования конструкций рабочих органов грунтометательных машин различных типов.

Методы исследования: Научные исследования в диссертационной работе выполнены методами эмпирического и теоретического познания. Выполнены наблюдения явлений процесса тушения лесного низового пожара при помощи порций грунта, работа грунтометательной машины, в частности каждого рабочего органа в отдельности. Произведено накопление и отбор фактов, установлены взаимосвязи. Теоретические исследования выполнялись по имитационным моделям с элементами теоретической механики, математики, физики, а также с помощью численных методов. Экспериментальные исследования выполнены на стендах и установках в лабораторных и полевых условиях. Опытные данные получены при помощи тензометрической лаборатории с первичной обработкой результатов на ЭВМ и последующей статистической обработкой. Полевые испытания записывались на камеру с оцифровкой получаемых данных на ЭВМ при помощи программного алгоритма.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Техничко-технологические решения, обеспечивающие повышение энергоэффективности технологических процессов и конструктивных параметров рабочих органов грунтометательных машин, позволяющие повысить эффективность рабочего процесса грунтометания в условиях уплотненных связных и насыщенных древесно-кустарниковой растительностью грунтов;

2. Математические модели процесса тушения пожара и взаимодействия основных рабочих органов грунтометательных машин с грунтом, позволяющие обосновать технологию процесса тушения лесного пожара;

3. Закономерности процесса движения в воздушной среде направленного потока частиц грунта, подаваемого грунтометательными машинами, позволяющие повысить качество формирования целевой полосы;

4. Закономерности рабочего процесса эффективного перемещения грунта, позволяющие обосновать конструктивно-технологические параметры грунтометательных машин;

5. Зависимости влияния геометрических и кинематических характеристик конструкции рабочих органов и параметров грунта вблизи источника пожара, позволяющие повысить эффективность процесса механического и теплового тушения пожара;

6. Качественные и технико-экономические показатели работы различных типов грунтометательных машин, позволяющие повысить эффективность их использования в лесохозяйственном производстве.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, соответствуют паспорту научной специальности 4.3.4. «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины», п. 5. Компонировка, типы, параметры и режимы работы машин лесохозяйственных и лесопромышленных производств; п. 7. Технологические комплексы, производственные процессы, поточные и автоматические линии, машины и агрегаты в лесном хозяйстве и лесной промышленности; п. 13. Методы

контроля, нормирования опасных и вредных факторов, и защиты от них; безопасность условий труда в лесном хозяйстве и лесной промышленности.

Степень достоверности. Достоверность результатов и выводов теоретического исследования обеспечена корректностью постановки задач, применением современных методов получения и обработки исходной и получаемой информации, сходимостью теоретических и экспериментальных результатов. Достоверность результатов экспериментального исследования базируется на использовании современных методик и экспериментального оборудования, подтверждена обоснованным объемом экспериментального материала, а также положительными результатами испытаний опытных образцов в реальных условиях эксплуатации на лесных объектах.

Апробация результатов. Основные результаты научной работы представлены на научных конференциях различного уровня, прошедших на базе следующих площадок: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (г. Воронеж, 2018-2022 гг.); «Белорусский государственный технологический университет» (г. Минск, 2019 г.); Международной научно-практической конференции (г. Петрозаводск, 2020 г.); Международной научной конференции «ICMSIT-2020» (г. Санкт-Петербург – Красноярск, 2020 г.); Международной конференции «SAMSTech-2020» (г. Красноярск, 2020 г.); Международной научной конференции «ICMSIT II-2021» (г. Санкт-Петербург – Красноярск, 2021 г.); Международной конференции «SAMSTech II-2021» (г. Красноярск, 2021 г.).

Результаты работы внедрены, использованы и апробированы в СГБУ ВО «Воронежский лесопожарный центр» (2023 г.), УОЛ ВГЛТА (Воронеж 2014 - 2023 г.), ООО «СТАЛЬ-СИНТЕЗ» (г. Воронеж 2014 г.), ФГБУ «ПТЦ ФПС ПО ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ» (г. Воронеж 2014 г.), в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (г. Воронеж, 2014 - 2023 г.) и ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (г. Воронеж, 2023 г.), в Управлении лесного хозяйства Воронежской области (г. Воронеж, 2023 г.).

Публикации по теме диссертационного исследования опубликованы в 50 работах общим объемом 22 п.л. (авторский объем – 18,5957 п.л.), в том числе, 3 патента на изобретения и 10 свидетельств об официальной регистрации программы для ЭВМ общим объемом 10,875 п.л. (авторский объем – 3,18615 п.л.), 7 свидетельств об официальной регистрации баз данных, 10 статей общим объемом 7,375 п.л. (авторский объем – 7,324 п.л.) в рецензируемых периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 16 статей общим объемом 6,125 п.л. (авторский объем – 4,2136 п.л.) в рецензируемых периодических изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science.

Структура и объем работы. Текст диссертации состоит из введения, восьми разделов, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем рукописи составляет 352 печатных страницы, из них 329

страниц основного текста и приложения. В структуре рукописи содержится 146 иллюстраций, 38 таблиц и 205 наименований использованных библиографических источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассматривается актуальность, разработанность темы, цель и поставленные задачи исследования, методология и методы исследования, научные новизна и положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость, а также апробация результатов работы.

В первом разделе «Современное состояние проблемы» системно проанализированы обзорные материалы, описывающие актуальность и потребность в разработке грунтометательной техники. Выполнен анализ исследований современного состояния о ликвидации и предупреждении лесных низовых пожаров. В процессе проведения диссертационных исследований требовалось всесторонне рассмотреть проблематику возникновения, распространения и процесса тушения лесного низового пожара.

Наиболее распространенными видами пожара в лесных массивах считаются низовые пожары. Общеизвестно, лесные насаждения выполняют важную роль в жизни планеты, поэтому и задача по защите и сохранению лесов является значимой. Исследование и изучение лесных пожаров методами математического и физического моделирования, а в последние годы и создание имитационных моделей стали ключевыми при проведении научных исследований в данной области.

Отмечено, что актуальными вопросами на сегодняшний день являются разработка имитационных моделей отрыва почвенного пласта грунтометательным механизмом (фрезой, фрезой-метателем, фрезерным барабаном, многоступенчатым фрезерным рабочим органом и т.д.), движение грунта в воздушной среде и взаимодействие его с кромкой лесного низового пожара, определение режимов и характеристик, отвечающих за ликвидацию лесного пожара и разработку технических средств, способных обеспечить подавление движущейся кромки лесного низового пожара при помощи грунта.

Анализ существующих исследований в выбранной области позволил верно определить проблему и сформировать задачи для ее решения. Обзорные исследования разработанных стендов показали, что они не полностью удовлетворяют требованиям поставленной задачи по исследованию процесса тушения порцией грунта, для этого требуется установка, оснащённая датчиками для снятия показаний по разным уровням в почвенной среде.

Для создания грунтометательных машин необходимо выполнить анализ научных исследований по трем основным направлениям: взаимодействию рабочих органов машины с лесными грунтами, движению

грунта в воздушном пространстве, взаимодействию грунта с кромкой лесного пожара или нагретой поверхностью.

Выполненный анализ процессов лемешных и дисковых орудий показал, что дисковые орудия обладают преимуществами по сравнению с лемешными по проходимости, рыхлению и образованию валов грунта для подачи к фрезерными рабочим органам.

Грунтоментательные машины с активно вращающимися рабочими органами позволяют увеличивать ширину создаваемой минерализованной полосы без увеличения размеров машины.

Для повышения качественных характеристик процесса тушения лесного пожара направленным потоком грунта требуется проведение углубленных научных исследований процессов, протекающих при тушении лесного низового пожара грунтом. Требуется определить оптимальные характеристики метания грунта, а также описать процесс движения его в воздушном пространстве, провести научные исследования отдельных рабочих органов грунтометательной машины при взаимодействии с грунтом. Решение этих вопросов позволит определить конструктивно-технологические параметры грунтометательных машин, разработанных для предупреждения и тушения кромки лесного низового пожара грунтом.

На основании результатов анализа состояния проблемы в конце раздела представлены сформулированные цель и задачи исследования.

Во втором разделе «Установление закономерностей влияния физических и геометрических параметров лесного грунта на эффективность пожаротушения» отражена необходимость широких научных изысканий по теме диссертационного исследования с целью проведения эксперимента с выявлением скрытых закономерностей, свойств исследуемых объектов, влияющих на протекание процессов, и проверки справедливости ранее выдвинутых гипотез.

Описана методика проведения однофакторного лабораторного исследования по установлению закономерностей влияния физических и геометрических параметров лесного грунта на эффективность пожаротушения.

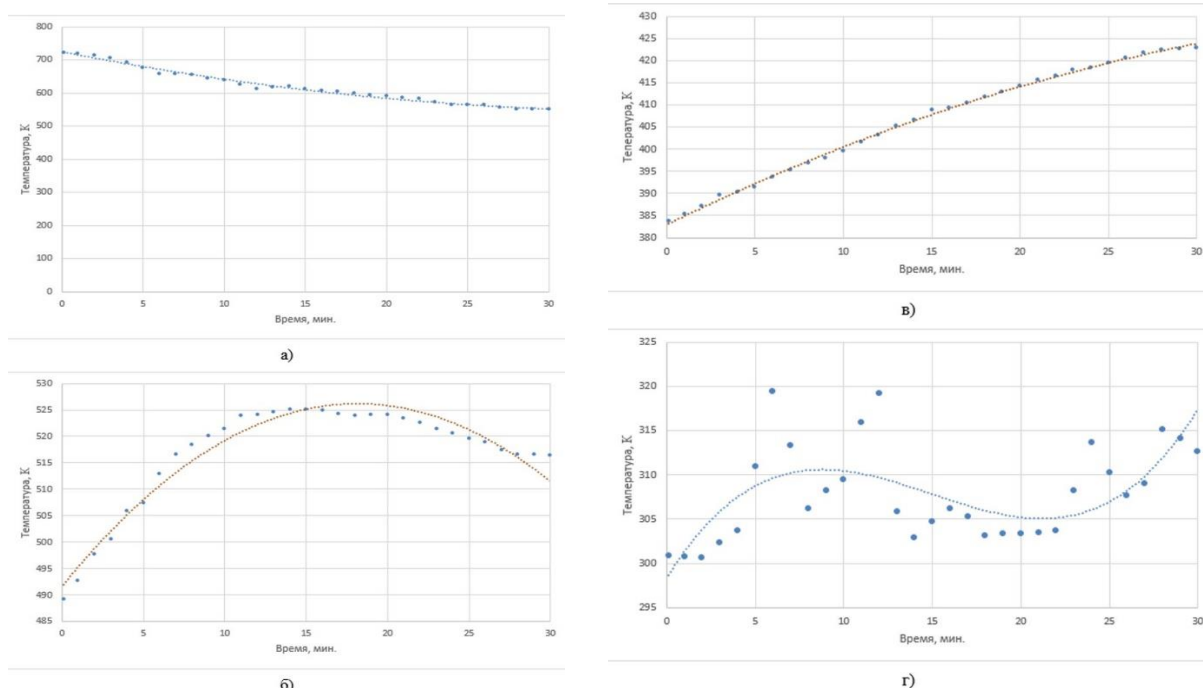
Проведение лабораторных исследований проходило в лаборатории кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» с использованием специализированного лабораторного стенда.

На основании результатов выполненных экспериментов с помощью полиномиальной регрессии проведена аппроксимация экспериментальных данных с построением теоретических графиков значения температуры в различных почвенных уровнях с наличием лесной подстилки в зависимости от времени охлаждения зоны лесного пожара (рисунок 1).

Процесс тушения лесного пожара при помощи грунта по временной характеристике соотносится с охлаждением зоны остатков биологического топлива и грунта, в целях футурологии для проведения исследования

характеристик выведены аналитические полиномиальные зависимости.

В третьей главе «Обоснование технологии применения грунта для борьбы с лесными пожарами» указано, что при высоко детализированном



а - датчик 1; б - датчик 2; в - датчик 3; г - датчик 4

Рисунок 1 – Регрессионная зависимость влияния времени протекания процесса охлаждения на температуру слоёв почвенно-растительной среды с наличием лесной подстилки

моделировании лесных пожаров необходимо учитывать в модели

для датчика 1:

$$y = 0,1275x^2 - 9,579x + 724,53; \\ R^2 = 0,9867; \quad (1)$$

для датчика 2:

$$y = -0,105x^2 + 3,8082x + 491,65; \\ R^2 = 0,9523; \quad (2)$$

для датчика 3:

$$y = -0,0194x^2 + 1,945 + 383; \\ R^2 = 0,9983; \quad (3)$$

для датчика 4:

$$y = 0,0058x^3 - 0,2604x^2 + 3,2299x + 298,38; \\ R^2 = 0,4424. \quad (4)$$

несколько сред (почва, слой лесной подстилки, поток грунта), статистико-геометрические особенности (структуру) лесной подстилки, механическое движение и рассеивание потока грунта в воздушной среде, механическое взаимодействие потока грунта со слоями лесной подстилки и лесным грунтом, процесс движения лесного пожара в исследуемых средах, процесс лесного пожара (проявление лесного пожара, развития лесного пожара, тушение лесного пожара).

После случайного распределения в пространстве элементов лесной почвы и двух слоёв лесной подстилки первоначально нестабильная

механическая система приходит в механическое равновесие. По окончании данного этапа элементы формируют случайную плотную упаковку. Затем модельная система разбивается на три слоя: верхний и нижний слой лесной подстилки, лесная почва.

Для моделирования распространения лесного пожара в рассматриваемых средах используется уравнение теплопроводности (5),

$$\frac{\partial T(\vec{r}, t)}{\partial t} = (\nabla, \chi(\vec{r}, t) \nabla T(\vec{r}, t)) + Q(\vec{r}, t), \quad (5)$$

где $T(\vec{r}, t)$ – распределение температуры в пространстве и его изменение с течением времени; \vec{r} – радиус-вектор исследуемой точки пространства; t – время; $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ – дифференциальный оператор набла; x, z – декартовы

координаты исследуемой точки пространства; \vec{i}, \vec{k} – единичные векторы в декартовом пространстве; $\chi(\vec{r}, t)$ – коэффициент температуропроводности среды (в общем случае зависит от положения в пространстве и времени); $Q(\vec{r}, t)$ – изменяющееся с течением времени поле источников нагрева и охлаждения.

Изменение температуры каждой частицы, представленной в модели, происходит на каждом шаге интеграции τ (6),

$$T_{\Pi i}^{\tau+1} = T_{\Pi i}^{\tau} + \chi_{ij} \frac{T_{\Pi j}^{\tau} - T_{\Pi i}^{\tau}}{r_{ij}} \Delta t \quad (6)$$

где χ_{ij} – коэффициент передачи температуры от элемента j элементу i .

Категория частиц лесной подстилки, находящаяся в декартовом пространстве с правой стороны в процессе имитации, подвергается температуре $T_{\Pi} = 500$ °С. Режим горения в целях проведения научных исследований намерено превышает критическую температуру «возгорания» ($T_K = 300$ °С).

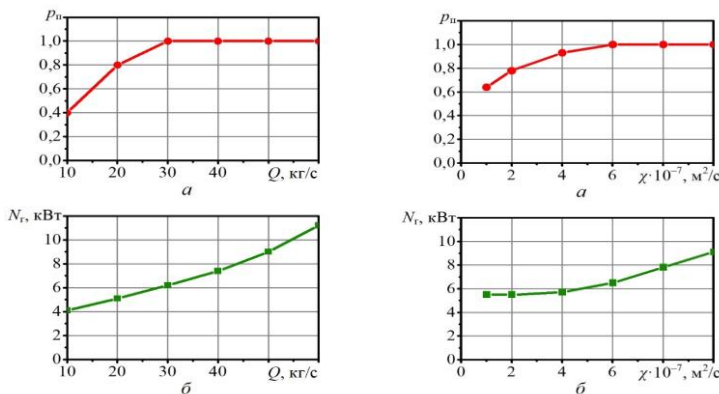


Рисунок 2 – Влияние потока грунта Q на полноту тушения лесного пожара p_n и потребляемую грунтометательной машиной мощность N_r

Рисунок 3 – Влияние температуропроводности грунта χ на полноту тушения лесного пожара p_n и потребляемую грунтометательной машиной мощность N_r

Эффективность тушения лесного пожара грунтом может различаться в зависимости от величины объема грунта (кг/с), находящегося в потоке, подаваемом грунтометательной машиной. Недостаточной для теплоотвода оказывается масса грунта. Поэтому лесная подстилка, присыпанная тонким слоем грунта (менее 5 см), продолжает гореть: фронт лесного пожара перемещается из-под насыпанного слоя грунта (рисунок 3).

Для тушения лесного

пожара поток грунта должен составлять 30...50 кг/с, в этом случае обеспечиваются надежное тушение лесного пожара и минимальная требуемая для этого мощность метания грунта (рисунок 2).

В зависимости от физико-механических свойств грунта может различаться эффективность тушения лесного пожара. Для надёжного тушения лесного пожара и низкой требуемой мощности для процесса вырезания, и метания порции грунта, он должен обладать температуропроводностью $6...10 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

В зависимости от ширины фронта горения лесной подстилки может оказаться недостаточной ширина формируемой грунтометательной машиной полосы. Как следует из рисунка 4, лесопожарная грунтометательная машина с базовыми настроечными параметрами эффективна при ширине фронта лесного низового пожара не более 0,6 м.

Эффективность тушения пожара может быть различной в зависимости от вида грунта. Для надёжного тушения лесного пожара и низкой мощности метания грунт должен обладать температуропроводностью $6...10 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$. При этом вероятность тушения лесного пожара будет превышать 0,99, а потребляемая грунтометательной машиной мощность будет не более 9,1 кВт.

В четвертом разделе «Разработка и исследование модели движения грунта в воздушной среде» выполнены исследования процесса имитационного моделирования движения потока грунта в воздушной среде методом динамики частиц, который хорошо зарекомендовал себя при моделировании процесса тушения лесного пожара.

Коэффициенты жёсткости взаимодействия и вязкого трения для газа существенно меньше (на 4-6 порядков), чем для твёрдых тел.

Затем в исходной плотной упаковке элементов производится разделение элементов на два типа: грунт и воздушная среда. Определение типа осуществляется с помощью неравенств (7),

$$p_i = \begin{cases} 1, & \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (z_i - z_u)^2} < R_\phi; \\ F_i < s; \end{array} \right. \\ 2, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (7)$$

где p_i – тип элемента, принимающий значения 1 – грунт или 2 – воздушная среда; x_i, z_i – координаты центра элемента; x_u, z_u – начальные координаты центра фрагмента грунта в приближении круглой формы; R_ϕ – радиус фрагмента грунта; F_i – последовательные реализации случайной величины, распределённой по равномерному закону в интервале 0 - 1; s – параметр сплошности фрагмента грунта.

Влияние сплошности можно установить по количественным характеристикам качества формирования потока. Сопоставляя графики, можно определить, что грунтометательная машина должна обеспечивать сплошность потока не менее 0,7. В этом случае скорость потока будет достаточно высока для сбивания кромки лесного низового пожара, более

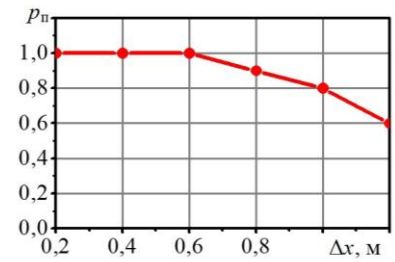


Рисунок 4 – Влияние ширины полосы лесного низового пожара Δx на полноту тушения p_p

11 м/с, ширина формируемой полосы грунта будет составлять менее 0,9 м, потребляемая грунтометательной машиной мощность будет составлять менее 6 кВт.

Данная формула задаёт равномерное распределение элементов грунта в области круговой формы с заданной степенью сплошности s (через сплошность может быть выражен параметр рассыпчатости как $1 - s$). Такой фрагмент с градиентным распределением сплошности задаётся неравенством (8), где s_1 и s_2 – параметры сплошности в центре и у границы круговой области.

$$P_i = \begin{cases} 1, & \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (z_i - z_u)^2} < R_\phi; \\ F_i < s_1 + (s_2 - s_1) \frac{\sqrt{(x_i - x_u)^2 + (z_i - z_u)^2}}{R_\phi}; \end{array} \right. \quad (8) \\ 2, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

Для количественной оценки эффекта рассыпания фрагмента грунта в воздухе используются следующие два основных показателя. Дисперсия (рассеяние)

элементов по абсолютному значению вектора скорости Δv оценивается как среднеквадратичное отклонение скоростей отдельных элементов (9),

$$\Delta v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{\phi 1}} \left(\sqrt{v_{xi}^2 + v_{zi}^2} - \frac{1}{N_{\phi 1}} \sum_{j=1}^{N_{\phi 1}} \sqrt{v_{xj}^2 + v_{zj}^2} \right)^2}{N_{\phi 1}}} \quad (9)$$

где i и j – индексы перебора элементов типа «грунт»; $N_{\phi 1}$ – количество элементов типа «грунт» (тип 1); v_{xi} , v_{zi} – декартовы компоненты вектора скорости элемента

грунта.

Дисперсия (рассеяние) элементов по углам (направлению вектора скорости) $\Delta\phi$ оценивается как среднеквадратичное отклонение текущего угла полета элементов (10), где Arctg (с большой буквы) – тригонометрическая функция arctg с удвоенным периодом; где a и b – в данном случае декартовы переменные x и z (11).

$$\Delta\phi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{\phi 1}} \left(\text{Arctg} \frac{v_{zi}}{v_{xi}} - \frac{1}{N_{\phi 1}} \sum_{j=1}^{N_{\phi 1}} \text{Arctg} \frac{v_{zj}}{v_{xj}} \right)^2}{N_{\phi 1}}} \quad (10)$$

$$\text{Arctg} \frac{b}{a} = \begin{cases} \text{arctg} \frac{b}{a}, & a \geq 0; \\ \text{arctg} \frac{b}{a} + \pi, & a < 0, \end{cases} \quad (11)$$

Помимо дисперсий скоростей и углов полёта Δv и $\Delta\phi$ в качестве показателей эффективности используются ещё три переменные, характеризующие процесс приземления грунта и работу грунтометательной машины. Средняя скорость v_L элементов грунта при достижении поверхности на заданном расстоянии метания L рассчитывается уравнением (12),

$$v_L = \frac{1}{N_{\phi 1}} \sum_{i=1}^{N_{\phi 1}} \sqrt{v_{xj}^2(z_i = z_n + h_k) + v_{zj}^2(z_i = z_n + h_k)}, \quad (12)$$

где z_i – декартова координата элемента; z_n – вертикальная

координата лесной поверхности; h_k – ширина полосы над лесной поверхностью, в которой элемент считается контактирующим с лесной поверхностью.

Показатель рассеяния потока грунта l_p в данном случае будет выражаться как ширина полосы на поверхности, на которую оседает 90 % грунта (13).

Мощность, потребляемая грунтометательной машиной N_r для

формирования потока грунта с данными параметрами (14),

$$l_p = (\max x_i - \min x_i) \cdot \begin{cases} z_i < z_n + h_k \\ 0,9N_{s1} > \sum_{j=1}^{N_{s1}} \begin{cases} 1, \min x_i < x_j < \max x_i; \\ 0, \begin{cases} x_j \leq \min x_i; \\ x_j \geq \max x_i. \end{cases} \end{cases} \end{cases} \quad (13)$$

$$N_e = \frac{v_e}{\Delta y} \cdot \frac{m_{s1}}{2} \sum_{i=1}^{N_{s1}} \sqrt{v_{xi}^2 + v_{zi}^2}, \quad (14)$$

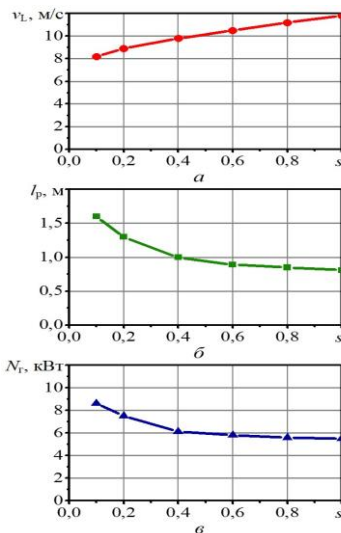


Рисунок 5 – Влияние сплошности s на среднюю скорость потока грунта при достижении поверхности $v_L(a)$, показатель рассеяния потока грунта $l_p(b)$, потребляемую грунтометательной машиной мощность $N_T(c)$

где v_T – скорость движения грунтометательной машины в направлении Y , условно перпендикулярном плоскости моделирования XZ ; Δy – условная толщина двумерного слоя, вырезанного из трёхмерного пространства; m_{s1} – масса элемента

типа «грунт» (тип 1).

По мере приближения потока грунта к зоне кромки температура воздуха повышается. Повышение очень существенно изменяет свойства воздуха. Если в обычном состоянии абсолютная температура воздуха принята 300 К, вблизи зоны кромки лесного пожара воздух нагревается до ориентировочно 600 К, что вдвое выше. С точки зрения термодинамики удвоение температуры приводит к изменению в два раза свойств воздуха, например, давления в замкнутом объёме, внутренней энергии и т.п. Поэтому проведено исследование перехода воздуха при 600 К. Обнаружено, что при входе потока грунта в область нагретого воздуха существенно увеличивается рассеяние элементов грунта по скоростям и углам.

В пятом разделе «Исследование процесса качественных показателей движения грунта в воздушном пространстве» проведены научные исследования по установлению показателей потока грунта, направляемого грунтометательными машинами. В рамках научно-технического развития для высокоточной оценки выбран подход оптического распознавания с возможностью проведения измерений. Первоначально проведены исследования, которые позволили определить наиболее подходящий метод определения характеристик потока грунта.

По оптическому анализу фотографий возможно определить, что поток частиц грунта значительно варьировался: на дистанции от 4 м до 15 м. Ширина показателя усредненного потока частиц грунта свидетельствует о том, что около 80 % времени определяет узкий поток грунта и 20 % времени отклонения не позволяют этого сделать, что приводит к широкому разбросу частиц грунта.

Выполнена аппроксимация линии перемещения потока частиц грунта. По характеристикам поставленной баллистической задачи, грунтометательная машина направляет потоки частиц грунта под углом 35° к горизонту с начальной скоростью 14 м/с. С увеличением дистанции от МТА

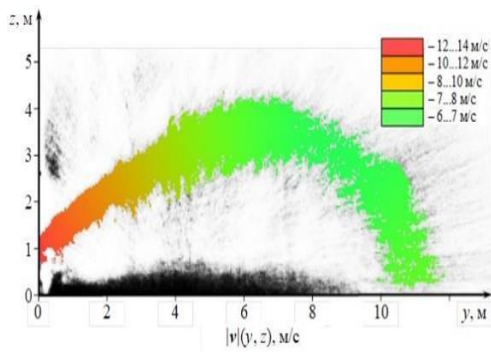


Рисунок 6 – Картограмма распределения абсолютного значения скорости $|v|$ потока грунта в вертикальной поперечной плоскости YZ

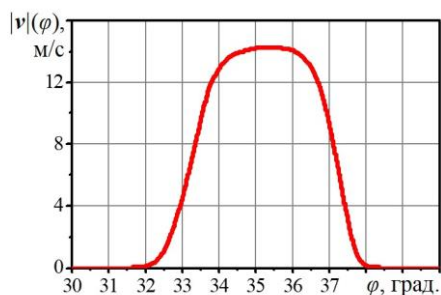


Рисунок 7 – Эюра углового распределения скорости частиц грунта

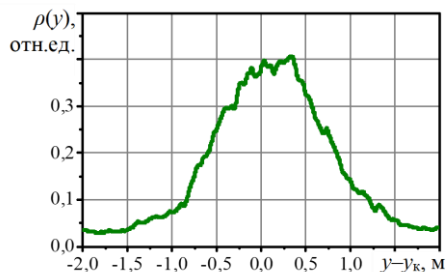


Рисунок 8 – Эюра распределения плотности потока грунта перед осаждением на поверхность

с машиной уменьшается объем летящего в потоке грунта.

На базе данных, полученных по картограмме распределения абсолютного значения скорости $|v|$ потока грунта в вертикальной поперечной плоскости YZ (рисунок 6), графически изображена эюра распределения скорости потока в первоначальной зоне кривой (рисунок 7).

Дальнейшее исследование направлено на определение показателя эффективности, выраженного в кучности попадания грунта на кромку продвижения лесного пожара. Графическое отображение эюры на рисунке 8 показывает, что объем грунта усреднен по высоте 1 м над поверхностью.

На картограмме распределения потока грунта возможно отследить, что поток грунта сдвигается в поперечном направлении и значит $-15,4^\circ$.

Разлет частиц по углам метания в горизонтальной плоскости выше на 20 % и более, в отличие от вертикальной плоскости, и составляет около $6...7^\circ$, что в пределах нормы. Это является показателем, что грунтометательная машина эффективна за счет создания узкого потока в вертикальном и горизонтальном направлениях.

К настоящему времени накоплен большой объем данных по работе грунтометательной машины и процессам движения потока грунта в воздушном пространстве, взаимодействие грунта с проявлениями лесного пожара: результаты моделирования, результаты лабораторных и полевых экспериментов.

Во всех случаях форма траектории близка к параболической, незначительно искаженной из-за потери частицами грунта энергии в связи с преодолением сил сопротивления воздушной среды.

Совпадение угла выброса потока грунта (он составляет от 35 до 38 градусов, таблица 1) свидетельствует об адекватном воспроизведении в модели и в эксперименте реального процесса взаимодействия рабочих плоскостей грунтометательной машины с грунтом.

Таблица 1 - Параметры траектории движения грунта в модели и полевом эксперименте

Этап исследований	Параметры			
	Начальная скорость частиц v_0 , м/с	Угол выброса частиц φ , градусы	Дальность выброса u_{\max} , м	Угол приземления частиц $\varphi_{\text{п}}$, градусы
Модель	11,5	37	11,4	42
Полевой эксперимент	14,0	35	11,0	73

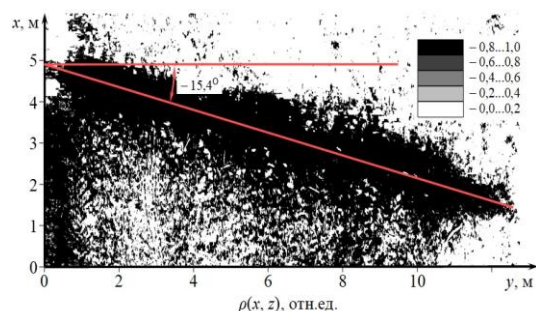


Рисунок 9 – Картограмма распределения плотности ρ потока грунта в горизонтальной плоскости XY (вид сверху)

(моделирования и полевого эксперимента) хорошо согласуются между собой и свидетельствуют о достаточно эффективной работе базовой грунтометательной машины.

Эпюры распределения толщины слоя покрытия поверхности получены для всех этапов исследования: имитационном и полевом экспериментах (рисунок 10). Таким образом, профили толщины осажденного слоя грунта хорошо согласуются и свидетельствуют об адекватности модели и полевого эксперимента.

В шестом разделе «Теоретическое исследование грунтометательной машины» описан процесс выполнения научных исследований и разработки имитационных моделей грунтометательной машины, содержащей исследуемые рабочие органы.

Расчет перемещения частиц в рамках модельного пространства выполнен по второму закону Ньютона. Разработанная модель полностью отображает процессы выполнения операций, связанных со взаимодействием рабочих плоскостей базовой грунтометательной машины с грунтом и перемещение грунта в модельном пространстве.

Угол осаднения потока приблизительно равен 42° , однако это значение сильно отличается для полевого эксперимента и составляет 73° . Это может быть объяснено наличием бокового ветра (около 5 м/с) при проведении полевого эксперимента.

Результаты всесторонне проведенного исследования

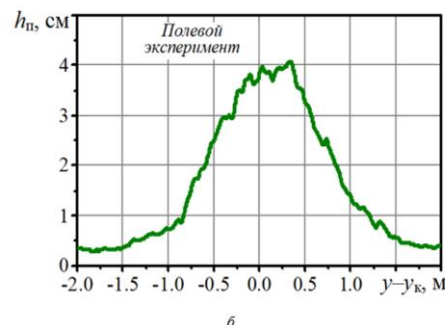
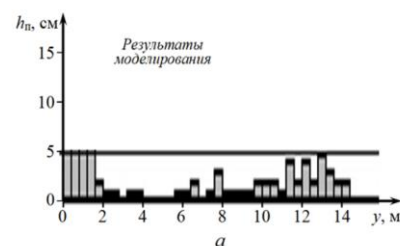


Рисунок 10 – Эпюры распределения $h_n(y)$ толщины покрытия поверхности грунтом в имитационном (а) и полевом (б) экспериментах

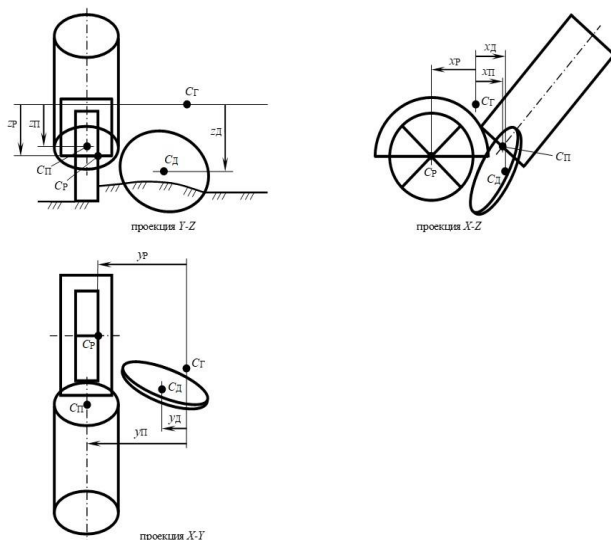


Рисунок 11 – Основные компоновочные параметры грунтометательной машины

машины. Расположение ключевых точек составных частей базовой грунтометательной машины: C_p – ротора; C_n – почвопровода; C_d – сферического диска с вырезами.

Отличительной особенностью грунтометательного механизма является требуемое вращение относительно своей оси (рисунок 12).

Защитный кожух в имитационной модели задан несколькими частями, одна из которых это цилиндр, установленный вокруг грунтометательного механизма. Еще одной особенностью является отсутствующий нижний элемент цилиндра, а верхняя часть переходит в эллиптическую цилиндрическую поверхность почвопровода (рисунок 13).

Координаты базовых точек почвопровода предварительно задавались для горизонтального расположения.

Представление в имитационном исследовании дискового рабочего органа как диска с девятью сегментными вырезами создано при помощи частей диска с повторениями (рисунок 14).

Вслед за внесёнными координатами базовых точек выполняется вставка и последовательный поворот дискового рабочего органа, в первую очередь, на угол β применительно к вертикальной поверхности и на α , но уже относительно поступательного перемещения.

Эффективность машины характеризуется четырьмя показателями, которые необходимо определить в ходе теоретического исследования:

Представленная в виде имитационной модели грунтометательная машина состоит из четырёх основных частей: грунтометательного механизма, защитного кожуха, переходящего в почвопровод, сферического диска. На рисунке 11 показаны основные геометрические параметры взаимной компоновки основных частей грунтометательной машины. Компоновочный центр грунтометательной машины в модели C_T совпадает с предполагаемым расположением центра базовой грунтометательной

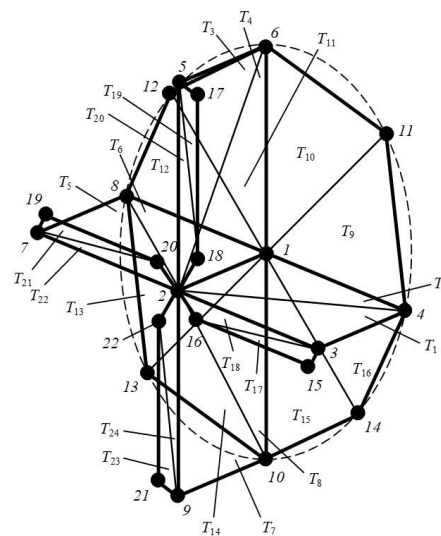


Рисунок 12 – Схема индексации базовых точек и элементарных треугольников грунтометательного механизма

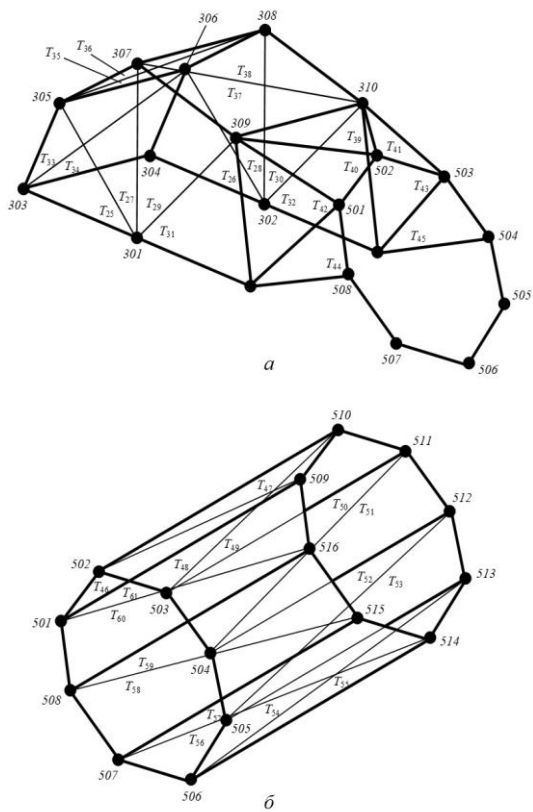


Рисунок 13 – Схема индексации базовых точек и элементарных треугольников защитного кожуха (а) и почвопровода (б)

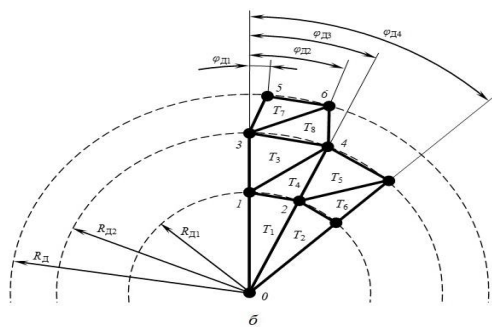


Рисунок 14 – Представление в модели сферического диска с вырезами как совокупности элементарных треугольников

N_3 – общее количество элементов грунта.

В процессе работы направляемый поток грунта, попадающий по ширине 0,6 м, возможно описать выражением (17).

Среднее значение потребляемой мощности возможно описать

L_{cp} – средняя дальность метания грунта; p_{60} – доля грунта, осаждённого в целевой полосе шириной 60 см, центр которой находится на расстоянии L_{cp} ; P – производительность грунтометательной машины (масса грунта, выброшенного за пределы машины в единицу времени); N – средняя мощность, потребляемая машиной.

Расчёт выходных показателей

$$L_{cp} = x_{cp} - \frac{L_X}{2} = \frac{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} x_i, & x_i > L_X; \\ 0, & x_i \leq L_X. \end{cases}}{N_3} - \frac{L_X}{2} \quad (15)$$

$$P_{60} = \frac{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 1, & |x_i - L_{cp}| \leq 0,6/2; \\ 0, & |x_i - L_{cp}| > 0,6/2; \end{cases}}{N_3} \quad (16)$$

производится по следующим формулам. Средняя дальность метания грунта рассчитывается по формуле (15), где x_{cp} – средняя координата x выброшенных грунтометательной машиной элементов грунта;

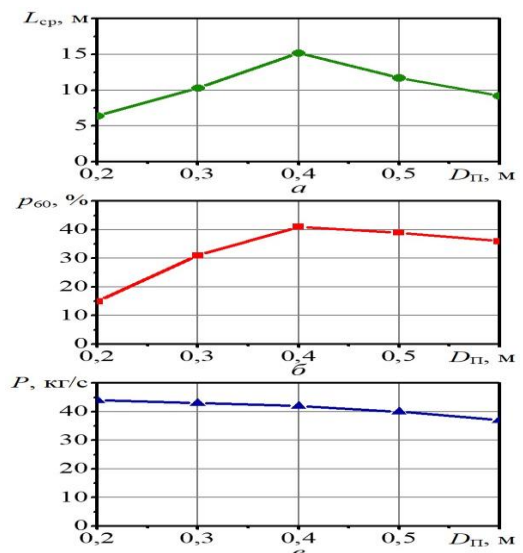


Рисунок 15 – Влияние диаметра почвопровода $D_{п}$ на среднюю дальность метания грунта L_{cp} , доля грунта в полосе шириной 0,6 м p_{60} и производительность грунтометательной машины P

выражением (18),

$$P = \frac{m_{\Gamma}}{t_{\text{КЭ}}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\Sigma}} \begin{cases} m_{\Sigma}, x_i > L_X; \\ 0, x_i \leq L_X. \end{cases}}{t_{\text{КЭ}}} \quad (17)$$

$$N = \frac{A}{t_{\text{КЭ}}} = \frac{\omega}{t_{\text{КЭ}}} \int_0^{t_{\text{КЭ}}} M_{\text{сум}}(t) dt \quad (18)$$

$$\begin{cases} L_{\text{ср}} \rightarrow \max; \\ p_{60} \rightarrow \max; \\ P \rightarrow \max; \\ N \rightarrow \min. \end{cases} \quad (19)$$

ротора в данный момент времени t .

Последующее научное изыскание требует составить диапазоны характеристик машины, при которых наблюдается максимальная эффективность, $L_{\text{ср}}$, p_{60} и P как можно выше, а N – как можно ниже.

В процессе исследования и создания новых грунтометательных машин необходимо учитывать топоологию рельефа местности, склоны и овраги –

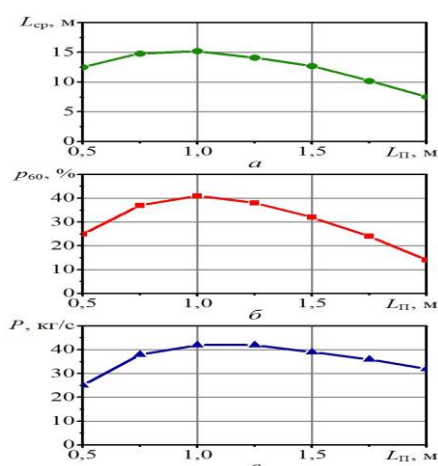


Рисунок 16 – Влияние длины почвопровода $L_{\text{п}}$ на среднюю дальность метания грунта $L_{\text{ср}}$, долю грунта в полосе шириной 0,6 м p_{60} и производительность грунтометательной техники P

где m_{Γ} – масса грунта, выброшенного в течение компьютерного эксперимента, кг; $t_{\text{КЭ}}$ – длительность компьютерного эксперимента, с; A – работа сил сопротивления вращению ротора в течение компьютерного эксперимента; $M_{\text{сум}}(t)$ – суммарный момент сил взаимодействия между элементами грунта и элементарными поверхностями

распространенное явление в лесном массиве. В рамках исследования проведено изучение работы машины на склонах до 20...25°. Проведенное исследование не предоставило возможность оценки работоспособности и критериев качества работы на склонах, а также позволило получить искомые на основании поставленных задач зависимости.

В седьмом разделе «Исследование основных показателей работы грунтометательной машины с гидроприводом грунтометательного механизма и разработка рекомендаций для создания грунтометательных машин» описан процесс создания лабораторного образца машины, приведен план экспериментальных исследований грунтометательной машины,

описаны полученные в процессе данные, выполнен анализ и сделаны выводы. Для создания грунтометательной машины требовалось провести как лабораторные эксперименты в почвенном канале кафедры МЛХиПМ, так и полевые исследования. Были выполнены предварительные исследования по конструктивным и технологическим особенностям грунтометательных машин. Определены основные узлы, которые представлены на рисунке 19.

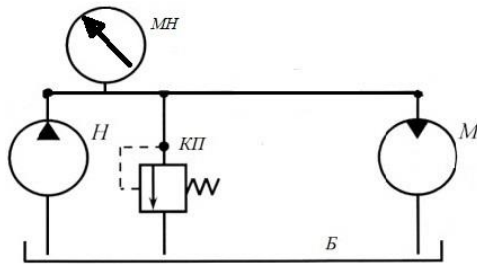
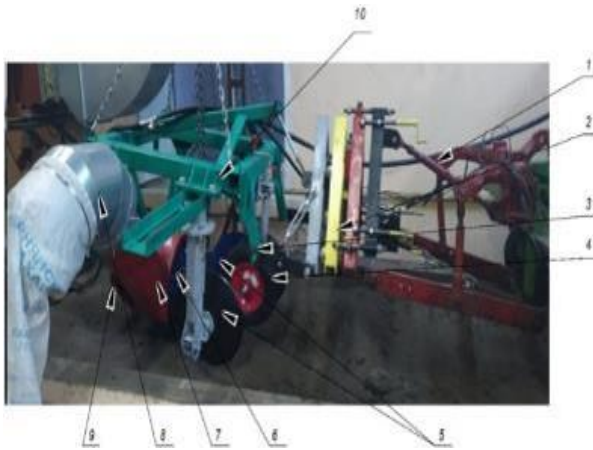
Для проведения расчетов и выполнения анализа использовалась тензометрическая система снятия динамических показателей давления от компании ZetLab.

План исследования предполагал снятие количественных характеристик

объемов подаваемого грунта.

По найденным показаниям требуется выполнить расчет экспериментальной задачи оптимизации $P(\gamma) \rightarrow \min.$ (19).

Исследование графического изображения полученных данных позволяет определить, что показания характеристики гидравлического давления от 9 до 11 МПа в системе, и как следствие, повышенная величина нагрузки на фрезерно-метательный рабочий орган отражена при фиксации летающих лопаток в крайних показаниях с углом $\pm 30^\circ$. В случае, если летающие лопатки устанавливаются в районе нулевой отметки, то по графическому изображению



- а)
- 1 – навеска тележки почвенного канала;
 2 – тензонавеска; 3 – навеска лабораторной установки; 4 – опорные колеса; 5 – дисковые рабочие органы; 6 – фреза-метатель;
 7 – направляющий кожух; 8 – кожух-гаситель; 9 – гидромотор фрезы-метателя; 10 – рама; Н – насос; Б – резервуар для рабочей жидкости; М – гидромотор; КП – гидроклапан предохранительный; МН – манометр

Рисунок 19 – Лабораторная установка для исследования процесса метания грунта (а) и гидравлическая схема (б):

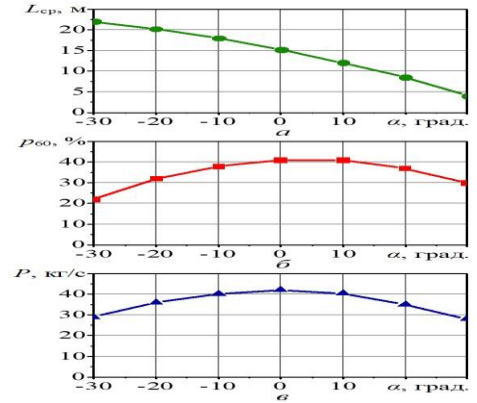


Рисунок 17 – Влияние угла α склона в поперечном направлении на среднюю дальность метания грунта $L_{ср}$, долю грунта в полосе шириной 60 см p_{60} и производительность машины P

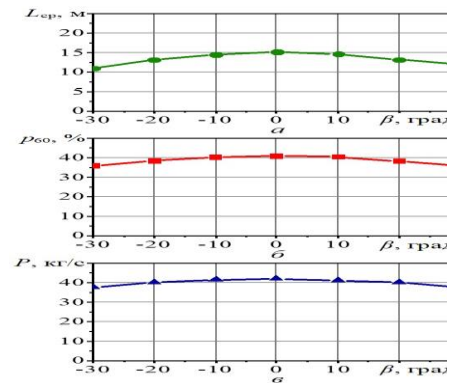


Рисунок 18 – Влияние угла β склона в продольном направлении на среднюю дальность метания грунта $L_{ср}$, долю грунта в полосе шириной 60 см p_{60} и производительность машины P

возможно отследить минимальные всплески гидравлической жидкости на уровне 6...8 МПа.

Поставленная задача относится к задачам нелинейного программирования с нелинейными ограничениями, будем её решать методом аддитивного свертывания критериев оптимизации и сформулируем так (20),

$$Q = \sum_{i=1}^2 \lambda_i y_i \rightarrow \max \quad (20)$$

где Q – обобщенный параметр, определим, как линейную комбинацию откликов (целевых функций y_1 и y_2) с весовыми коэффициентами соответственно λ_1 и λ_2 .

при условиях:

$$\begin{cases} y_1 = 69 + 27,78x_1 - 14,8x_2 + 7,03x_3 + 14,38x_1x_2 - 7,03x_1x_3 - 4,38x_2x_3 = 100 \\ y_2 = 60,4 + 18,35x_1 - 15,2x_2 + 17,45x_1x_2 - 4,55x_1x_3 - 4,9x_2x_3 - 5,25x_7 \leq 100 \end{cases} \quad (21)$$

Определив по регрессионным моделям максимумы и минимумы целевых функции $y_1^+ = y_{1\max}$; $y_1^- = y_{1\min}$, $y_2^+ = y_{2\max}$, $y_2^- = y_{2\min}$, найдем коэффициенты относительного разброса (δ_i) по выражениям (21):

Отсюда: $\delta_1 = 0,97$ и $\delta_2 = 0,95$.

$$\delta_i = \frac{y_i^+ - y_i^-}{y_i^+} = 1 - \frac{y_i^-}{y_i^+} \quad (22)$$

$$\lambda_i = \delta_i / \sum_{k=1}^L \delta_k, \quad \sum_{i=1}^L \lambda_i = 1$$

Весовые коэффициенты определим по выражениям (22):

Тогда: $\lambda_1 \approx \lambda_2 = 0,5$.

Решим поставленную задачу оптимизации при помощи надстройки «Поиск решения» в Excel, найдем оптимальные значения факторов: угол атаки сферических дисков (X_1) – $\alpha = 44^0$; угол установки сферических дисков в вертикальной

плоскости (X_2) – $\beta = 35^0$; расстояние поперечного смещения дисковых рабочих органов (X_3) – $r_d = 25$ см; скорость движения машины (X_4) – $V = 0,83$ м/с.

При этом обеспечивается тушение кромки лесного низового пожара 99 % как в ближней зоне (3 м), так и в дальней зоне (6 м) от машины.

В восьмом разделе «Оценка технико-экономической эффективности и разработка рекомендаций по использованию результатов исследования» описан процесс разработки и исследования грунтометательной техники, были определены факторы, связанные с лесными низовыми пожарами, была изложена обстановка с лесными пожарами. Описан анализ причин и условий, при которых лесной пожар возникает, и выявлены факторы, которые необходимо исключить для остановки продвижения лесного пожара. Выполнен анализ пассивных и активных методов борьбы с лесными пожарами.

Установлены закономерности влияния физических и геометрических параметров лесного грунта на эффективность пожаротушения.

Грунтометательная техника при дополнительном оснащении органами предварительной обработки почвы и подготовки почвенного вала может работать в различных категориях лесных площадей (насаждения, вырубки,

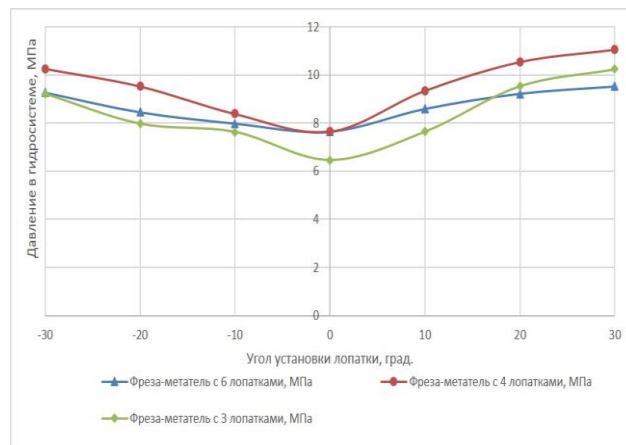


Рисунок 20 – Изменение величины давления в гидроприводе фрезы-метателя с 6, 4 и 3 лопатками в зависимости от угла установки лопаток

гари и т.д.), на песчаных, супесчаных почвах без каменистых включений с толщиной подстилки не более 6 см. Может выполнять весь комплекс операций по созданию минерализованных полос, также при наличии в грунте отдельных включений в виде пней, валежника и др. Кроме того, грунтометательная техника обеспечивает работу в молодняках 1-го класса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ основных характеристик лесной пирологии, рассмотрены способы тушения лесных пожаров и применяемые технические решения для остановки движения кромки лесного низового пожара, приведены применяемые методы исследований взаимодействия рабочих органов с окружающей средой, выделены перспективы использования и области применимости данных для борьбы с лесными пожарами грунтом.

2. Разработана имитационная модель процессов распространения тепла и проявления лесного пожара в нижнем ярусе лесной биомассы и верхних слоях лесной почвы, а также механического и теплового взаимодействия потока грунта с элементами лесной подстилки. На основе разработанной модели получены значимые характеристики для процесса тушения лесного пожара грунтом:

- поток грунта должен составлять 30-50 кг/с, в этом случае обеспечивается высокая вероятность более 0,99 тушения кромки лесного низового пожара, и потребляемая грунтометательной машиной мощность не превышает 9,3 кВт;

- при потоке грунта 20 кг/с вероятность тушения лесного пожара составляет 0,79 при относительно низкой потребляемой грунтометательной машиной мощности 5,2 кВт. В зависимости от вида грунта может быть различной эффективность тушения лесного пожара.

Для надёжного тушения кромки лесного низового пожара и низкой мощности метания грунт должен обладать температуропроводностью $6 \dots 10 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

Грунтометательная машина с базовыми настроечными параметрами эффективна при ширине фронта продвигающейся кромки лесного низового пожара не более 0,6 м, при которой обеспечивается вероятность тушения лесного пожара более 0,99. При увеличении ширины полосы грунта до 0,8 м вероятность тушения кромки лесного низового пожара снижается до 0,91.

3. Разработана имитационная модель и программа для ЭВМ, позволяющая исследовать процесс движения в воздушной среде направленного потока частиц грунта, подаваемого грунтометательной машиной. В результате компьютерного эксперимента выявлено, что исходная связность фрагмента грунта оказывает существенное влияние на характер его движения:

- в случае движения связного или не связного, но плотно собранного фрагмента грунта (коэффициент сплошности равен 1,0) оказываются высокой дальность полёта (более 15 м) и минимальным рассеяние потока по скоростям (менее 1,4 м/с) и углам (менее 8°);

- в случае движения рассыпчатого грунта с коэффициентом сплошности менее 0,6 он существенно замедляется воздушной средой, скорость достижения поверхности снижается с 11,8 для сплошного потока до менее 10,3 м/с, происходит существенное рассеяние по скоростям (более 2,8 м/с) и углам (более 17°);

- в случае, когда скорость потока будет достаточно высока для сбивания кромки лесного низового пожара, коэффициент сплошности потока не менее 0,7, скорость достижения поверхности более 11 м/с, ширина формируемой полосы грунта будет составлять менее 0,9 м, потребляемая мощность грунтометательной машины будет составлять менее 6 кВт;

- при использовании для тушения лесного пожара рассыпчатого грунта с коэффициентом сплошности 0,2...0,5 (например, для песчаной и супесчаной лесной почвы) обеспечиваются относительно низкие показатели кучности потока грунта с расстояния тушения лесного пожара 15 м: скорость достижения поверхности 8,8...10,1 м/с, ширина полосы грунта увеличивается до 0,95...1,27 м, потребляемая мощность составляет 6,0...7,6 кВт, рассеяние потока по скоростям – 2,9...3,9 м/с, рассеяние потока по углам – 19...24°.

Поэтому для достижения необходимой кучности потока необходимо приближать машину для тушения лесного низового пожара грунтом на более близкое расстояние к кромке лесного пожара (около 10...11 м).

4. Разработана математическая модель грунтометательной машины, воспроизводящая процесс работы машины для тушения и предупреждения лесных пожаров, которая позволяет определить основные параметры:

- дисковых рабочих органов: оптимальная величина заглубления дисков должна лежать в диапазоне 15...20 см; оптимальный диапазон углов атаки дисков составляет 20...25°; при меньших углах атаки диски неэффективно собирают грунт, а при больших – поток грунта направляется к грунтометательному механизму в неблагоприятном для выброса направлении;

- фрезерных рабочих органов: установлено, что теоретическая частота вращения ротора машины должна находиться в пределах 8 об/с (480 об/мин), при этом обеспечивается высокая производительность машины (47 кг/с), средняя дальность выброса грунта- 12 м, а потребляемая мощность не превышает 10 кВт на один рабочий орган.

- кожуха-направителя: установлено, что оптимальный угол установки почвопровода составляет 39-44 градуса, оптимальная высота установки почвопровода – 0,38-0,42 м. При этом средняя дальность метания грунта составит не менее 14 м, доля грунта, осаждаемого в целевой полосе шириной 0,6 м, будет не менее 30 %, производительность грунтометательной машины – не менее 40 кг/с.

5. Разработана методика и компьютерная программа для цветояркого отделения потока грунта, формируемого грунтометательной машиной, от фона на кадрах видеоряда и определения характеристик потока грунта, которые позволили определить, что:

- на начальной части траектории в угловом диапазоне $34,3...36,5^\circ$ скорость частиц грунта составляет одинаковую величину равную 14 м/с, что свидетельствует о хорошей сфокусированности потока; большой разброс по скоростям наблюдается в нижней части потока, что обусловлено оседанием мелких частиц (пыли) под основным потоком грунта;

- основная масса грунта (около 60 %) оседает в полосе шириной 1,0 м (от $-0,4$ до $0,6$ м), а из остальной массы грунта около 30 % оседают в полосе шириной 2,0 м (от $-0,8$ до $1,2$ м); таким образом, грунтометательная машина формирует достаточно узкую полосу, что способствует тушению кромки лесного низового пожара;

- поток грунта отклонен назад на $15,4^\circ$ от перпендикулярной траектории передвижения трактора. Грунтометательная машина формирует достаточно узкий поток грунта не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскости (угловой разброс не превышает 7°).

6. Грунтометательная машина остается эффективной при углах поперечного склона от -20 до 15° . При этом обеспечивается дальность метания от 10 до 24 м, кучность осадения грунта в полосе шириной 60 см – от 32 до 42 %, производительность машины – от 36 до 42 кг/с. Отклонение угла β в отрицательном или положительном направлении до 30° приводит к снижению дальности метания грунта с 15,2 до 11...12 м, снижению показателя кучности осадения грунта в целевой полосе шириной 60 см с 41 до 36 %, снижению производительности машины с 42 до 38 кг/с.

7. Базовый образец грунтометательной машины показал, что она практически сохраняет эффективность при движении вверх или вниз по склону. Некоторое снижение показателей эффективности машины на 10...20 % при движении вверх или вниз по склону не так значительно, как при движении со значительными углами склона в поперечном направлении, при котором могут снижаться показатели эффективности на 25...75 %.

Основной причиной снижения эффективности машины на склонах является отклонение от оптимальных условий движения потока грунта внутри грунтопровода, поэтому целесообразно использовать грунтопровод с изменяемыми пространственными углами установки, выставляемыми оператором или системой управления в зависимости от появления продольных или поперечных составляющих вектора ускорения свободного падения.

8. Лабораторные и полевые исследования показали, что требуемого объема грунта для тушения кромки от $0,04$ до $0,1$ м³ достаточно для тушения кромки лесного низового пожара; объема $0,04$ м³ для интенсивного охлаждения нагретой поверхности недостаточно для участков, имеющих лесную подстилку, а объем более $0,06$ м³ увеличивает время остывания поверхности.

9. По результатам обработки экспериментальных данных исследования процесса метания грунта фрезой-метателем определено, что монтаж шести лопаток на фрезе-метателе положительно скажется на процессе тушения

лесного низового пожара. Оптимальным значением угла γ их установки является угол -10° .

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, входящих в базу данных Scopus

1. Study of Efficiency of Soil-Thrower and Fire-Break Majer on the Basis of Mathematic Simulation / I. M. Bartenev, S. V. Malyukov, M. A. Gnusov, D. S. Stupnikov // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 9, No. 4. – P. 1008-1018.

2. Modern Designs of Forest Fires Machines for Soil Extinguishment of Fire / I. M. Bartenev, S. V. Malyukov, M. A. Gnusov [et al.] // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2018) : International Symposium on Engineering and Earth Sciences, Grozny, 11–16 ноября 2018 года. – Grozny: Atlantis Press, 2018. – P. 48-53. – DOI 10.2991/isees-18.2018.10.

3. Gnusov, M. A. Theoretical study of forest fire extinguishing machine use / M. A. Gnusov, M. V. Drapalyuk, D. Yu. Druchinin // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies, Krasnoyarsk, 04 марта 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 1515. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 52066. – DOI 10.1088/1742-6596/1515/5/052066.

4. Simulation of layout schemes of soil-throwing machine-tractor units based on articulated load-bearing machines / M. A. Gnusov, M. V. Drapalyuk, M. N. Lysych [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, Russia, 31 июля 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 919. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 32023. – DOI 10.1088/1757-899X/919/3/032023.

5. Improving the efficiency of forest fire prevention and suppression with of forest fire machine / M. A. Gnusov, P. I. Popikov, S. V. Malyukov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, Russia, 31 июля 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 919. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 32025. – DOI 10.1088/1757-899X/919/3/032025.

6. Increasing the efficiency of the working process of a forest fire ground-sweeping machine with an energy-saving hydraulic drive of the throwing rotor / P. I. Popikov, M. A. Gnusov, V. P. Popikov, A. V. Sharov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Rostov-on-Don, 20–22 октября 2020 года. – Rostov-on-Don, 2020. – P. 012021. – DOI 10.1088/1757-899X/1001/1/012021.

7. Simulation modeling of the soil flow movement process in the air, supplied by a ground gun while extinguishing a forest fire / M. A. Gnusov, M. V. Drapalyuk, P. I. Popikov, D. Yu. Druchinin // IOP Conference Series: Materials

Science and Engineering, Rostov-on-Don, 20–22 октября 2020 года. – Rostov-on-Don, 2020. – P. 012057. – DOI 10.1088/1757-899X/1001/1/012057.

8. Gnusov, M. A. Volumetric dynamometer units for laboratory and field testing of tillage equipment / M. A. Gnusov, M. N. Lysych, D. Yu. Druchinin // Journal of Physics: Conference Series : II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021), St.Petersburg, 03–06 марта 2021 года. Vol. 1889. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 52047. – DOI 10.1088/1742-6596/1889/5/052047.

9. Electromechanical stand for the process of throwing soil with a cutter-thrasher / M. A. Gnusov, M. V. Drapalyuk, D. Yu. Druchinin, L. D. Bukhtoyarov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, Russia, 29–31 июля 2021 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Vol. Volume 1181. – Krasnoyarsk, Russia: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 12023. – DOI 10.1088/1757-899X/1181/1/012023.

10. Studies of the traction characteristics of the opener of a forestry seeder for a nursery / M. A. Gnusov, M. V. Drapalyuk, D. Yu. Druchinin [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2021 года. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 042048. – DOI 10.1088/1755-1315/981/4/042048.

11. Laboratory studies of extinguishing a forest ground fire with soil / M. A. Gnusov, M. V. Drapalyuk, D. Yu. Druchinin, S. V. Zimarin // AIP Conference Proceedings : 2, Krasnoyarsk, 29–31 июля 2021 года. – Krasnoyarsk, 2022. – P. 030031. – DOI 10.1063/5.0094294.

12. Simulation of dynamic processes when a soil-throwing drum meets an obstacle / M. A. Gnusov, M. V. Drapalyuk, D. Yu. Druchinin [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : IV International Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering 2022 (APITECH-IV 2022), Bukhara, 05–08 октября 2022 года. Vol. 2388. – Bukhara: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012095. – DOI 10.1088/1742-6596/2388/1/012095.

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

13. Моделирование рабочего процесса вырезных сферических дисков с гидроприводом лесопожарной грунтометательной машины / М. А. Гнусов, М. В. Драпалюк, П. И. Попиков, Н. А. Шерстюков // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10, № 1(37). – С. 185-192. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/23.

14. Особенности противопожарного обустройства лесов в Российской Федерации / Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов, С. В. Малюков, И. В. Четверикова // Resources and Technology. – 2020. – Т. 17, № 2. – С. 80-96. – DOI 10.15393/j2.art.2020.5302.

15. Математическая модель комбинированного грунтометалосопрокладывателя / М. В. Драпалюк, И. М. Бартенев, М. А. Гнусов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2020. – № 4(48). – С. 97-106. – DOI 10.18324/2077-5415-2020-4-97-106.

16. Результаты экспериментальных исследований режимов работы лесопожарного полосопрокладывателя с гидроприводом вырезных дисковых

рабочих органов / С. В. Зимарин, М. А. Гнусов, В. П. Попиков, Н. А. Шерстюков // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 1(41). – С. 155-162. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/14.

17. Теоретическое исследование кинематических и динамических характеристик шнекового рабочего органа лесопожарной грунтометательной машины / П. И. Попиков, А. К. Поздняков, В. И. Усков [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 3(43). – С. 140-151. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.3/12.

18. Теоретические исследования машины для тушения лесных низовых пожаров почвогрунтом на склонах / М. В. Драпалюк, М. А. Гнусов, Д. Ю. Дручинин [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 2(54). – С. 125-129. – DOI 10.18324/2077-5415-2022-2-125-129.

19. Экспериментальная оптимизация параметров фрезы-метателя лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя / М. В. Драпалюк, П. И. Попиков, П. Э. Гончаров [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12, № 2(46). – С. 100-114. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.2/9.

20. 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. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.2/11.

21. Определение характеристик потока почвогрунта, формируемого лесопожарным грунтометом методами оптического распознавания и оптического измерения / М. А. Гнусов, М. В. Драпалюк, П. И. Попиков [и др.] // Resources and Technology. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 42-63. – DOI 10.15393/j2.art.2022.6423.

22. Развитие исследований силового резания древесины корней саженцев лезвием рабочего органа выкопчного оборудования / Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов, Н. А. Бородин [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 1(41). – С. 111-122. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/10.

В патентах и свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ

23. Патент № 2794575 С1 Российская Федерация, МПК А62С 3/02, А62С 27/00, Е02F 5/00. Машина для борьбы с лесными низовыми пожарами почвогрунтом : № 2022128174 : заявл. 31.10.2022 : опубл. 21.04.2023 / М. В. Драпалюк, Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

24. Патент № 2761919 С1 Российская Федерация, МПК А62С 27/00, А62С 3/02, Е02F 3/18. Комбинированный грунтомет-полосопрокладыватель : № 2021116715 : заявл. 07.06.2021 : опубл. 14.12.2021 / М. В. Драпалюк, М. А. Гнусов, П. Э. Гончаров [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

25. Патент № 2758319 С1 Российская Федерация, МПК А62С 27/00, А62С 3/02, Е02F 3/04. Лесопожарный грунтомет-полосопрокладыватель : № 2021105900 : заявл. 05.03.2021 : опубл. 28.10.2021 / М. А. Гнусов, М. В. Драпалюк, Д. Ю. Дручинин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022668756 Российская Федерация. Программа для оптического определения характеристик направленного потока почвогрунта на основе лабораторных экспериментальных исследований : № 2022668391 : заявл. 11.10.2022 : опубл. 11.10.2022 / М. В. Драпалюк, М. А. Гнусов, Д. Ю. Дручинин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617714 Российская Федерация. Программа для определения характеристик потока почвогрунта, формируемого грунтометом-полосопрокладывателем, на основе оптического распознавания : № 2022617207 : заявл. 25.04.2022 : опубл. 25.04.2022 / М. В. Драпалюк, Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов, В. В. Посметьев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

28. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020617380 Российская Федерация. Программа для моделирования рабочего процесса лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя : № 2020616422 : заявл. 22.06.2020 : опубл. 06.07.2020 / М. А. Гнусов, М. В. Драпалюк, В. В. Посметьев, Н. А. Шерстюков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова».

29. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020617381 Российская Федерация. Программа для моделирования процесса тушения лесного пожара потоком почвогрунта : № 2020616438 : заявл. 22.06.2020 : опубл. 06.07.2020 / М. А. Гнусов, М. В. Драпалюк, В. В. Посметьев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова».

30. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020617382 Российская Федерация. Программа для моделирования движения потока почвогрунта в воздушной среде : № 2020616439 : заявл. 22.06.2020 : опубл. 06.07.2020 / М. А. Гнусов, М. В. Драпалюк, В. В. Посметьев, А. Ф. Петков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова».

В сборнике научных трудов и материалов конференций

31. Гнусов, М. А. Имитационное моделирование работы грунтометательной машины / М. А. Гнусов, С. В. Малюков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 5-2(16-2). – С. 232-235. – DOI 10.12737/16013.

32. Малюков, С. В. Конструкции машин для тушения лесных пожаров грунтом / С. В. Малюков, Д. С. Ступников, М. А. Гнусов // Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновленных лесных экосистем : Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию высшего лесного образования в г. воронеж и цчр россии, Воронеж, 04–06 октября 2018 года. Том 2. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2018. – С. 56-62.

33. Гнусов, М. А. Орудия с фрезерными рабочими органами для локализации и профилактики лесных низовых пожаров / М. А. Гнусов, Д. Ю. Дручинин // Молодежная наука как фактор и ресурс опережающего развития : сборник статей II Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 09 февраля 2020 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2020. – С. 181-186.

34. Гнусов, М. А. Имитационная модель направленного потока грунта лесопожарного полосопрокладывателя с комбинированными рабочими органами / М. А. Гнусов // Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества - взгляд в будущее : Сборник статей II Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Минск, 11–12 декабря 2019 года. Том 2. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2020. – С. 38-42.

35. 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.

36. 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.

37. Гнусов, М. А. Анализ существующих численных методов моделирования взаимодействия рабочих органов землеройных и почвообрабатывающих машин с почвенными средами / М. А. Гнусов, М. Н. Лысыч // Воронежский научно-технический Вестник. – 2020. – Т. 3, № 3(33). – С. 128-139. – DOI 10.34220/2311-8873-2020-3-3-128-139.

38. Гнусов, М. А. Имитационное моделирование лесопожарного МТА в среде 3D САПР SOLIDWORKS / М. А. Гнусов, М. Н. Лысыч // Повышение эффективности управления устойчивым развитием лесопромышленного комплекса : Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, 15–16 октября 2020 года / Редколлегия: Е.А. Яковлева [и др.]. – Воронеж: Издательство "Знание-М", 2020. – С. 369-374. – DOI 10.38006/907345-73-7.2020.369.374.

39. Математическая модель рабочего процесса лесопожарного полосопрокладывателя с гидроприводом рабочих органов / М. А. Гнусов, П. И. Попиков, Н. А. Шерстюков, В. П. Попиков // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 09–10 июня 2020 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2020. – С. 231-237.

40. Гнусов, М. А. Обзор перспективных методов имитационных исследований лесных почвообрабатывающих и грунтометательных МТА / М. А. Гнусов, М. Н. Лысыч // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2020. – № 1(2). – С. 30-35.

41. Анализ исследований ротационных рабочих органов с горизонтальной осью вращения / С. В. Малюков, М. А. Гнусов, А. А. Аксенов, М. А. Малюкова // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2020. – № 1(2). – С. 425-429.

42. Драпалюк, М. В. Применение методов макетирования при изучении рабочих процессов грунтометательных агрегатов / М. В. Драпалюк, М. А. Гнусов, Д. Ю. Дручинин // Повышение эффективности лесного комплекса : Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 25 мая 2021 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2021. – С. 56-58.

43. Способы подготовки почвы для создания лесных культур / Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов, Е. В. Поздняков, М. А. Попов // Повышение эффективности лесного комплекса : Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 25 мая 2021 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2021. – С. 58-59.

44. Драпалюк, М. В. Стенд для определения качественных показателей, влияющих на эффективность тушения пожара почвогрунтом / М. В. Драпалюк, М. А. Гнусов, Д. Ю. Дручинин // Современные ресурсосберегающие технологии и технические средства лесного комплекса : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 25–26 ноября 2021 года / Отв. редактор И.В. Четверикова. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 133-136. – DOI 10.34220/MRTTMFC2021_133-136.

45. Гнусов, М. А. Механизация посадки семян хвойных пород с ЗКС при проведении лесовосстановительных работ / М. А. Гнусов, Д. Ю. Дручинин, Н. Ю. Юрьев // Современные ресурсосберегающие технологии и технические средства лесного комплекса : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 25–26 ноября 2021 года / Отв. редактор И.В. Четверикова. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 11-15. – DOI 10.34220/MRTTMFC2021_11-15.

46. Дручинин, Д. Ю. Применение САПР для оценки прочности фрезы-метателя лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя / Д. Ю. Дручинин, М. Н. Лысыч, М. А. Гнусов // 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. 67-69.

47. Классификация факторов, влияющих на процесс тушения лесного низового пожара при помощи почвогрунта / М. А. Гнусов, М. В. Драпалюк, Д. Ю. Дручинин, С. В. Зимарин // Современный лесной комплекс страны: проблемы и тренды развития : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 07 октября 2022 года / Отв. редактор А.А. Платонов. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 103-109. – DOI 10.58168/MFCCSPTD2022_103-109.

48. Дручинин, Д. Ю. Исследование рабочих процессов лесных почвообрабатывающих машин в почвенном канале / Д. Ю. Дручинин, М. А. Попов, М. А. Гнусов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : Материалы XX Международной научно-технической конференции, Вологда, 06 декабря 2022 года / Ответственный редактор Е.А. Иванищева. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2022. – С. 241-245.

49. Математическая модель взаимодействия с грунтом фрезы-метателя лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя / М. А. Гнусов, М. В. Драпалюк, П. И. Попиков, А. Ф. Петков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 159. – С. 110-121. – DOI 10.21515/1990-4665-159-007.

50. Математическое описание взаимодействия элементов почвогрунта с рабочими поверхностями лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя / М. В. Драпалюк, М. А. Гнусов, Д. Ю. Дручинин, В. Е. Клубничкин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2020. – № 2(129). – С. 117-125. – DOI 10.46960/1816-210X_2020_2_117.

Просим принять участие в работе диссертационного совета 24.2.285.01 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ученому секретарю, факс (473) 253-67-02

Гнусов Максим Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Автореферат

Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

Подписано к печати 13.09.2023 г.

Формат 60x90 1/16. Объем 2 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 445

Отпечатано в УОП ФГБОУ ВО «ВГЛТУ» 394087, г. Воронеж, ул. Докучаева, 10