

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7943

УДК 630*432

Статья

Многофакторные полевые исследования рабочего процесса лесохозяйственной грунтометательной машины

Драпалюк Михаил Валентинович

доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), md@vglta.vrn.ru

Гнусов Максим Александрович

доктор технических наук, руководитель лаборатории лесного машиностроения, Инжиниринговый центр, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), tgnusov@yandex.ru

Дручинин Денис Юрьевич

кандидат технических наук, заведующий кафедрой механизации лесного хозяйства и проектирования машин, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), druchinin.denis@rambler.ru

Зимарин Сергей Викторович

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), sezimarin@yandex.ru

Поздняков Евгений Владиславович

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), pozd.ev@yandex.ru

Петков Александр Федорович

кандидат технических наук, инженер, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), alexanderpetkoff@mail.ru

Получена: 19 апреля 2024 / Принята: 7 августа 2024 / Опубликовано: 12 сентября 2024

Аннотация: Лесной массив представляет собой естественный восстанавливаемый источник ресурсов. Перед обществом поставлена важная задача — сохранение лесов сегодня, чтобы они были завтра. Существует большое количество факторов, которые способствуют уничтожению лесных массивов, одним из которых

является лесной пожар. Лесной низовой пожар имеет по своей структуре неконтролируемое распространение огня по лесному массиву, несущее разрушительный характер для живых организмов. Такой вид стихийного бедствия наносит непоправимый ущерб животному миру. Существует высокая потребность в разработке технико-технологических ресурсов по тематике пожаротушения и в создании высокоэффективных машин для борьбы со степными и лесными низовыми пожарами. Научно-технический прогресс с каждым годом движется всё быстрее, и новые, регулярно возникающие вызовы провоцируют появление устойчивой потребности в новых машинах или совершенствовании уже разработанных, что может быть обозначено как приоритетная цель, к которой необходимо двигаться обществу. За 2023 г. объём лесных пожаров в Российской Федерации составил около 4,3 млн. га. Этот показатель выше предыдущего года почти на треть: по официальным данным, в 2022 г. было уничтожено пожаром 3,3 млн га лесных массивов. В качестве технических ресурсов, обеспечивающих выполнение нескольких операций, можно выделить лесохозяйственную грунтометательную технику. На сегодняшний день такой вид технических ресурсов приобрёл значительную актуальность и востребованность. Лесохозяйственная грунтометательная техника показывает хорошие результаты на лёгких песчаных почвах за счёт механизации процесса порционного перемещения грунта на кромку лесного низового пожара. Таким образом, достигается процесс сбивания открытого пламени. Объёмная масса грунта, насыпаемая сверху на поверхность, по которой только что прошёл огонь, позволяет предупредить повторное возгорание и распределить накопленную тепловую энергию в различных направлениях, охлаждая эту поверхность. Создаваемая на пути пожара минерализованная полоса делает практически невозможным (равное 99 %) продвижение кромки огня вглубь лесных массивов. Определены параметры лесохозяйственной грунтометательной машины, оказывающие определяющее влияние на процесс гашения очага возгорания. К ним относятся угол атаки сферических дисков; угол установки сферических дисков в вертикальной плоскости; расстояние поперечного смещения дисковых рабочих органов; скорость движения агрегата. Получены регрессионные модели влияния вышеназванных параметров лесохозяйственной грунтометательной машины на полноту гашения очага возгорания на расстояниях 3 м от машины, адекватно описывающие процесс гашения.

Ключевые слова: лесохозяйственная грунтометательная машина; корреляционно-регрессионный анализ; разведывательный эксперимент; полнота гашения пожара

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7943

Article

Multifactorial field studies of a forestry soil-throwing machine performance

Mikhail Drapalyuk

DSc. in engineering, professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), md@vglta.vrn.ru

Maxim Gnusov

DSc. in engineering, researcher, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), mgnusov@yandex.ru

Denis Druchinin

PhD. in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), druchinin.denis@rambler.ru

Sergey Zimarin

PhD in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), sezimarin@yandex.ru

Evgeny Pozdnyakov

PhD. in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), pozd.ev@yandex.ru

Alexander Petkov

PhD., engineer, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), alexanderpetkoff@mail.ru

Received: 19 April 2024 / Accepted: 7 August 2024 / Published: 12 September 2024

Abstract: The woodland is a natural renewable source of resources. Society has an important task to preserve forests today for them to exist tomorrow. There are a large number of factors that contribute to the destruction of forest areas, one of which is a forest fire. A lowland forest fire is characterized by uncontrolled spread of fire across the forestland, which is destructive to living organisms. This type of natural disaster causes irreparable damage to the animal world. There is a great need to develop technical and technological resources for firefighting, and to create highly effective machines for fighting steppe and forest grass fires. Scientific and technical progress

moves faster every year, and new, regularly arising challenges provoke the emergence of a steady need for new machines or the improvement of already developed ones, which can be designated as a priority goal for the society. In 2023, the volume of forest fires in the Russian Federation amounted to about 4.3 million hectares. This indicator is higher than the previous year by almost a third: according to official data, in 2022, 3.3 million hectares of forest massifs were destroyed by fire. To ensure the performance of several operations, it is possible to single out forestry soil-throwing equipment. Today, this type of technical resources has acquired considerable relevance and demand. Forestry soil-throwing equipment performs well on light sandy soils due to the mechanized movement of soil batches to the edge of a forest surface fire resulting in knocking the flame down. The volumetric mass of soil, which is spread on the surface over which the fire has just passed, allows re-ignition prevention and distributes the accumulated heat energy in different directions, cooling this surface. And the mineralized strip created on the fire tail makes it almost impossible (equal to 99 %) for the fire margin to breakover. The parameters of the forestry soil-throwing machine, which are critical for the process of extinguishing the fire source, are determined. These include the angle of attack of spherical discs; angle of spherical disks erection; the distance of the transverse displacement of disk working bodies; unit movement speed. The article presents regression models of the influence of forestry soil-throwing machine parameters on the completeness of fire extinguishing at a distance of 3 m, which adequately describe the extinguishing process.

Keywords: forestry soil-throwing machine; correlation-regression analysis; reconnaissance experiment; complete extinguishing of the fire

1. Введение

Лесной массив представляет собой естественный восстанавливаемый источник ресурсов. Перед обществом поставлена важная задача — сохранение лесов сегодня, чтобы они были завтра. Леса выполняют функции по защите территорий, обогащению кислородом, представляют собой места обитания животных, обеспечивают жизнедеятельность человека и многое другое. Потребность в здоровых лесах обуславливает необходимость их охраны. Существует большое количество факторов, которые подвергают уничтожению лесные массивы, и одним из таких является неконтролируемый лесной пожар [1].

Лесной низовой пожар имеет по своей структуре неконтролируемое распространение огня, несущее разрушительный характер для живых организмов. Такой вид стихийного бедствия наносит непоправимый ущерб животным, вынужденным покидать обжитые места обитания. На сегодняшний день опубликовано большое количество научных работ, посвящённых причинам возникновения лесных пожаров. И основной из этих причин является деятельность человека, связанная с несоблюдением норм и установленных правил. Реже отмечаются другие причины, например, возгорание от молний или оптические возгорания от стеклянных изделий; есть случаи, когда пожары происходили вследствие химической реакции при гниении растительных остатков и др. Наиболее часто распространяется по лесному массиву именно низовой пожар. В качестве основной задачи при тушении пожара является прекращение выделения тепловой энергии на кромке и на материалах, уже подвергшихся горению [2].

Существует высокая потребность в разработке технико-технологических ресурсов по тематике пожаротушения и в создании высокоэффективных машин для борьбы со степными и лесными низовыми пожарами. Потребность в разработке новых инновационных средств и совершенствовании существующих остаётся значимой задачей, стоящей перед мировым научным сообществом. В работе [3] обозначена оценка технического потенциала геопозиционирования, наблюдения при помощи специализированных ресурсов, а также выполнения расчётов на надёжность изолирования лесных пожаров на территориях различного назначения. Данные, отражённые в статистике по степным (сельскохозяйственным) и лесным массивам в РФ, показывают, что за последние 20 лет фиксируется повышение уровня пожарной опасности. При анализе данных выяснилось: в научном сообществе преобладает мнение, что определяющее значение для тушения геоэкологических видов пожаров имеют время принятия мер, стремительность распространения огня по территории и иные факторы.

Проанализировав научные работы по состоянию востребованности технических средств для ликвидации лесных пожаров на сельскохозяйственных землях, в молодняках на землях лесного фонда, можно сделать вывод, что потребность в инновационных средствах весьма велика и это обусловлено, в первую очередь, частым возникновением стихийных бедствий [4].

К способам «прямого» тушения лесного пожара относятся заливка водой и водными растворами, захлёстывание кромки огня, сбивание открытого огня при помощи направленной струи воздуха, тушение двигающейся кромки лесного пожара при помощи грунта, снятие верхнего горючего слоя земли. Используются также искусственные осадки при помощи ресурсов авиалесоохраны. К способам предупреждения возникновения лесных пожаров относятся создание заградительных полос, опорных полос, закладка минерализованных полос. Ещё одним способом является «комбинированный», который включает интеграцию двух предыдущих способов. Проанализировав доступную информацию, можно выделить научные работы В. В. Матренинского, который в своих трудах за 1937 год определил, что наиболее часто лесной пожар начинает своё движение по нижней части леса (лесной подстилке) [5].

Использование грунта для процесса остановки и тушения лесного или степного пожара относится к основным способам борьбы со стихией. Выполняется он по следующей технологии. Сотрудник противопожарной бригады вручную лопатой снимает часть почвенного покрова, в особенности, где есть гумусовые отложения, и создаёт углубления через 3—5 м друг от друга вдоль фронта горения, а выбираемый при этом грунт раскидывает веерообразным движением по кромке движущегося низового пламени. Следующая операция — присыпание выжженного участка земли грунтом толщиной 5—6 см при ширине полосы не менее 0,5 м. Необходимо при этом убирать ветки деревьев, старые пни и иной вид горящего материала. Скорость выполнения таких технологических операций ручным способом невысока, следовательно, и потери, которые понесёт лесной массив, будут значительными. Также сохраняется высокая вероятность, что в случае сбивания открытого огня может происходить беспламенное горение или тление, которое в последующем может спровоцировать повторное возгорание. В связи с этим требуется дополнительно создавать минерализованную полосу шириной от 30 до 40 см [6].

Научными изысканиями, связанными с процедурой ликвидации пожарной стихии, занимаются ведущие российские научные коллективы. В одних работах основной упор сделан на тактические приёмы, а также технологии, применяемые при ликвидации и предупреждении лесных пожаров [7—9], в других научных публикациях поднимаются проблемы аргументации организации, методов и средств тушения лесных пожаров [10—16], приводится анализ инновационной составляющей оснащения противопожарной техникой [17—19], отмечаются организационные формы взаимодействия различных структур и организаций [20]. Анализ прокурорского наблюдения можно отследить по научным работам [21], а также с точки зрения экономики [22], [23].

За 2023 г. объём лесных пожаров в Российской Федерации составил около 4,3 млн га, этот показатель выше предыдущего года почти на треть: по официальным данным, в 2022 г. было уничтожено 3,3 млн га лесных массивов. Наибольшее количество лесных пожаров было зафиксировано в Республике Саха (Якутия), Хабаровском крае, Магаданской, Амурской и Свердловской областях, где в сумме показатель составил около 80 %. При более

детальном рассмотрении можно отметить, что в Республике Саха (Якутия) выгорело 1,5 млн га лесных массивов, в Хабаровском крае — около 0,9 млн га. Официальные данные показывают, что в среднем за пять лет лесным пожаром было пройдено более 7,8 млн га [24], [25].

Устойчивость природных ресурсов и экосистем имеет глобальное значение, поскольку они важны для поддержания биоразнообразия и экологического баланса на планете. Для национальной безопасности необходимо проводить комплексные мероприятия по сохранению природных ресурсов и восстановлению экосистем.

В качестве технических ресурсов, обеспечивающих выполнение нескольких операций, возможно выделить лесохозяйственную грунтометательную технику. Лесохозяйственная грунтометательная техника показывает хорошие результаты на лёгких песчаных почвах за счёт механизации процесса порционного перемещения грунта на кромку лесного низового пожара (рисунок 1). Таким образом достигается процесс сбивания открытого пламени. Объёмная масса грунта, насыпаемая сверху на поверхность, по которой только что прошёл огонь, позволяет предупредить повторное возгорание и распределить накопленную тепловую энергию в различных направлениях, при этом охлаждая эту поверхность. А создаваемая на пути пожара минерализованная полоса делает практически невозможным (равное 99 %) продвижение кромки огня в глубь лесных массивов.

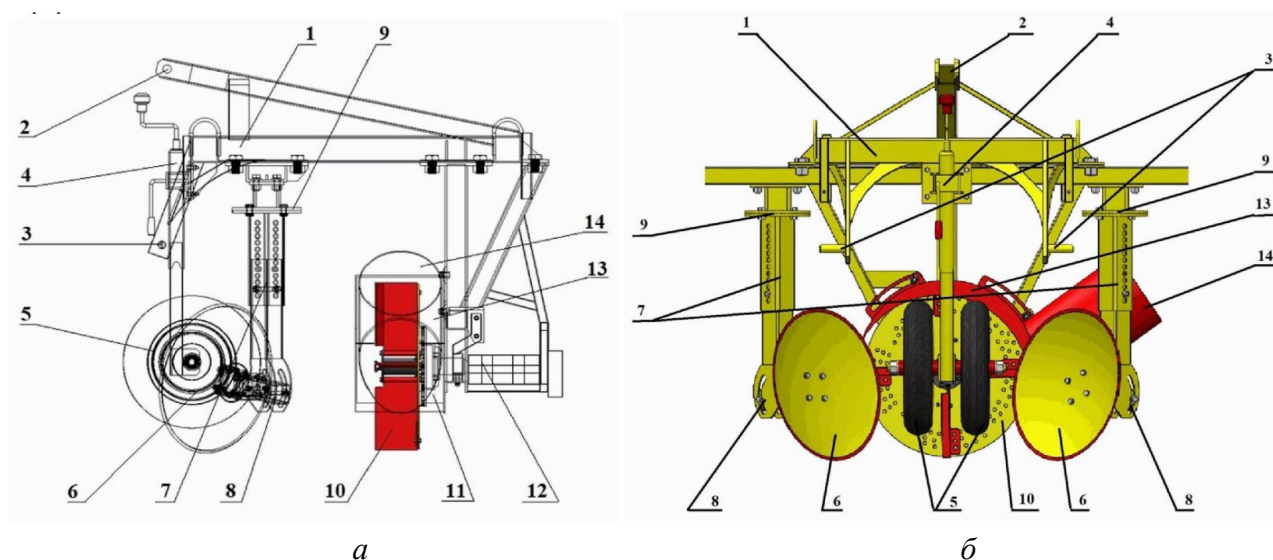


Рисунок 1. Машина для борьбы с лесными низовыми пожарами почвогрунтом [26]

Figure 1. Machine for fighting forest ground fires with soil [26]

Разработанная лесохозяйственная грунтометательная машина решает задачу, заключающуюся в повышении эффективности выполняемых операций, которые направлены на сохранение и защиту лесных массивов от действия неконтролируемого огня. Рассматривая конструктивную схему разработанной техники, следует обратить внимание,

что машина состоит из нескольких частей: дисковых рабочих органов, фрезы-метателя и направляющего кожуха. Каждая часть имеет свои особенности: к примеру, сферические диски смонтированы на телескопических стойках, которые позволяют изменять величину хода и углы установки рабочих органов; фреза-метатель выполнена из диска, на который прикреплён центральный фланец, к нему крепятся сменные лопатки, зачерпывающие порции грунта из созданного вала при помощи дисковых рабочих органов, работающих в свал.

2. Материалы и методы

Экспериментальные изыскания относятся к одному из значимых этапов в процессе разработки техники, в т. ч. и лесохозяйственных грунтометательных машин. Методика факторного планирования экспериментальных исследований даёт возможность получить регрессионные модели с высокой адекватностью, которые позволят описать рабочие процессы лесохозяйственной грунтометательной машины. Полученные данные позволят выполнить оптимизацию параметров рабочих органов машины и существенно сократить временные и экономические затраты на разработку техники с улучшенными показателями рабочего процесса.

Задачей по проведению экспериментального исследования являлось изучение влияния параметров лесохозяйственной грунтометательной машины на показатели её работы, с последующей оптимизацией рабочих параметров.

Многофакторный корреляционно-регрессионный анализ позволяет установить воздействие каждого из выбранных в модели факторов на исследуемый параметр, а также с выбранным уровнем точности отыскать теоретический результирующий показатель, при этом потенциально возможно любое смещение показателей. Указанный способ можно реализовать в разных областях науки и техники [27].

На сегодняшний день значительный интерес по направлению автоматизации информационных процессов наблюдается в повышении эффективности информационного взаимодействия, а в данном случае получаемые данные обрабатываются при помощи корреляционно-регрессионного анализа [28—30].

3. Результаты

На основе предварительных аналитических исследований был проведён полевой разведывательный эксперимент [31—34], в котором изучалось влияние параметров лесохозяйственной грунтометательной машины (см. рисунок 1) [35—37] на четыре выходных показателя эффективности процесса тушения очага горения. Экспериментальные изыскания были выполнены на территории УОЛ «ВГЛТУ», Кожевенный кордон, в весенне-летний период с температурой окружающей среды, сопутствующей лесному пожару, но без достаточной влажности горючих материалов в окружающей среде.

В процессе полевых экспериментальных исследований были определены параметры лесохозяйственной грунтометательной машины, которые в дальнейшем были обозначены как факторы, наиболее сильно влияющие на качество процесса тушения очага горения лесных материалов: X_1 — угол атаки сферических дисков (α), град.; X_2 — угол установки сферических дисков в вертикальной плоскости (β), град.; X_3 — расстояние поперечного смещения дисковых рабочих органов (r_d), см; X_4 — глубина хода сферических дисков (a), см; X_5 — угол установки кожуха-направителя (φ), град.; X_6 — скорость движения агрегата (V), м/с. В качестве параметров на выходе были обозначены показатели эффективности процесса тушения очага горения: Y_1 — полнота гашения очага горения на расстоянии 3 м от агрегата, %; Y_2 — дальность метания грунта, м; Y_3 — масса метаемого грунта на расстоянии 3 м от агрегата, м³ (см. фото, таблицу).

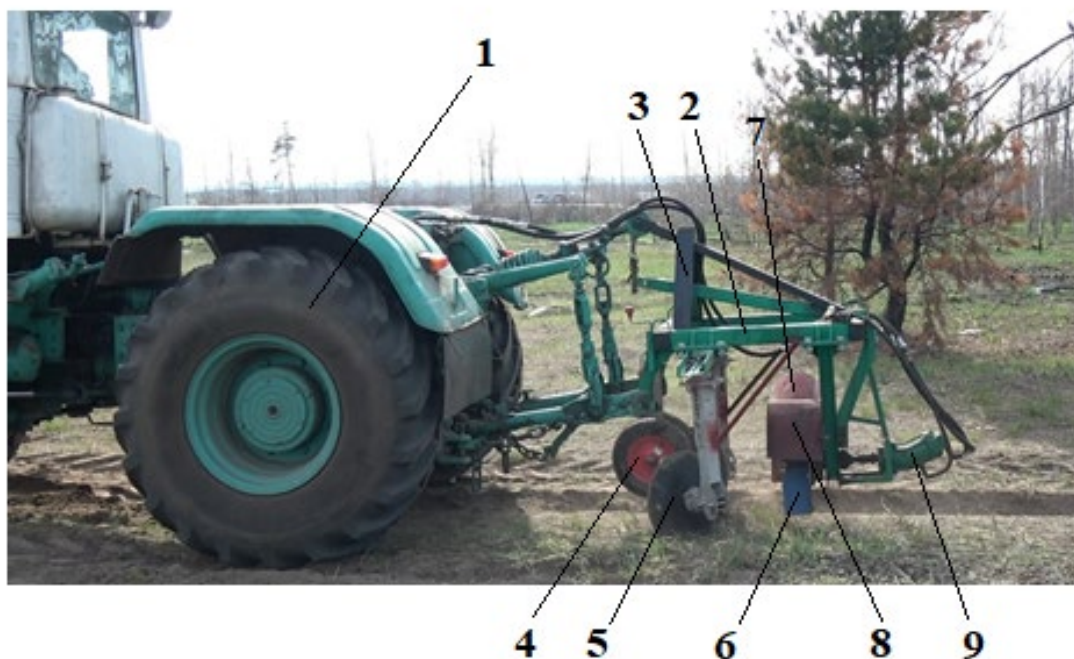


Фото. Экспериментальный образец лесохозяйственной грунтометательной машины: 1 — трактор Т-150К; 2 — рама; 3 — навесное устройство; 4 — опорные колёса; 5 — дисковые рабочие органы; 6 — фреза-метатель; 7 — направляющий кожух; 8 — защитный каркас; 9 — гидромотор фрезы-метателя [фото авторов]

Photo. Experimental sample of a forestry soil-throwing machine: 1 — tractor T-150K; 2 — frame; 3 — attachment; 4 — support wheels; 5 — disk working bodies; 6 — cutter-thrower; 7 — guide casing; 8 — protective frame; 9 — hydraulic motor of the cutter-thrower

Таблица. Данные разведывательного эксперимента с натуральными значениями факторов и откликов

Table. Data from a reconnaissance experiment with natural values of factors and responses

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y_1	Y_2	Y_3
1	30	0	50	15	45	1,4	0	8	0,101
2	45	30	50	15	45	1,4	60	12	0,108
3	30	30	50	5	45	1,4	70	10	0,104
4	30	30	30	5	30	1,4	70	5	0,05
5	30	0	30	15	30	1,4	100	10	0,104
6	30	30	40	5	30	0,83	0	10	0,18
7	30	30	40	10	30	0,83	100	7	0,23
8	30	15	40	15	45	0,83	100	6	0,1009

После получения данных была приведена регрессионная модель влияния параметров лесохозяйственной грунтометательной машины на полноту гашения очага горения на расстоянии 3 м:

$$\hat{y}_1 = 69 + 27,78x_1 - 14,8x_2 + 7,03x_3 + 14,38x_1x_2 - 7,03x_1x_3 - 4,38x_2x_3, \quad (1)$$

где x_1 — угол атаки сферических дисков (α), град.; x_2 — угол установки сферических дисков в вертикальной плоскости (β), град.; x_3 — расстояние поперечного смещения дисковых рабочих органов (r_θ), см.

Если привести к каноническому виду, то получим следующее выражение:

$$\hat{y}_1 = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{j=i+1}^k b_{ij} x_i x_j \rightarrow \hat{y}_1 - Y_s = \hat{y}_1 - \hat{y}_1(X_s) = \sum_{i=1}^k B_{ii} X_i^2, \quad (2)$$

где Y_s — значение выходной переменной в центре поверхности отклика; X_i — канонические переменные; X_s — координаты нового центра факторного пространства; B_{ij} — коэффициенты канонического уравнения; k — число факторов (в нашем случае $k = 3$).

Приравнивая к нулю частные производные выражения регрессии по каждому фактору, получится решить систему уравнений и найти координаты нового центра $X_s(x_{1s}; x_{2s}; x_{3s})$ факторного пространства (предварительно округлив коэффициенты уравнения до целых значений):

$$\begin{cases} \frac{\partial \hat{y}_1}{\partial x_1} = 28 + 14x_{2S} - 7x_{3S} = 0 \\ \frac{\partial \hat{y}_1}{\partial x_2} = -15 + 14x_{1S} - 4x_{3S} = 0 \\ \frac{\partial \hat{y}_1}{\partial x_3} = 7 - x_{1S} - 4x_{2S} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Решение системы: $x_{1S} = 1,61$; $x_{2S} = -1,06$; $x_{3S} = 1,88$.

Подставив координаты нового центра X_S в уравнение регрессии, получится найти значение выходной переменной Y_S в центре факторного пространства:

$$Y_S = \hat{y}(X_S) = 105,54 \quad (4)$$

Коэффициенты (B_{11}, B_{22}, B_{33}) канонического уравнения

$$\hat{y}_1 - 105,54 = B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2 \quad (5)$$

находим как собственные числа матрицы квадратичной формы путём решения характеристического уравнения, полученного при приравнении определителя матрицы квадратичной формы к нулю (матрица определителя симметрична, следовательно, все её собственные числа являются вещественными).

Определитель матрицы квадратичной формы

$$\begin{vmatrix} b_{11} - B & 0,5b_{12} & 0,5b_{13} \\ 0,5b_{21} & b_{22} - B & 0,5b_{23} \\ 0,5b_{31} & 0,5b_{32} & b_{33} - B \end{vmatrix} = 0 \quad (6)$$

Тогда при $b_{11} = 0, b_{22} = 0, b_{33} = 0, b_{12} = 14,38, b_{13} = -7,03, b_{23} = -4,38$

$$\begin{vmatrix} -B & 7,2 & -3,5 \\ 7,2 & -B & -2,2 \\ -3,5 & -2,2 & -B \end{vmatrix} = 0 \quad (7)$$

Раскрыв определитель, получим характеристическое выражение

$$-B^3 + 64,09B + 110,88 = 0 \quad (8)$$

Корни характеристического выражения предварительно найдём графически (рисунок 2).

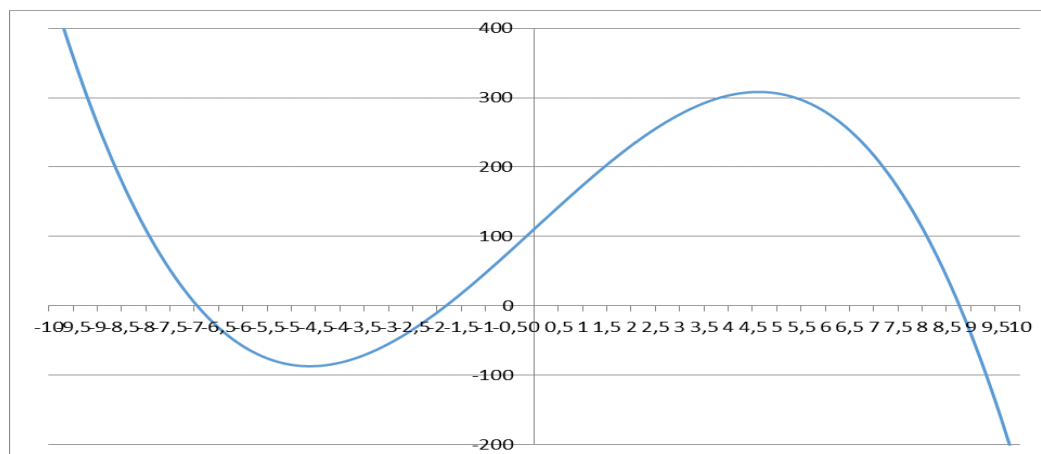


Рисунок 2. Корни характеристического уравнения [рисунок авторов]

Figure 2. Characteristic Equations Roots

Далее значения уточним численно с точностью до 0,01.

Отсюда $B_{11} = -1,82$, $B_{22} = -6,94$, $B_{33} = 8,76$.

Правильность расчётов проверяем по формуле

$$\sum_{i=1}^k B_{ii} = \sum_{i=1}^k b_{ii}, \text{ в нашем случае все } b_{ii} = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^k b_{ii} = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^3 B_{ii} = -1,82 - 6,94 + 8,76 = 0 \quad (10)$$

Равенство выполняется, следовательно, корни характеристического уравнения определены верно.

Тогда канонический вид регрессионной модели будет иметь вид:

$$\hat{y}_1 - 105,54 = -1,82X_1^2 - 6,94X_2^2 + 8,76X_3^2 \quad (11)$$

При $k \geq 3$ дать наглядное представление о геометрии поверхности отклика невозможно. При этом каноническое преобразование позволяет анализировать поверхность отклика двух любых факторов при стабилизированных остальных:

- при стабилизированном X_1 или X_2 поверхность отклика представляет собой вытянутую седловую поверхность, точки экстремума нет, тип кривой в сечении этой поверхности — гипербола;
- при стабилизированном X_3 поверхность отклика представляет собой эллипсоидную выпуклость, есть экстремальная точка, тип кривой в сечении этой поверхности — эллипс.

Располагая формулой (1), опишем выражение поверхности отклика, все точки которой определяют соотношения факторов, обеспечивающих полное (100 %-е) гашение очага горения на расстоянии 3 м:

$$1,82X_1^2 + 6,94X_2^2 - 8,76X_3^2 = 5,54 \quad (12)$$

Проведённые аналитические исследования позволяют дать геометрическое описание поверхности отклика и определять сочетания факторов, обеспечивающих полное гашение очага горения на расстоянии 3 м.

4. Обсуждение и заключение

В рамках проведённых исследований определён перечень параметров лесохозяйственной грунтометательной машины, оказывающих определяющее влияние на процесс гашения очага возгорания. К ним отнесены угол атаки сферических дисков (α); угол установки сферических дисков в вертикальной плоскости (β); расстояние поперечного смещения дисковых рабочих органов (r_0); скорость движения агрегата (V). Получены регрессионные модели влияния вышеназванных параметров лесохозяйственной грунтометательной машины на полноту гашения очага возгорания на расстоянии 3 м от машины, адекватно описывающие процесс тушения.

Список литературы

1. Царев Е. М., Анисимов И. С., Анисимов Н. С. Лесопожарный грунтомет на базе трактора // Современный лесной комплекс страны: актуальные векторы развития: Материалы Всерос. научно-практич. конф. Воронеж, 5 октября 2023 г. Воронеж, 2023. С. 74.
2. Паньков Ю. И., Гуков Г. В. Новое в технике и технологии тушения низовых лесных пожаров // Аграрный вестник Приморья. 2019. № 4. С. 6.
3. Денисов О. В., Хохлова К. В., Грибашов М. В. Применение технологий геопозиционирования, мониторинга для блокирования и тушения пожаров на степных и хлебных массивах // Безопасность техногенных и природных систем. 2023. № 1. С. 47—55.
4. Basilaia M., Bogdanova I., Dymnikova O. Cosmoharmonic principles of environmental safety // E3S Web of Conferences. Innovative Technologies in Environmental Science and Education. 2019. Vol. 135. DOI: 01079. 10.1051/e3sconf/201913501079.
5. Халин П. С. История становления и развития лесной пирологии как отдельной науки // ББК 2, 3 Н 76. 2023. С. 122.
6. Паньков Ю. И., Гуков Г. В. Новое в технике и технологии тушения низовых лесных пожаров // Аграрный вестник Приморья. 2019. № 4. С. 6.
7. Сныткин Г. В. Лесные пожары и борьба с ними на Крайнем Северо-Востоке Сибири: Дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. М., 2002. 315 с.
8. Главацкий Г. Д., Груманс В. М. Особенности тактики тушения лесных пожаров в многолесных районах Сибири // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2001. № 5. С. 23—37.
9. Груманс В. М. Особенности организации и тактики тушения крупных лесных пожаров (КЛП): На примере Красноярского Приангарья: Дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск, 1999. 222 с.

10. *Щербаков И. С.* Методика тушения низовых лесных пожаров с использованием струи переохлаждённого водяного пара: Дис. ... канд. техн. наук: 01.02.05. Иркутск, 2005. 149 с.
11. *Молокова С. В.* Разработка инженерных методов обеспечения пожарной безопасности в лесном комплексе: Дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Братск, 2008. 142 с.
12. *Комиссаров С. В., Орловский С. Н., Голубев И. В.* Методика оптимизации технологий тушения низовых лесных пожаров // Вестник Красноярского ГАУ. 2007. № 6. С. 241—246.
13. Исследование зависимости эффективности тушения лесного пожара стационарным источником от диапазона температур зоны подачи воды / Т. А. Федосеева, А. Д. Постнов, И. В. Беляев [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-2. С. 204—209.
14. *Масленников Д. А., Катаева Л. Ю., Ложилова Н. А.* Определение оптимальных параметров тушения лесного пожара при подаче воды в ближайшую к источнику воды точку // Приоритетные направления развития науки и образования: Сб. материалов III Междунар. научно-практич. конф. Чебоксары, 2014. С. 34—35.
15. Ресурсное обоснование сил и средств для тушения низового лесного пожара / С. В. Гундар, М. М. Данилов, А. Н. Денисов [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2012. № 2 (42). С. 1.
16. *Главацкий Г. Д., Груманс В. М.* Особенности организации тушения крупных лесных пожаров в многолесных районах Сибири // Вестник МГУЛ: Лесной вестник. 2001. № 2. С. 45—55.
17. *Самойлов В. И.* Экспериментальное исследование механизмов тушения лесных горючих материалов и разработка некоторых новых способов и устройств для борьбы с лесными пожарами: Дис. ... канд. техн. наук : 01.02.05. Томск, 2000. 83 с.
18. *Орловский С. Н.* Методика расчёта рабочего органа грунтомета для тушения кромки лесного низового пожара // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 4 (340). С. 52—60.
19. *Чукичев А. Н.* Технологические и теоретические основы фрезерно-метательных машин для тушения лесных пожаров грунтом: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 13.00.01. СПб., 1995. 40 с.
20. *Яркин В. В.* Организация управления совместными действиями подразделений различной ведомственной принадлежности при тушении крупных лесных и торфяных пожаров на примере Ленинградской области: Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.10. СПб., 2005. 229 с.
21. *Шершнева Е. Ю.* Прокурорский надзор за исполнением законов об охране и защите лесов: Дис. ... канд. юр. наук: 12.00.11. М., 2014. 206 с.
22. *Главацкий Г. Д., Груманс В. М.* Проблема оптимизации и экономической эффективности лесопожарных мероприятий при тушении крупных лесных пожаров // Вестник МГУЛ: Лесной вестник. 2001. № 2. С. 33—45.
23. *Шегельман И. Р., Клюев Г. В.* Краткий обзор работ в сфере тушения лесных пожаров // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: Сб. материалов II Междунар. научно-практич. конф. Чебоксары, 2017. С. 204—206.
24. К проблеме охраны земель лесного фонда в Российской Федерации / Н. Н. Симачкова, Чупина И. П., Зарубина Е. В. [и др.] // International Agricultural Journal. 2024. Vol. 7, no. 1.
25. Kommersant. «A th ird more forests burned down in Russia than a year earlier» — statistics. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6186404>. Текст: электронный.
26. 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».

27. Григорьева Т. А., Шуманский Э. К. Многофакторный корреляционно-регрессионный анализ технологических параметров сушки целлюлозы // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2016. Т. 2. С. 134—138.
28. Брачун Т. А. Корреляционно-регрессионный анализ управляемого формирования информационных потоков в автоматизированных системах с централизованным источником данных // Вестник Северо-Восточного государственного университета. 2013. № 19. С. 132—135.
29. Торопова С. И. Корреляционно-регрессионный анализ в профессиональной подготовке будущих экологов // Бюллетень лаборатории математического, естественнонаучного образования и информатизации: Материалы Междунар. научно-практич. конф. «Математическое, естественнонаучное образование и информатизация», Самара, 22—23 октября 2015 года / Отв. ред. Г. А. Клековкин. Самара: ГАОУ ВО МГПУ, 2015. Т. VI. С. 390—400.
30. Лялькина Г. Б., Бердышев О. В. Математическая обработка результатов эксперимента: Учеб. пособие // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. 180 с.
31. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Учеб. пособие / Н. А. Спиринов, В. В. Лавров, Л. А. Зайнуллин [и др.]; Под общ. ред. Н. А. Спирина. Екатеринбург: ООО «УИНЦ», 2015. 290 с.
32. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: Учеб. пособие. М.: Юрайт, 2015. 496 с.
33. Халафян А. Промышленная статистика. Контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA. М.: Либроком, 2013. 384 с.
34. Вуколов Э. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel. М.: Форум, 2010. 464 с.
35. 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».
36. 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».
37. 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».

References

1. Tsarev E. M., Anisimov I. S., Anisimov N. S. Forest fire soil thrower based on a tractor. *Modern forest complex of the country: current vectors of development: Materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Voronezh, October 5, 2023. Voronezh, 2023, p. 74. (In Russ.).
2. Pankov Yu. I., Gukov G. V. New in the technology and technology of extinguishing ground forest fires. *Agrarian Bulletin of Primorye*, 2019, no. 4, p. 6. (In Russ.).
3. Denisov O. V., Khokhlova K. V., Gribashov M. V. Application of geopositioning and monitoring technologies for blocking and extinguishing fires in steppe and grain massifs. *Safety of technogenic and natural systems*, 2023, no. 1, pp. 47—55. (In Russ.).
4. Basilaia M., Bogdanova I., Dymnikova O. Cosmoharmonic principles of environmental safety. *E3S Web of Conferences. Innovative Technologies in Environmental Science and Education*, 2019, vol. 135. doi: 01079. 10.1051/e3sconf/201913501079 (In Russ.).
5. Khalin P. S. History of the formation and development of forest pyrology as a separate science. *BBC 2, 3 N 76*, 2023, p. 122. (In Russ.).
6. Pankov Yu. I., Gukov G. V. New in the technology and technology of extinguishing ground forest fires. *Agrarian Bulletin of Primorye*, 2019, no. 4, p. 6. (In Russ.).
7. Snytkin G. V. *Forest fires and the fight against them in the Far Northeast of Siberia: Dis. ...* Dr. Agricultural Sciences Sciences: 03/06/03. Moscow, 2002. 315 p. (In Russ.).
8. Glavatsky G. D., Grumans V. M. Features of tactics for extinguishing forest fires in densely forested areas of Siberia. *Bulletin of MSUL. Forest Herald*, 2001, no. 5, pp. 23—37. (In Russ.).
9. Grumans V. M. *Features of the organization and tactics of extinguishing large forest fires (CLF): Using the example of the Krasnoyarsk Angara region: Dis. ...* Cand. Agricultural Sciences: 06.03.03. Krasnoyarsk, 1999. 222 p. (In Russ.).
10. Shcherbakov I. S. *Methods of extinguishing ground forest fires using a jet of supercooled water vapor: Dis. ...* Cand. Tech. Sciences: 01.02.05. Irkutsk, 2005. 149 p. (In Russ.).
11. Molokova S. V. *Development of engineering methods for ensuring fire safety in the forestry complex: Dis. ...* Cand. Tech. Sciences: 05.21.01. Bratsk, 2008. 142 p. (In Russ.).
12. Komissarov S. V., Orlovsky S. N., Golubev I. V. Methodology for optimizing technologies for extinguishing ground forest fires. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2007, no. 6, pp. 241—246. (In Russ.).
13. Fedoseeva T. A., Postnov A. D., Belyaev I. V., Kataeva L. Yu., Maslennikov D. A., Loshchilova N. A., Loschilov A. A. Study of the dependence of the effectiveness of extinguishing a forest fire with a stationary source on the temperature range of the water supply zone. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2014, no. 11-2, pp. 204—209. (In Russ.).
14. Maslennikov D. A., Kataeva L. Yu., Loshchilova N. A. Determination of optimal parameters for extinguishing a forest fire when supplying water to the point closest to the water source. *Priority directions for the development of science and education: Collection of materials from the III International Scientific and Practical Conference*. Cheboksary, 2014, pp. 34—35. (In Russ.).
15. Gundar S. V., Danilov M. M., Denisov A. N., Oparin I. D. Resource justification of forces and means for extinguishing ground forest fire. *Technosphere safety technologies*, 2012, no. 2 (42), p. 1. (In Russ.).
16. Glavatsky G. D., Grumans V. M. Features of the organization of extinguishing large forest fires in densely forested areas of Siberia. *Bulletin of MSUL: Forest Bulletin*, 2001, no. 2, pp. 45—55. (In Russ.).

17. Samoilov V. I. *Experimental study of mechanisms for extinguishing forest combustible materials and the development of some new methods and devices for fighting forest fires*: Dis. ... Cand. Tech. Sciences: 01.02.05. Tomsk, 2000. 83 p. (In Russ.).
18. Orlovsky S. N. Methodology for calculating the working body of a soil thrower for extinguishing the edge of a forest ground fire. *News of higher educational institutions. Forest magazine*, 2014, no. 4 (340), pp. 52—60. (In Russ.).
19. Chukichev A. N. *Technological and theoretical foundations of milling and throwing machines for extinguishing forest fires with soil*: Abstract of thesis. dis. ... Dr. Tech. Sciences: 13.00.01. Saint Petersburg, 1995. 40 p. (In Russ.).
20. Yarkin V. V. *Organization of management of joint actions of units of various departmental affiliations when extinguishing large forest and peat fires using the example of the Leningrad region*: Dis. ... Cand. Tech. Sciences: 05.13.10. Saint Petersburg, 2005. 229 p. (In Russ.).
21. Shersneva E. Yu. *Prosecutor's supervision over the implementation of laws on the protection and protection of forests*: Dis. ... Cand. Legal Sciences: 12.00.11. Moscow, 2014. 206 p. (In Russ.).
22. Glavatsky G. D., Grumans V. M. The problem of optimization and economic efficiency of forest fire measures when extinguishing large forest fires. *Bulletin of MSUL: Forest Bulletin*, 2001, no. 2, pp. 33—45. (In Russ.).
23. Shegelman I. R., Klyuev G. V. A brief review of work in the field of extinguishing forest fires. *Current directions of scientific research: development prospects: Collection of materials from the II International Scientific and Practical Conference*. Cheboksary, 2017, pp. 204—206.
24. Simachkova N. N., Chupina I. P., Zarubina E. V., Zhuravleva L. A., Fateeva N. B. On the problem of protecting forest lands in the Russian Federation. *International Agricultural Journal*, 2024, vol. 7, no. 1. (In Russ.).
25. Kommersant. «*A third more forests burned down in Russia than a year earlier*» — statistics: Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/6186404>. Text. Image: electronic.
26. Drapalyuk M. V., Druchinin D. Yu., Gnusov M. A. [etc.]. 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: application. 10/31/2022: publ. 04/21/2023; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov» (In Russ.).
27. Grigorieva T. A., Shumansky E. K. Multifactor correlation-regression analysis of technological parameters of cellulose drying. *Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and engineering sciences*, 2016, vol. 2, pp. 134—138. (In Russ.).
28. Brachun T. A. Correlation and regression analysis of the controlled formation of information flows in automated systems with a centralized data source. *Bulletin of the North-Eastern State University*, 2013, no. 19, pp. 132—135. (In Russ.).
29. Toropova S. I. Correlation and regression analysis in the professional training of future ecologists. *Bulletin of the laboratory of mathematical, natural science education and informatization: materials of the International scientific and practical conference «Mathematical, natural science education and informatization», Samara, October 22—23, 2015*. Executive editor G. A. Klekovkin. Samara, State Autonomous Educational Institution of Higher Education MSPU, 2015, vol. VI, pp. 390—400 (In Russ.).
30. Lyalkina G. B., Berdyshev O. V. Mathematical processing of experiment results: Textbook. *Modern problems of science and education*, 2014, no. 3. 180 p. (In Russ.).
31. Spirin N. A., Lavrov V. V., Zainullin L. A., Bondin A. R., Burykin A. A. *Methods of planning and processing the results of an engineering experiment: Textbook*. Under general ed. N. A. Spirin. Ekaterinburg, LLC «UINC», 2015. 290 p. (In Russ.).

32. Sidnyaev N. I. *Theory of experiment planning and analysis of statistical data. Tutorial.* Moscow, Yurayt, 2015. 496 p. (In Russ.).
33. Khalafyan A. *Industrial statistics. Quality control, process analysis, experiment planning in the STATISTICA package.* Moscow, Librocom, 2013. 384 p. (In Russ.).
34. Vukolov E. *Fundamentals of statistical analysis. Workshop on statistical methods and operations research using Statistica and Excel packages.* Moscow, Forum, 2010. 464 p. (In Russ.).
35. Drapalyuk M. V., Druchinin D. Yu., Gnusov M. A. [etc.]. 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: application. 10/31/2022: publ. 04/21/2023; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov» (In Russ.).
36. Drapalyuk M. V., Gnusov M. A., Goncharov P. E. [etc.] Patent no. 2761919 C1 Russian Federation, IPC A62C 27/00, A62C 3/02, E02F 3/18. Combined soil thrower-strip layer: no. 2021116715: application. 06/07/2021: publ. 12/14/2021; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov». (In Russ.).
37. Gnusov M. A., Drapalyuk M. V., Druchinin D. Yu. Patent no. 2758319 C1 Russian Federation, IPC A62C 27/00, A62C 3/02, E02F 3/04. Forest fire ground thrower-strip layer: no. 2021105900: application. 03/05/2021: publ. 10.28.2021; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov» (In Russ.).

© Драпалюк М. В., Гнусов М. А., Дручинин Д. Ю., Зимарин С. В., Поздняков Е. В.,
Петков А. Ф., 2024