

Анализ конструктивных и технологических особенностей лесохозяйственных грунтометательных машин

М.А. Гнусов^а, Д.Ю. Дручинин^б, М.Н. Лысыч^с, Л.Д. Бухтояров^д

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

^а mgnusov@ya.ru, ^б druchinin.denis@rambler.ru, ^с miklynea@yandex.ru, ^д vglta-mlx@yandex.ru

^а <https://orcid.org/0000-0003-1653-4595>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-2128-2687>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-3764-3873>, ^д <https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>

Статья поступила 25.02.2026, принята 31.03.2026

В статье описана проблематика тушения лесных пожаров лесохозяйственными грунтометательными машинами и рассмотрены вопросы разработки, создания и исследования техники. Существующие технологии и технические средства не в полном объеме способны решить эти задачи. Развитие лесного машиностроения – важная составляющая достижения высоких показателей в сфере лесовосстановления, защиты лесных территорий. Одной из ключевых задач для сохранения глобальной экосистемы является создание высокоэффективной техники. Решение потребует разработки и внедрения специализированной лесохозяйственной техники для реализации универсальных и узкоспециализированных мероприятий в лесном хозяйстве. Направление лесного машиностроения, которое направлено на разработку и создание грунтометательных машин, требует регулярного проведения систематизированных обзорных исследований. Проведённый обзор технических средств позволяет выявить преимущества, недостатки и перспективы их развития. Кроме того, технические решения, реализованные в конструкциях лесохозяйственных грунтометательных машин, могут быть использованы для выполнения широкого перечня лесотехнических операций, в том числе для создания и поддержания агротехнических требований. Эффективность реализуемых мер по обнаружению, предупреждению и тушению лесных пожаров зависит от технических ресурсов, погодных условий, масштабов стихии, а также от уровня подготовки специализированных служб. Лесохозяйственная грунтометательная техника способна удовлетворить потребности лесного хозяйства, выступая в качестве инструмента для тушения пожаров в районах с высокой пожарной опасностью и дефицитом водных ресурсов. В этом контексте заслуживают внимания разработки научных коллективов Воронежа, Санкт-Петербурга и Красноярска, демонстрирующие высокий потенциал для модернизации грунтометательных машин.

Ключевые слова: лесное хозяйство; грунтомет; полосопрокладыватель; машина для тушения лесного пожара; грунт; рабочий орган; инженерный анализ; естественные леса; искусственные леса.

Analysis of the design and technological features of forestry soil-throwing machines

M.A. Gnusov^a, D.Yu. Druchinin^b, M.N. Lysych^c, L.D. Bukhtoyarov^d

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

^a mgnusov@ya.ru, ^b druchinin.denis@rambler.ru, ^c miklynea@yandex.ru, ^d vglta-mlx@yandex.ru/

^a <https://orcid.org/0000-0003-1653-4595>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-2128-2687>,

^c <https://orcid.org/0000-0002-3764-3873>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>

Received 25.02.2026, accepted 31.03.2026

The article describes the problems of extinguishing forest fires using forestry soil-throwing machines and examines the issues of development, creation and research of the equipment. Existing technologies and technical means are not fully capable of addressing these challenges. The development of forestry engineering is an important component of achieving high results in reforestation and the protection of forest areas. One of the key tasks for preserving the global ecosystem is the creation of highly efficient equipment. This solution requires the development and implementation of specialized forestry equipment to carry out both universal and highly specialized forestry measures. The direction of forestry engineering that focuses on the development and production of soil-throwing machines requires regular, systematic review studies. This review of technical means allows one to identify the advantages, disadvantages, and prospects for their development. Furthermore, the technical solutions implemented in the designs of forestry soil-throwing machines can be used to perform a wide range of forestry operations, including establishing and maintaining agrotechnical requirements. The effectiveness of forest fire detection, prevention, and suppression measures depends on technical resources, weather conditions, the scale of the fire, and the level of training of specialized services. Forestry soil-throwing equipment can meet the needs of forestry, serving as a fire suppression tool in areas with high fire hazard and water shortages. In this context, the developments of research teams in Voronezh, St. Petersburg, and Krasnoyarsk are noteworthy, demonstrating the high potential for modernizing soil-throwing equipment.

Keywords: forestry; soil thrower; strip layer; forest fire extinguishing machine; soil; working element; engineering analysis; natural forests; artificial forests.

Введение и обзор литературы по теме исследования. В лесном хозяйстве особое внимание уделяется мерам по профилактике и ликвидации возгораний в лесах. Для противопожарного обустройства особый интерес представляют специализированные машины и агрегаты, предназначенные для создания минерализованных полос, например, полосопрокладыватели и лесохозяйственные грунтометательные машины. Исследование, разработка и создание высокоэффективной техники, имеющей существенный потенциал в борьбе с пожарами в лесных насаждениях, требуют проведения систематического обзора разработок [1].

В данной статье рассматриваются технологические решения, применение которых в лесном хозяйстве позволяет сохранить и обезопасить лесные массивы от уничтожения пожаром, анализ машин позволяет оценить преимущества и недостатки существующих серийных образцов и патентных разработок, а также определить тенденции развития данного вида технических средств для лесного хозяйства [2].

Данные статистики приведены за последние 10 лет (прогнозные и фактические), суммарная площадь лесных массивов в мире составляет около 4,06 млрд га, это около 31 % суши. Почвенные условия в разных районах земной поверхности сильно разнятся, поэтому в рамках исследования для удобства мы будем использовать привязку к странам. В России лесной массив составляет 815 млн га, что соответствует объёму около 20 % от мировых лесов, в Бразилии около 497 млн га, это уже 12 %, в Канаде 347 млн га или 9 %, в США 310 млн га, или 8 %, в Китае 220 млн га или 5 % [3]. Россия обладает крупнейшими лесными площадями в мире, и задача по сохранению, приумножению лесных запасов является актуальной.

Лесные регионы с хвойными и лиственными породами сильно различаются по состоянию и накоплению биологического топлива, которое является одним из ключевых элементов при возникновении и развитии лесных пожаров. В зависимости от типа лесов и возраста лесных насаждений в анализе представлена информация о лесных ресурсах России, где запас древесины составляет порядка 82 млрд м³, хвойные насаждения, такие как сосна, лиственница, ель, кедр и другие составляют 70 % от всего объёма, а лиственные породы: берёза, осина, дуб и другие – 30 %. Ещё одной составляющей, влияющей на горимость, является возрастное наполнение лесного массива, например, молодняк составляет 20 %, средневозрастные 30 %, а спелые и переспелые леса 50 % от всех лесных ресурсов России [4].

В работе А.П. Гераскиной и соавторов отмечено, что пожары являются основной причиной катастрофического сокращения площади лесных насаждений в мире. Пирогенный фактор деструктивно действует на биоразнообразие и функции лесных насаждений [5].

Специалистами лесной отрасли подсчитана статистика и установлено, что наибольшее количество очагов природных возгораний, и как следствие, ущерб, зафиксирован в бореальных лесных районах нашей планеты [6].

Согласно открытым статистическим данным в России по лесным пожарам только в одном 2021 г. сгорело более 8 млн га, что на тот момент было рекордным показателем за последние 10 лет [7]. В 2023 году по данным Рослесхоза было зафиксировано более 12 тыс. лесных пожаров, в 2024 году зафиксировано снижение числа возгораний – около 10,1 тыс.

А.Г. Матвеева в работе [8] приводит данные ФБУ «Рослесозащита», согласно которым ежегодно в нашей стране происходит от 10 до 35 тыс. природных возгораний со средним размером ущерба около 20 млрд руб., а среднегодовая площадь лесных пожаров фиксируется на уровне 5–12 млн га.

В России тушение лесных пожаров осложняется значительными площадями лесных насаждений, многие из которых располагаются в труднодоступной местности [9, 10].

Разрабатываемая лесохозяйственная грунтометательная техника предназначена для эффективного предупреждения и локализации лесных низовых пожаров, которые фиксируются в 70 % случаев от их общего числа.

В настоящее время для борьбы с низовыми пожарами применяется универсальная и специализированная пожарная техника, которая не всегда эффективна в лесных условиях, например, пожарные автомобили с цистернами для воды и насосами [11]. При создании противопожарных полос (минерализованных зон) для остановки распространения огня применяются строительные бульдозеры и сельскохозяйственные тракторы [12]. В условиях бездорожья, труднопроходимой местности и экстремальных климатических условий применяются вездеходы и гусеничная техника [13]. Не теряет своей актуальности ручной инструмент и оборудование, в частности лопаты, топоры, ранцевые огнетушители, применяемые при локальном тушении пожара.

Методика и результаты моделирования. Научные исследования представлены в качестве систематизированной информации по проблеме, вызванной лесными пожарами с обзором технических решений, соответствующих требованиям для тушения и предупреждения лесных пожаров.

Рассматривая наиболее публикуемые направления, следует отметить, что с 2010 по 2020 гг. объём обзоров научно-исследовательских работ значительно увеличился, практически в три раза. Это может быть обусловлено особенностями больших объёмов данных (big data) и потребностью во взвешенных решениях (Elsevier, 2021) [14].

Лесохозяйственная грунтометательная техника наиболее востребована в районах, где рельефные условия позволяют использовать грунт для борьбы с лесным пожаром, и где стандартные технические решения показывают свою функциональную непригодность.

Целью научного исследования является анализ особенностей конструкций, технических средств, предназначенных для предупреждения и тушения лесных пожаров. Особое внимание уделяется оценке технических характеристик и влиянию на окружающую среду, что

позволит сформулировать рекомендации для повышения эффективности противопожарного обустройства лесов.

Применение актуальных методологических стандартов и цифровых инструментов анализа существенно повышает верифицируемость и научную состоятельность полученных выводов.

Объектом исследования выступают лесные пожары и лесохозяйственные грунтометательные машины, предназначенные для предупреждения и тушения лесного пожара.

Результаты. В процессе научного исследования были проанализированы различные инженерно технические решения, конструкции и способы, входящие в рабочий процесс.

Формирователь минерализованных полос [15] представляет собой устройство с рабочим органом, на котором смонтированы спирали, выполненные в виде ломаной кривой (рис. 1).

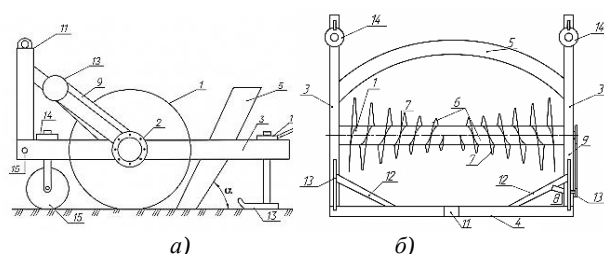


Рис. 1. Формирователь минерализованных полос: *а* – вид с боку, *б* – вид сверху: 1 – шнековый рабочий орган, 2 – подшипниковые опоры, 3 – продольные брусья, 4 – поперечный брус, 5 – формирователь минерализованной полосы, представляющий собой стальной лист с криволинейной поверхностью и вырезом в форме полуэллипса в центральной части, 6 – две спирали, 7 – режущие зубья, 8 – гидромотор, 9 – цепная передача, 10 – проушины для крепления рабочего органа, 11 – тяга для соединения с системой навески трактора, 12 – тяги в вертикальной плоскости, 13 – опорная лыжа, 14 – регулировочный винт, 15 – колесо [15]

Конструкция дополнительно включает опорное колесо и лыжу, соединённую с поперечным брусом, а рабочий орган оснащён зубьями. Орудие предназначено для сельскохозяйственной и противопожарной деятельности. Область применения орудия – создание минерализованных полос для предупреждения развития низовых пожаров. Технический эффект заключается в свободном нарезании борозд, в том числе через дополнительные проходы и возможности обработки задерного грунта.

Сфера деятельности орудия направлена на обработку различных по составу и характеристикам грунтов. Оно обладает высокой экологической безопасностью, что выражено в минимальном повреждении почвы. Еще одной функцией является предупреждение распространения низовых пожаров. Следует отметить, что наличие опорного колеса и лыжи, которые делают конструкцию удобной и облегчают управление и обеспечивают более плавное движение по заданной траектории. Техническая простота орудия достигнута за счёт спирально-пластинчатого рабочего органа с зубьями,

обеспечивающего надёжную работу без сложной механики. Отрицательными факторами можно выделить потенциальные ограничения, например, по скорости работы. Скорость работы снижается на больших площадях, а при поддержании высоких скоростей снижается качество обработки почвы. Ещё одним фактором, влияющим на рабочий процесс и качество обработки, является высокая зависимость от свойств грунта, например, на сильно каменистых или слишком влажных почвах наблюдается снижение эффективности работы. Следует отметить низкую механическую износостойкость узлов, которая выражается в том, что зубья рабочей спирали и лыжа могут быстрее изнашиваться при агрессивной эксплуатации. Орудие может быть тяжёлым или неудобным для транспортировки между лесными участками. Устройство узкоспециализированное, в основном для противопожарных и лесохозяйственных задач и ограничено при работах общего назначения.

Ещё одним рассматриваемым орудием является установка для противопожарной и лесохозяйственной минерализации почвы (рис. 2) [16].

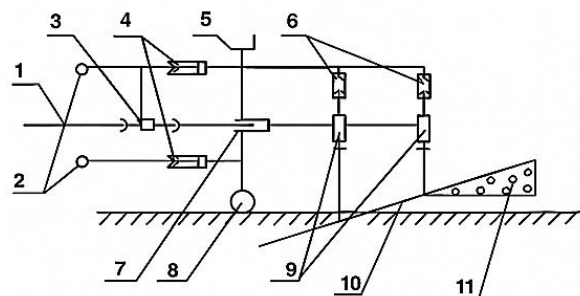


Рис. 2. Установка для противопожарной и лесохозяйственной минерализации почвы: 1 – вал отбора мощности, 2 – шарнирное соединение с трактором, 3 – редуктор, 4 – амортизатор, 5 – регулировочная рукоятка опорных колёс, 6 – амортизатор, 7 – шлицевой вал, 8 – опорные колёса, 9 – валы с эксцентриками, 10 – вибрационная нож-плита, 11 – отверстия в вибрационной нож-плите [16]

Сферой применения изобретения является лесное хозяйство для выполнения противопожарных работ, минерализации почвы и удаления верхнего растительного покрова. Установка выполнена на сварной раме с опорными колёсами. Агрегатируется с тракторами на шарнирно соединённой раме. Рабочий орган представляет собой вибрационный нож-плиту, который работает под углом к поверхности почвы и имеет отверстия для просеивания корней и элементов подстилки. Вибрация создаётся эксцентриками и амортизаторами через привод от ВОМ. Срезанная почва продвигается по плите, подвергается вибрации и просеивается, отделяя корни и слой почвы, насыщенный растительностью. В конструкции существует возможность регулировать глубину обработки.

В качестве преимуществ следует отметить высокое качество и очистку грунта, возможность регулировки для изменения глубины обработки, эффективное отделение корней и подстилки за счёт вибрации. Универсальность орудия позволяет выполнять агрегатирование с лесохозяйственными тракторами.

Ещё одним рассмотренным орудием является торцовая фреза для прокладки минерализованных полос (рис. 3) [17]. Изобретение предназначено для лесопожарных работ. Орудие состоит из ротационных рабочих органов для прокладки противопожарных минерализованных полос, работающих по принципу поперечного фрезерования почвы.

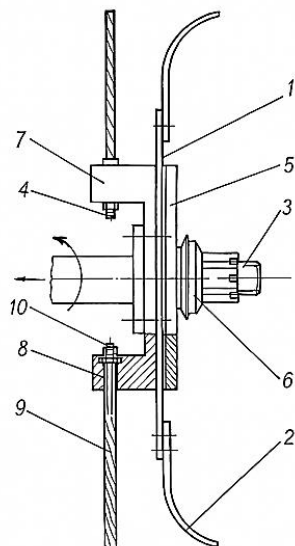


Рис. 3. Торцовая фреза орудия для прокладки минерализованных полос: 1 – диск, 2 – режущие ножи, 3 – горизонтальный вал для крепления диска, 4 – фрикционная муфта, 5 – фрикционная муфта, 6 – тарельчатые пружины, 7 – кронштейны с коническими отверстиями, 8 – закалённые втулки, 9 – концы гибких элементов, 10 – узлы для предотвращения выпадения втулок [17]

Задачей, на решение которой направлено изобретение, является снижение забивания торцевой фрезы во время работы. Рабочий процесс выполнен следующим образом: торцовая фреза с диском и режущими ножами на горизонтальном валу снабжена консольно закреплёнными гибкими элементами, установленными перед ножами, основная цель торцевой фрезы состоит в очистке минерализованной полосы.

В качестве преимуществ следует выделить снижение забивания фрезы, увеличение эффективности работы, простоту конструкции гибких элементов.

В качестве отрицательных и потенциальных ограничений следует выделить требование по дополнительному уходу за гибкими элементами, возможность износа металлического троса при длительной эксплуатации, а также увеличение веса и габаритов фрезы.

Лесохозяйственные грунтометальные машины – это специализированная лесная техника, предназначенная для тушения лесных пожаров путём засыпки кромки огня грунтом или создания минерализованных полос, препятствующих распространению пожара. Они выполняют важную роль в борьбе с низовыми пожарами, особенно в условиях, когда доступ к водным ресурсам ограничен.

Рассмотрим их особенности, преимущества, недостатки и перспективы применения, основываясь на доступной информации и анализе их использования.

Разные модели могут иметь различные принципы действия, но в основе, как правило, лежит использова-

ние мощного механического импульса, который является движущей силой для выбрасывания порции грунта. Процесс метания грунта является циклическим, причём временные промежутки между порциями определены количеством метающих лопаток, в процессе выполнения цикла происходит постепенное заполнение заданной территории.

Что касается направления применения грунтометальной техники для борьбы с лесными пожарами – это достаточно интересная концепция, которая обладает высокой перспективой в ряде случаев. Как было описано выше, чаще всего используются бульдозеры и специальные лесные машины для создания минерализованных полос, но они работают медленно. В активной фазе тушения лесного пожара такие машины вынуждены работать близко к очагу возгорания, что создаёт повышенную опасность. Научные коллективы и крупные предприятия активно занимаются разработкой подобных решений, стремясь создать образец, пригодный для массового производства.

Агрегаты, такие как полосопрокладыватель ПФ-1 или грунтометальные машины, такие как ГТ-3, имеют возможность использоваться только с тракторами, оснащёнными задней навеской, например, модели Т-150К, ДТ-75 и аналогичные. Они выполняют две основные функции: тушение – это когда производится засыпка кромки пожара грунтом, что эффективно для локализации низовых пожаров, в данном случае грунт перекрывает доступ кислорода к горючим материалам, а проведение профилактических работ направлено на создание и подновление минерализованных полос, которые служат преградой, препятствующей распространению лесного пожара.

Инновационная разработка научного коллектива Воронежского государственного лесотехнического университета представляет собой агрегат, способный создавать минерализованные полосы и выбрасывать порции грунта на расстояние до 10–12 метров. При этом обладая возможностью агрегатирования с широким рядом тракторов, оснащённых задним навесным устройством.

Проводя обзорное исследование по лесохозяйственным грунтометальным машинам следует рассмотреть агрегат (рис. 4) [18]. Основным направлением которого является тушение и/или остановка распространения лесного низового огня при помощи минерализованного слоя грунта, что позволит повысить эффективность лесохозяйственной грунтометальной техники.

В качестве преимуществ можно отметить эффективную работу на сложных грунтах с корнями, а также работу на уплотнённых почвах.

В качестве отрицательных сторон и ограничений можно отметить, что конструкция сложна в изготовлении и подготовке к рабочему процессу, имеет высокую стоимость изготовления и обслуживания, множество шарниров и подвижных элементов требуют регулярного технического обслуживания. Возможны сложности при эксплуатации на сильно каменистых почвах, большие габариты могут ограничивать манёвренность в лесу. Отсутствует механизм защиты рабочего органа от камней, корней и иных препятствий, что может приводить к поломкам и сильно ограничивает рабочую зону.

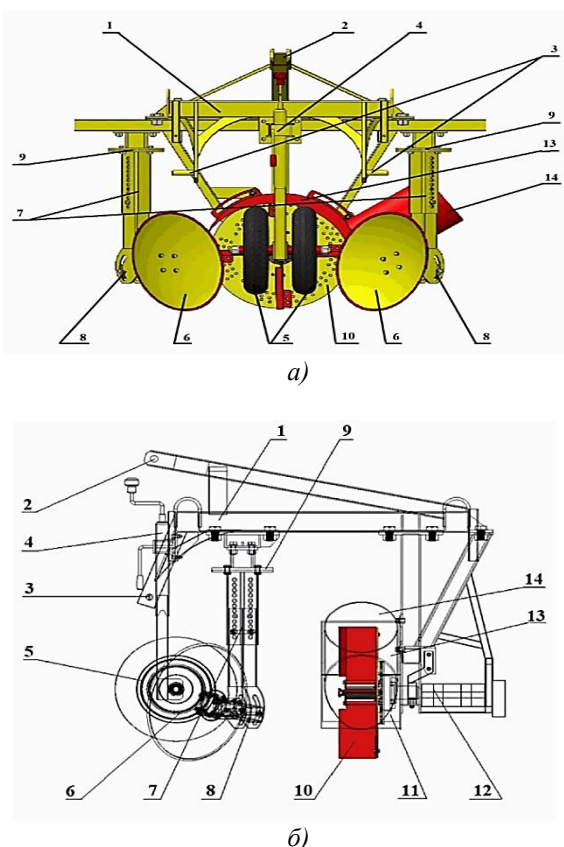


Рис. 4. Машина для борьбы с лесными низовыми пожарами почвогрунтом: *а* – вид сбоку, *б* – вид спереди: 1 – рама, 2 – верхнее навесное устройство, 3 – нижнее навесное устройство, 4 – регулировочный винт, 5 – опорные колёса, 6 – сферические диски, 7 – телескопические стойки, 8 – регулировочные шарниры, 9 – регулировочные узлы, 10 – грунтометательный механизм, 11 – приводной диск, 12 – гидромотор, 13 – защитный кожух, 14 – почвопровод, 15 – сменные лопатки, 16 – грунтометательный диск, 17 – центральный фланец [18]

Лесохозяйственные грунтометательные машины предназначены для борьбы с низовыми пожарами за счёт того, что рабочий процесс основан на засыпке грунтом горящей кромки, а это значительно ускоряет процесс тушения лесного пожара, особенно на песчаных и супесчаных почвах, где вода может быть менее эффективной, а также в районах, где гидрография не позволяет масштабно применять водные ресурсы.

Минерализованные полосы предотвращают распространение огня, что критически важно при предупредительных мероприятиях и на ранних стадиях развития лесного пожара [19]. Заслуживают внимания разработки, подобные Воронежским, Санкт-Петербургским и Красноярским, демонстрирующие высокий потенциал для модернизации грунтометательных машин, которые могут использоваться для тушения и профилактики, что повышает их ценность для лесхозов и отчасти их можно считать универсальными техническими средствами. Совместимость с различными тракторами упрощает интеграцию в существующий парк техники. Исследования показывают, что использование грунтометательных машин может быть экономически оправданным, особенно при регулярном применении в профилактических целях. Техника, агрегируемая с трак-

торами, относительно проста в управлении и обслуживании, что важно для регионов с ограниченными ресурсами.

Как и любая техника, лесохозяйственные грунтометательные машины не лишены недостатков, которые в рамках обзора следует учесть. Они обладают ограниченной функциональностью, показывая наибольшую эффективность в основном при низовых пожарах. При верховых или торфяных пожарах их возможности ограничены, так как грунт не может эффективно тушить огонь на кронах деревьев или глубоко в торфе [20]. Машины обладают сильной зависимостью от типа почвы, на каменистых или сильно заболоченных почвах эффективность машин снижается, так как выброс грунта может быть затруднён. А вследствие того, что метание является сложным процессом из-за вырезания объёма грунта и баллистической составляющей и фазы взаимодействия с огнём, то и процесс подготовки почвенного пласта имеет существенное значение. В некоторых случаях может наблюдаться недостаточный объём покрытия. Некоторые модели, такие как ПФ-1 и ГТ-3, покрывают тонким слоем грунта горящую поверхность, что не всегда гарантирует надёжное гашение или создание прочного барьера. Ещё одним фактором в условиях лесного массива является мобильность и проходимость техники при оперативности применения. Тракторная база, особенно колёсная, может быть менее проходимой в густых лесах или на пересечённой местности по сравнению с гусеничными вездеходами. В России лесохозяйственные грунтометательные машины используются реже, чем пожарные автоцистерны или авиация, из-за недостаточной осведомлённости лесхозов о возможностях применения и ограниченным финансированием на закупку новой техники, что в том числе вызывает их ограниченное распространение.

Рассматривая лесохозяйственную грунтометательную технику, следует представить сравнение с другими методами. Наиболее распространёнными средствами являются вода, водные растворы и специализированная пена. При сопоставлении этих средств с грунтометательными машинами следует выделить, что последние не зависят от источников воды, но менее универсальны для различных типов пожара, вода и другие растворы эффективны при всех типах пожара. Пенообразователи проникают в почву лучше, чем грунт, при торфяных пожарах. В сравнении с лопатами и мотыгами, применяемыми специализированными службами, следует учитывать производительность и трудозатратность. Грунтометательные машины значительно ускоряют процесс, но требуют технических ресурсов и подготовленных квалифицированных операторов. При сравнении с авиацией, которая покрывает большие площади при использовании, но при этом является дорогостоящей, и имеет сильную зависимость от погоды и видимости, применение грунтометательных машин значительно дешевле, но при этом имеет ряд ограничений, например, при сравнении скорости покрытия больших площадей или применения в труднопроходимых районах.

Для широкого внедрения нужны субсидии на закупку, разработку и т. д., обучение персонала лесхозов и специалистов в специализированных центрах, проведение дополнительных научных исследований для воз-

возможности применения с другими методами, например, авиация, спутниковый мониторинг. В развивающихся странах с ограниченными ресурсами подобные машины могли бы быть востребованы. Грунтометательные машины – это недооценённый, но перспективный вид технических ресурсов, предназначенный для тушения и профилактики лесных пожаров, особенно в условиях ограниченного доступа к воде. Не стоит переоценивать возможности грунтометательных машин, их эффективность сильно зависит от условий и типа почвы, вида пожара, ветра, густоты поросли и т. д., и без системного подхода, профилактики, раннего обнаружения и т. д. они не решат проблему лесных пожаров. Важно учитывать экологический аспект, так как грунтометание относится к экологическим методам борьбы с лесным пожаром [21].

Исследования показывают, что лесохозяйственные грунтометательные машины показывают эффективность в условиях низовых лесных пожаров. В работе [22] учёные изучили их применение, подчеркнув важность создания быстро возводимых заградительных полос. Международные исследования, такие как работа [23], подчёркивают роль грунтометательных методов в снижении пожарной опасности, что дополняет анализ по лесохозяйственным грунтометательным машинам. Проведённый анализ включал сравнение ключевых параметров: производительность, дальность выброса, ширина полосы, тип шасси и мощность двигателя [24].

Обсуждение и рекомендации. Изучая материал, представленный в публикации, можно отметить, что он полностью соответствует выбранной схеме исследования. В научном исследовании приняты во внимание основные технические характеристики и применимость лесохозяйственных грунтометательных машин, таких как ГТ-3, АЛФ-10, ГС, Грунтомет 350, которые предназначены для профилактики, например, создание минерализованных полос или расчистку потенциально опасных участков и активного тушения лесных низовых пожаров. В работе представлен материал средств, применяемых при противопожарных мероприятиях, например, авиация, пожарные автоцистерны, бульдозеры и тракторы, ручные методы (лопаты, ранцевые огнетушители), пенные и водные растворы. В выводах указываются результаты: эффективность грунтометов для низовых пожаров, экономичность и экологичность, ограничения (почвы, проходимость, вид пожара), перспективы внедрения и модернизации. В районах Сибири предпочтительно использовать лесохозяйственную грунтометательную технику в сцепке с тракторами на гусеничном ходу: это обусловлено фактом наличия на пути движения заболоченных участков и труднопроходимых районов, а в европейской части Российской Федерации отмечено применение с тракторами на колёсной базе из-за возможного перемещения по дорогам общего пользования и наличия лесных дорог. При рассмотрении следует учитывать стоимость лесопожарной техники: зарубежные технические ресурсы дороже российских моделей, что делает отечественную технику экономически выгодной.

Машинно-тракторный парк специализированных служб подобран с целью универсальности и масштабов применения. Таким образом, разрабатываемая

лесохозяйственная техника должна подходить под критерии энергетической базы. В связи с этим рассматриваемые агрегаты ГТ-3, АЛФ-10 и ГС предоставляют гибкость применения, что уменьшает расходы, при наличии МТА у специализированных служб. Оценочная производительность соизмерима с рядом рассматриваемых моделей в работе. Стоит учитывать, что мощность трактора играет одну из ключевых составляющих, что ограничит их применение в районах с ограниченной технической базой.

В работе [25] представлены исследования «Ручного грунтомета 350», который предназначен для узкоспециализированных операций. Такая модель грунтомета является мобильной и значительно меньше весит (55 кг) по сравнению с тракторными аналогами, это открывает ряд преимуществ, в частности, в труднодоступных районах, не позволяющих использовать тракторные лесохозяйственные грунтометательные средства.

Анализ информации указывает на то, что тракторные лесохозяйственные грунтометательные машины имеют потенциал, показывая экологичность и экономичность процесса в ряде районов с ограниченными ресурсами.

Разработка и создание образцов лесохозяйственной грунтометательной техники, показывающей высокие показатели эффективности, потребует оптимизации производственных процессов для российских моделей с целью увеличения их конкурентоспособности по сравнению с зарубежными аналогами. Важным фактором для снижения расходов является адаптация под уже существующую тракторную базу. Потребуется адаптация лесохозяйственных грунтометательных машин для проведения работ в труднодоступных районах. В качестве конструктивных и технологических усовершенствований рекомендуется применение модульной конструкции, позволяющей быстро менять рабочие органы для создания минерализованных полос, засыпки кромок огня или профилактических работ и рассмотреть возможность и потенциал при сочетании с применением в составе комплекса совместно с другими средствами.

Заключение. Грунтометательные машины представляют собой перспективное направление в развитии лесохозяйственных средств, обеспечивающих формирование минерализованных полос и земляных барьеров для тушения и профилактики лесных пожаров, особенно в условиях дефицита водных ресурсов и высокой пожарной опасности. Для минимизации ущерба от лесных пожаров целесообразно интегрировать грунтометательные машины в комплексные системы пожаротушения, что окажет положительное влияние на сохранение глобальных лесных экосистем.

Обзор патентных решений и существующих моделей, в том числе таких, как ГТ-3, АЛФ-10, ГС и других, демонстрирует преимущества, выраженные в совместности с тракторной базой, которая находится в большинстве специализированных служб высокой производительности за счёт применения грунта и экономической эффективности по сравнению с водными или авиационными методами. Однако выявленные ограничения основаны на зависимости от типов грунтов, снижении эффективности при верховых и торфяных пожарах,

а также потребности в подготовленных участках для проходимости и интеграции с цифровыми технологиями.

В качестве перспектив развития грунтометаллических машин можно отметить оптимизацию кинематики μεταющих органов, использование цифровых технологий мониторинга и управления процессом тушения пожа-

ров, учёт специфики эксплуатации в условиях сложного рельефа и различных типов почв.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-19-00876, <https://rscf.ru/project/25-19-00876/>.

Литература

- Шленская Н.М., Хорохорина Г.А. Систематический обзор и особенности его написания // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. №. 1. С. 8–13. DOI: 10.36107/spfr.2021.182
- Zachko O.B., Chalyy D.O., Kobylkin D.S. Models of technical systems management for the forest fire prevention // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovy Visnyk. 2020. No 5. pp. 129–135. DOI: 10.33271/nvngu/2020-5/129
- World Wide Fund for Nature. Emergency Amazon Fire Fund Report – May 2021 [Электронный ресурс]. WWF, 2021. 34 с. URL: https://www.worldwildlife.org/publications?place_id=amazon (дата обращения: 09.09.2025).
- Леса и сельскохозяйственные земли России в аспекте [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studylib.ru/doc/3886272/lesa-i-sel._skhozyajstvennyye-zemli-rossii-v-aspekte (дата обращения: 06.05.2025). DOI: Not assigned
- Гераскина А.П., Тебенькова Д.Н., Ершов Д.В., Ручинская Е.В., Сибирцева Н.В., Лукина Н.В. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4, № 2. DOI 10.31509/2658-607x-202142-11.
- Voronova O. S. et al. Strong Wildfires in the Russian Federation in 2021 Detected Using Satellite Data Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2023. DOI: 10.1134/S0001433822090225
- Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс] URL: <https://rosleshoz.gov.ru/> (дата обращения 12.09.2025)
- Матвеева А.Г. Динамика лесных пожаров на Дальнем Востоке России // Сибирский лесной журнал. 2021. № 6. С. 30–38. DOI 10.15372/SJFS20210603.
- Perminov V.V., Vorobiev D.S., Kasymov D.P., Perminova V.V. Technologies for the prevention and extinguishing of wildfires in Russia and the world: the dynamics of patent activity and patentological prospects // RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2022. Vol. 30, No. 3. pp. 227–239. DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-227-239
- Шагарова Ю.О., Кулагина Л.В. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России [Электронный ресурс] // 2022. DOI: 10.33682/abc123
- Jones M.W. et al. State of wildfires 2023–2024 // Earth System Science Data. 2024. Т. 16. №. 8. С. 3601–3685.
- Demange M., Di Fonso A., Di Stefano G., Vittorini P. Graph theoretical approach to the firebreak locating problem // *ArXiv preprint*, 2021. DOI: Not assigned
- Бурмистрова О.Н., Чемшикова Ю.М., Григорьев И.В., Рудов С.Е., Куницкая О.А. Анализ исследований взаимодействия гусеничного движителя вездеходных машин со слабонесущим почвогрунтом [Электронный ресурс] // Resources and Technology. 2020. Vol. 17, No 1. Pp. 29–62. Режим доступа: <https://rt.petsu.ru/journal/article.php?id=5142> – DOI: 10.15393/j2.art.2020.5142.
- Михайлова Е.С., Марков Д.И., Артемьева Е.Н. Анализ публикационной активности: обзоры в потоке научной информации (2010–2019) // Научный редактор и издатель. 2020. Т. 5, № 2. С. 86–95. DOI: 10.24069/2542-0267-2020-2-86-95
- Патент на полезную модель № 148084 U1 Российская Федерация, МПК A01B 21/00. формователь минерализованных полос : № 2014116436/13 : заявл. 23.04.2014 : опубл. 27.11.2014 / Э.Р. Ерусланова, А.С. Безруков, В.В. Слюсаренко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».
- Патент на полезную модель № 107884 U1 Российская Федерация, МПК A01B 35/00. установка для противопожарной и лесохозяйственной минерализации почвы : № 2011100204/13 : заявл. 11.01.2011 : опубл. 10.09.2011 / А.Н. Сухих, Е.М. Рунова, С.А. Чжан [и др.] ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Братский государственный университет».
- Патент № 2213184 C1 Российская Федерация, МПК E02F 5/08. торцовая фреза орудия для прокладки минерализованных полос : № 2002107628/03 : заявл. 25.03.2002 : опубл. 27.09.2003 / Г.Д. Главацкий, В.А. Шмаков, С.Г. Главацкий ; заявитель «Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства».
- Патент № 2794575 C1 Российская Федерация, МПК A62C 3/02, A62C 27/00, E02F 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».
- Правила противопожарного режима в Российской Федерации : утв. постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 (ред. от 30.12.2023). Ст. 71 «Минерализованные полосы». Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/> (дата обращения: 12.05.2025).
- Гаг С.В. Особенности тушения лесных пожаров с учетом минерализованных полос // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №. 12–1 (54). С. 125–129.
- Puig-Gironès R. et al. The use of fire to preserve biodiversity under novel fire regimes // Philosophical Transactions B. 2025. Vol. 380. No 1924. pp. 20230449.
- Малюков С.В., Бартенев И.М. и др. (2015) Эффективность применения грунтомета в условиях высокой пожароопасности / И.М. Бартенев, С.В. Малюков, С.С. Кириллова // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5, № 3(19). С. 200–209. DOI 10.12737/14168.
- Kimberley T. Davis, Jamie Peeler, Joseph Fargione, Ryan D. Haugo et al. Tamm review: A meta-analysis of thinning, prescribed fire, and wildfire effects on subsequent wildfire severity in conifer-dominated forests of the Western US // Forest Ecology and Management. 2024. Vol. 561. Article 121885. DOI: 10.1016/j.foreco.2024.121885.
- Drapalyuk M.V. Forest fires: methods and means for their suppression / M. Drapalyuk, D. Stupnikov, D. Druchinin, E. Pozdnyakov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. 226. 012061. doi:10.1088/1755-1315/226/1/012061.
- Федорченко И.С., Куриленко Н.И. Малогабаритный грунтомет на базе мотоблока // Машиностроение: новые концепции и технологии. 2018. С. 82–87.

References

- Shlenskaya N.M., Khorokhorina G. A. Systematic review and features of its writing // Storage and processing of agricultural raw materials. 2021. No. 1. P. 8–13. DOI: 10.36107/spfp. 2021.182.
- Zachko O.B., Chalyy D.O., Kobylkin D.S. Models of technical systems management for the forest fire prevention // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk. 2020. No 5. pp. 129–135. DOI: 10.33271/nvngu/2020-5/129
- World Wide Fund for Nature. Emergency Amazon Fire Fund Report – May 2021 [Электронный ресурс]. WWF, 2021. 34 с. URL: https://www.worldwildlife.org/publications?place_id=amazon (дата обращения: 09.09.2025).
- Forests and agricultural lands of Russia in aspect [Electronic resource]. Access mode: https://studylib.ru/doc/3886272/lesai-sel_skohozyajstvennye-zemli-rossii-v-aspekte (date of access: 06.05.2025). DOI: Not assigned.
- Geraskina A.P., Tebenkova D.N., Ershov D.V., Ruchinskaya E.V., Sibirtseva N.V., Lukina N.V. Fires as a factor in the loss of biodiversity and functions of forest ecosystems // Issues of Forest Science. 2021. Vol. 4, No. 2. DOI 10.31509/2658-607x-202142-11.
- Voronova O. S. et al. Strong Wildfires in the Russian Federation in 2021 Detected Using Satellite Data *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2023. DOI: 10.1134/S0001433822090225
- Federal Forestry Agency [Electronic resource] URL: <https://rosleshoz.gov.ru/> (date of access 09/12/2025).
- Matveeva A.G. Dynamics of forest fires in the Russian Far East // *Siberian Forestry Journal*. 2021. No. 6. P. 30–38. DOI 10.15372/SJFS20210603.
- Perminov V.V., Vorobiev D.S., Kasymov D.P., Perminova V.V. Technologies for the prevention and extinguishing of wildfires in Russia and the world: the dynamics of patent activity and patentological prospects // *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022. Vol. 30, No. 3. P. 227–239. DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-227-239
- Shagarova Yu.O., Kulagina L.V. Satellite monitoring of forest fires in Russia [Electronic resource] // 2022. DOI: 10.33682/abc123.
- Jones M.W. et al. State of wildfires 2023–2024 // *Earth System Science Data*. 2024. T. 16. №. 8. C. 3601–3685.
- Demange M., Di Fonso A., Di Stefano G., Vittorini P. Graph theoretical approach to the firebreak locating problem // *ArXiv preprint*, 2021. DOI: Not assigned
- Burmistrova O.N., Chemshikova Yu.M., Grigoriev I.V., Rudov S.E., Kunitskaya O.A. Analysis of studies of the interaction of the tracked drive of all-terrain vehicles with weak soil [Electronic resource] // *Resources and Technology*. 2020. Vol. 17, No. 1. Pp. 29–62. Access mode: <https://rt.petrus.ru/journal/article.php?id=5142> DOI: 10.15393/j2.art.2020.5142.
- Mikhailova E.S., Markov D.I., Artemyeva E.N. Analysis of publication activity: reviews in the flow of scientific information (2010–2019) // *Scientific editor and publisher*. 2020. Vol. 5, No. 2. Pp. 86–95. DOI: 10.24069/2542-0267-2020-2-86-95.
- Patent for Utility Model No. 148084 U1 Russian Federation, IPC A01B 21/00. Former of mineralized strips: No. 2014116436/13: declared 23.04.2014: published 27.11.2014 / E.R. Eruslanova, A.S. Bezrukov, V.V. Slyusarenko [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov".
- Patent for Utility Model No. 107884 U1 Russian Federation, IPC A01B 35/00. Installation for fire-fighting and forestry soil mineralization: No. 2011100204/13: declared 11.01.2011: published 10.09.2011 / A.N. Sukhikh, E.M. Runova, S.A. Zhang [et al.]; applicant State Educational Institution of Higher Professional Education "Bratsk State University".
- Patent for Utility Model No. 107884 U1 Russian Federation, IPC A01B 35/00. Installation for fire-fighting and forestry soil mineralization: No. 2011100204/13: declared 01/11/2011: published 09/10/2011 / A.N. Sukhikh, E.M. Runova, S.A. Zhang [et al.]; applicant State Educational Institution of Higher Professional Education "Bratsk State University".
- Patent No. 2794575 C1 Russian Federation, IPC A62C 3/02, A62C 27/00, E02F 5/00. Machine for fighting forest ground fires with soil: No. 2022128174: declared 31.10.2022: published 21.04.2023 / M.V. Drapaluk, D.Yu. Druchinin, M.A. Gнусов [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov".
- Fire safety regulations in the Russian Federation: approved by RF Government Resolution No. 1479 of September 16, 2020 (as amended on December 30, 2023). — Art. 71 "Mineralized strips". — Access mode: <http://publication.pravo.gov.ru/> (accessed: May 12, 2025).
- Gaag S.V. Features of extinguishing forest fires taking into account mineralized strips // *International Research Journal*. 2016. No. 12–1 (54). P. 125–129.
- Puig-Gironès R. et al. The use of fire to preserve biodiversity under novel fire regimes // *Philosophical Transactions B*. 2025. Vol. 380. No 1924. pp. 20230449.
- Malyukov S.V., et al. (2015) Bartenev I.M. Efficiency of using a soil thrower in conditions of high fire hazard / I.M. Bartenev, S.V. Malyukov, S.S. Kirillova // *Forestry journal*. 2015. Vol. 5, No. 3 (19). P. 200–209. DOI 10.12737/14168.
- Kimberley T. Davis, Jamie Peeler, Joseph Fargione, Ryan D. Haugo et al. Tamm review: A meta-analysis of thinning, prescribed fire, and wildfire effects on subsequent wildfire severity in conifer-dominated forests of the Western US // *Forest Ecology and Management*. 2024. Vol. 561. Article 121885. DOI: 10.1016/j.foreco.2024.121885.
- Drapalyuk M.V. Forest fires: methods and means for their suppression / M. Drapalyuk, D. Stupnikov, D. Druchinin, E. Pozdnyakov // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. 226. 012061. doi:10.1088/1755-1315/226/1/012061.
- Fedorchenko I.S., Kurilenko N.I. Small-sized soil thrower based on a walk-behind tractor // *Mechanical engineering: new concepts and technologies*. 2018. P. 82–87.