

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛЕСОПОЖАРНОГО ПОЛОСОПРОКЛАДЫВАТЕЛЯ С ГИДРОПРИВОДОМ ВЫРЕЗНЫХ ДИСКОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

кандидат технических наук **С.В. Зимарин**

кандидат технических наук **М.А. Гнусов**

кандидат технических наук **В.П. Попиков**

соискатель **Н.А. Шерстюков**

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

Статья посвящена лабораторным исследованиям грунтометательного агрегата. На сегодняшний день остаются актуальными задачи по подготовке к пожароопасному сезону и проведению противопожарных мероприятий. Создание, подновление минерализованных полос – один из методов проведения профилактических работ по сохранению лесного массива от развития крупных лесных пожаров. Выполняют расчистку лесной почвы от горящих элементов до открытого слоя почвы, а именно создания минерализованных полос в основном перед пожароопасным сезоном, в течение которого производят подновление полос и разрывов. Для проведения лабораторных исследований была разработана и изготовлена экспериментальная установка. По методике проведения исследования нами были определены факторы, которые изменяли в ходе эксперимента угол (α) и угол (β) для сферического диска с полукруглыми вырезами. В ходе проведения опытов для проверки нормальности распределения характеристик, отвечающих за энергетические показания работы агрегата, выполнена серия, состоящая из 30 экспериментов, при параметрах установки углов сферического диска с полукруглыми вырезами $\alpha = 10^0$, $\beta = 10^0$. Проведена детализация гипотезы о нормальности распределения функции отклика по критерию χ^2 -Пирсона. По критерию Кохрена проведена проверка однородности дисперсий опытов. На основании полученных экспериментальных данных были построены зависимости мощности вращения сферического диска с полукруглыми вырезами от угла атаки и наклона, зависимости мощности от угла атаки.

Ключевые слова: рабочий орган, сферический диск с полукруглыми вырезами, корпус диска, грунтомет, полосопрокладыватель

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF OPERATING MODES OF A FORESTRY STRIP PLAYER WITH A HYDRAULIC DRIVE OF CUTTING DISC WORKING BODIES

PhD (Engineering) **S.V. Zimarin**

PhD (Engineering) **M.A. Gnusov**

PhD (Engineering) **V.P. Popikov**

Applicant **N.A. Sherstyukov**

FSBEI HE "Voronezh State University of forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to laboratory studies of the soil aggregates. To date, remain relevant tasks for preparing for a fire-hazardous season and conducting fire fighting events. Creation, replacing mineralized bands One of the methods

for conducting preventive work on the preservation of a forest massif on the development of large forest fires. Foresting the forest soil from the burning elements to the open layer of the soil, namely the creation of mineralized bands is mainly in front of the fire-hazardous season, during which strips and breaks are replaced. For laboratory research, an experimental installation was developed and manufactured. According to the study method, we defined the factors that changed the angle (α) and angle (β) for a spherical disk with semicircular cuts during the experiment. During the experiments, to verify the normality of the distribution of the characteristics responsible for the energy readings of the unit, a series of 30 experiments was performed using 30 experiments when setting the angles of the spherical disk with semicircular cuts $\alpha = 10^0$, $\beta = 10^0$. Detailing the hypothesis about the normality of the distribution of the response function by the Criterion X^2 -Pirson was carried out. According to the criterion of Kohrene, the homogeneity of the dispersions of the experiments was carried out. Based on the obtained experimental data, the dependences of the rotation of the spherical disk with semicircular cuts from the angle of attack and tilt, the dependence of the power from the angle of attack were constructed.

Keywords: working body, spherical disc with semicircular cutouts, ground gun, strip laying machine

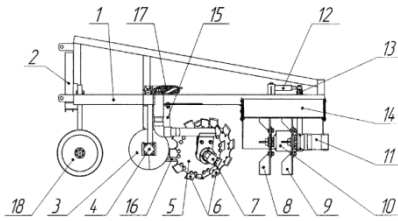
Введение

Распространение неконтролируемого огня по лесному массиву представляет собой важную экологическую проблему, приводя к большим экономическим и экологическим потерям и подвергая жизни людей и животных серьёзной опасности [1]. Лесной пожар является одной из основных проблем, нарушающих естественное возобновление древостоя в лесу. Погода и климат являются наиболее важными факторами, влияющими на пожарную активность, и эти факторы изменяются в связи с антропогенным изменением климата [2]. Распространение лесных пожаров является сложным процессом, на который влияют различные факторы. Каждый год лесные пожары причиняют большой финансовый и экологический убыток. К одной из ключевых проблем локализации пожара обычными методами, использующими воду, относится рельеф массива и зачастую отсутствие доступа к дорогам, чтобы приблизить противопожарную технику к очагу возгорания. В таких условиях методом противопожарных мер является использование всего, что есть в доступной близости, в том числе и почвогрунта. Общество и специализированные службы часто прибегают к проложению минерализованных полос на пути движения огня и гашению кромки почвогрунтом. Предотвращение гибели лесного массива неконтролируемым огнем возможно за счёт плановой подготовки к пожароопасному сезону [3]. На сегодняшний день остаются актуальными задачи по подготовке к пожароопасному сезону и проведению противопожарных мероприятий [4, 5].

Во время борьбы с огнём планирование операции по ликвидации огня в лесном массиве при ограниченных ресурсах (т. е. транспортных средствах с пожарными машинами) является сложной задачей [6]. Противопожарные минерализованные полосы прокладывают различными плугами: ПКЛ-70; ПЛ-1; ПЛШ-1,2; ПЛП-135; ПДП-1,2; ПДМ-1,7; канавокопателями; дисковыми боронами БДНТ-2,2; БДСТ-2,5 и другими. Подновляют обычно культиватором КЛБ-1,7. Эти же орудия применяют с целью опашки участков, занятых огнём [7, 8, 9]. Создание минерализованных полос активно применяется и при ликвидации движущегося по лесному массиву огня, используя для этого не только перечисленные выше орудия, но и бульдозеры, корчеватели-собиратели.

Наибольшей эффективностью обладают специальные фрезерные полосопрокладыватели ПФ-1 и грунтометы ГТ-3, но они имеют громоздкий механический привод, обладают низкой надёжностью при встрече рабочих органов с препятствиями, напрямую влияя на эффективность проводимых мер [10, 11, 12]. Коллективом учёных ВГЛТУ разработана лесопожарная комбинированная грунтометательная машина [13]. Проведены лабораторные и полевые испытания агрегата, написан ряд работ с основными результатами проведённых исследований [14]. Совершенствование процесса создания минерализованных полос и процесса тушения кромки лесного пожара с помощью грунта ведётся разными трудовыми коллективами. Нами разработан новый лесопожарный полосопрокладыватель с

вырезными дисками с гидроприводом для предварительной подготовки почвенного вала перед фрезами-метателями [15] (рис. 1).



- 1 – рама; 2 – механизм навески; 3 – шнек;
- 4 – привод гидромотора шнека; 5 – сферический диск со съёмной режущей кромкой;
- 6 – полукруглые вырезы сферического диска;
- 7 – гидромоторы привода сферических дисков;
- 8, 9 – фрезы-метатели; 10, 11 – гидромоторы фрез-метателей; 12 – выносной гидроцилиндр;
- 13 – вертикальная ось гидроцилиндров; 14 – щитки-направители; 15 – стойка рыхлителя;
- 16 – рыхлитель; 17 – пружины растяжения;
- 18 – опорные катки

Рис. 1. Схема грунтомета-полосопрокладывателя [15]

Материалы и методы

Для проведения лабораторных исследований рабочих процессов вырезных сферических дисков с гидроприводом изготовлен образец, содержащий узел грунтомета (рис. 2). Установка содержит передвижную тележку 1, навеску передвижной тележки 2, тензометрическую навеску 3, раму лабораторной установки 4, опорное колесо 5, гидромотор 6, стойку 7 вырезного дискового рабочего органа 8, почвенный канал 9. На раме установлен узел, позволяющий менять положение стойки для фиксации дискового рабочего органа, изменение установки стоки позволяет изменять и фиксировать угол атаки диска, на стойке зафиксирован гидромотор 6, приводящий в движение дисковый рабочий орган с полукруглыми вырезами через цепную передачу 8.

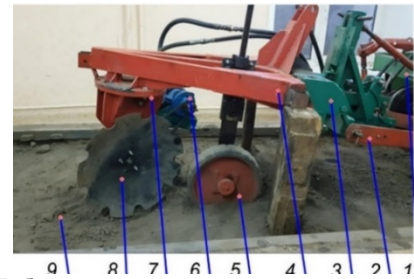


Рис. 2. Лабораторная экспериментальная установка с гидроприводом вырезного дискового рабочего органа (собственные разработки)

Для записи давления рабочей жидкости использовались датчики давления ПД-100, а для записи тягового усилия – S-образный датчик силы растяжения и сжатия с диапазоном измерения до 4,9 кН.

По методике проведения исследования нами были определены факторы, которые изменяли в ходе эксперимента угол (α) и угол (β) для сферического диска с полукруглыми вырезами, полученные результаты показаны в табл. 1. Функция отклика (y) – мощность вращения диска (N_B).

В ходе проведения опытов для проверки нормальности распределения характеристик, отвечающих за энергетические показания работы агрегата, выполнена серия, состоящая из 30 экспериментов при параметрах установки углов сферического диска с полукруглыми вырезами $\alpha = 10^0$, $\beta = 10^0$. Полученные результаты занесены в табл. 2.

Систематизация полученных данных проведенных экспериментов проведена в программе Microsoft Excel (табл. 3), расчётные значения $A_{S_{расч}} = -0,344$, $E_{x_{расч}} = -0,0129$. Табличные критические значения по абсолютной величине больше расчётных $A_{S_{крит}} > A_{S_{расч}}$ и $E_{x_{крит}} > E_{x_{расч}}$ ($0,865 > 0,0129$; $0,661 > 0,344$), что свидетельствует в пользу гипотезы о нормальном распределении выходной величины.

Таблица 1

Определение уровней и интервалов варьирования факторов						
Фактор			Уровни факторов, град			Интервал варьирования
Наименование	Обозначение					
	Натуральное	Нормализованное	Верхний	Основной	Нижний	
Угол атаки	α	x_1	30	20	10	10
Угол наклона	β	x_2	10	0	-10	10

(собственные разработки)

Таблица 2

Результаты серии опытов

№ оп	№в, Вт	№ оп	№в, Вт	№ оп	№в, Вт
1	1078	11	1067	21	1106
2	1121	12	1134	22	1126
3	1098	13	1113	23	1109
4	1107	14	1100	24	1093
5	1077	15	1090	25	1072
6	1089	16	1080	26	1101
7	1128	17	1109	27	1101
8	1104	18	1087	28	1119
9	1054	19	1101	29	1119
10	1106	20	1098	30	1089

(собственные разработки)

Для уточнения гипотезы о нормальности распределения функции отклика проведём проверку по критерию χ^2 -Пирсона. Для этого разбиваем выборку на 6 интервалов (табл. 4).

Теоретическая величина критерия χ^2 -Пирсона представлена в двух видах: расчётная и табличная, расчётное значение составляет 2,004, а табличное 7,815, на основании того, что табличное больше расчётного ($7,815 > 2,004$), принимаем гипотезу нормального распределения случайной величины.

Обозначим необходимое количество дублированных опытов (n) по выражению

$$n = t^2 s^2 / \Delta^2 = 4,56 \approx 5;$$

где S^2 , Δ , t – соответственно дисперсия, доверительный интервал и критерий Стьюдента.

Матрица планирования основного эксперимента по определению мощности вращения диска и результаты опытов представлены в табл. 5.

Таблица 3

Результаты расчёта в Microsoft Excel

Среднее	1099,2
Стандартная ошибка	3,424187
Медиана	1101
Стандартное отклонение	18,75505
Дисперсия выборки	351,7517
Эксцесс	-0,01293
Асимметричность	-0,34415
Минимум	1054
Максимум	1134
Уровень надёжности (95,0 %)	7,003249

(собственные разработки)

Применим проверку G-критерия Кохрена для проведённой серии экспериментов. Высшее значение дисперсии первого эксперимента равно $S_1^2 = 1509,7$

Следовательно,

$$G_{расч} = 0,312$$

По таблице распределения критерия Кохрена для проведённой нами серии экспериментов находим $G_{табл} = 0,72$. Неравенство $G_{расч} < G_{табл}$ позволяет сделать вывод об однородности дисперсий опытов.

Таблица 4

Расчёт критерия Пирсона

Интервал	Левый конец интервала	Правый конец интервала	Середина интервала	Частота (p _i)	$p_i(y_i - y_{cp})^2$	Частоты теоретические (p _{i теор})	$(p_i - p_{i теор})^2 / p_{i теор}$
1	1054	1067,4	1060,7	2	2748,8	1,11	0,719
2	1067,4	1080,8	1074,1	4	2241,7	3,78	0,012
3	1080,8	1094,2	1087,5	5	527,7	7,51	0,841
4	1094,2	1107,6	1100,9	10	97,7	8,68	0,201
5	1107,6	1121	1114,3	6	1638,7	5,83	0,005
6	1121	1134,4	1127,7	3	2686,8	2,28	0,227

(собственные разработки)

Таблица 5

Матрица планирования эксперимента

№ _{оп}	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	y ₁ , Вт	y ₂ , Вт	y ₃ , Вт	y ₄ , Вт	y ₅ , Вт		
1	-1	-1	1	912	954	958	941	986	950,2	725,2
2	1	-1	-1	2165	2246	2163	2194	2217	2197	1247,5
3	-1	1	-1	1061	1143	1125	1096	1054	1095,8	1509,7
4	1	1	1	2461	2383	2375	2438	2429	2417,2	1360,2

(собственные разработки)

Регрессионную модель тягового усилия будем искать в виде многочлена

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2;$$

Расчётные коэффициенты регрессионной модели представлены в табл. 6.

Таблица 6
Коэффициенты регрессии математической модели

b_0	b_1	b_2	b_{12}
1665,05	642,05	-91,45	18,65

собственные вычисления авторов

Для начала находим дисперсии коэффициентов регрессии

$$S^2\{b_i\} = 60,53$$

Тогда

$$S\{b_i\} = 7,78$$

Оценку значимости коэффициентов регрессии проводим, рассчитывая неравенство

$$|b_i| \leq t_{табл} S\{b_i\}.$$

Из таблиц t-распределения Стьюдента выбираем значение $t_{табл}$ при уровне значимости $q = 0,01$ и числе степеней свободы $f_y = 4$.

Тогда

$$t_{табл} = 2,92.$$

Следовательно,

$$t_{табл} S\{b_i\} = 22,72.$$

Вышеописанная зависимость не выполняется для коэффициента b_{12} ($18,65 < 22,72$), следовательно, данный параметр не будем учитывать, а значение $b_{12} x_1 x_2$ убираем из выражения.

Убрав из основного выражения значения, которые не оказывают существенного влияния на результат, получаем модель следующего вида:

$$y = 1665 + 642 x_1 - 91 x_2. \quad (1)$$

Адекватность полученной модели проверим по F-критерию Фишера ($F_{табл}$), если $F_{расч} < F_{табл}$, то модель считается адекватной. В нашем случае расчётное значение $F_{расч} = 5,75$, а $F_{табл} = 8,53$, условие $F_{расч} < F_{табл}$ ($5,75 < 8,53$) выполняется, следовательно, модель адекватна и может быть использована для описания объекта исследования.

Применим формулу

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i_0}}{I_i},$$

где \tilde{x}_i, x_i – соответственно натуральное и нормализованное значение фактора; I_i – интервал варьирования; \tilde{x}_{i_0} – натуральное значение основного уровня.

Найдём

$$x_1 = (\alpha - 20) / 10, \quad (2)$$

$$x_2 = \beta / 10. \quad (3)$$

Добавив выражения (2) и (3) в формулу (1) и произведя математическое преобразование, получим выражение регрессии в натуральном виде:

$$Nв (Вт) = 381 + 64,2\alpha - 9,1\beta. \quad (4)$$

Результаты и обсуждение

Произведя анализ (рис. 1, 2, 3) полученных данных описанной модели (4), можно сделать вывод, что затрачиваемая мощность на вращение сферического диска с полукруглыми вырезами изменяется с изменением угла атаки, например, при установленном значении $\alpha = 30^\circ$ затрачиваемая мощность $N = 2200$ Вт. При изменении угла наклона относительно вертикали при $\beta = 10^\circ$ затрачиваемая мощность $N = 500$ Вт.

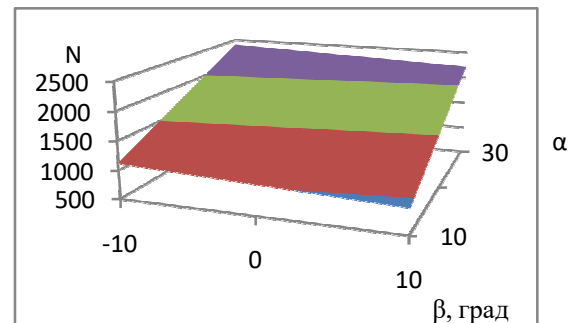


Рис. 2. График зависимости мощность вращения диска от угла атаки и угла наклона (собственные разработки)

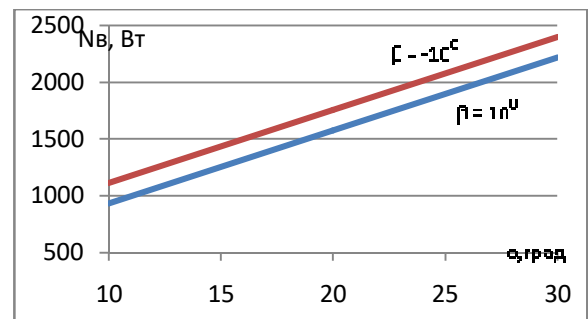


Рис. 3. Графики зависимости мощности от угла атаки (собственные разработки)

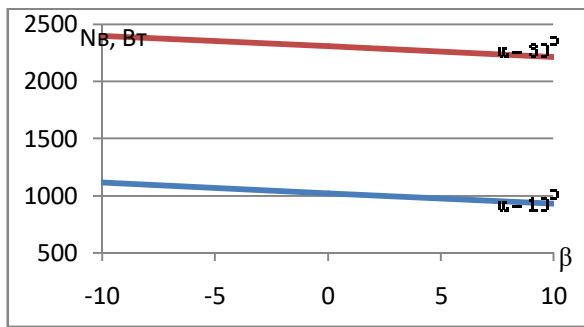


Рис. 4. График зависимости мощности от угла наклона (собственные разработки)

Выводы

Вследствие полученных данных проведенной серии экспериментов можно сделать вывод о том, что существенное воздействие на потребляемую мощность принудительного вращения сферического диска с полукруглыми вырезами оказывает изменение угла атаки, а изменение угла наклона

относительно вертикальной оси обладает минимальным влиянием на значения. С увеличением угла атаки потребляемая мощность на вращение сферического диска с полукруглыми вырезами растет. Агрегатирование грунтомета-полосопрокладывателя с вырезными сферическими дисками с приводом от гидромоторов повышает качество подготовки почвенного вала перед роторами-метателями и проходимость агрегата, что обеспечивает возможность эффективно выполнять поставленные задачи по ликвидации и предупредительным операциям в большом диапазоне лесных почв.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-60041/20.

Библиографический список

1. Mapping the Causes of Forest Fires in Portugal by Clustering Analysis / A. C. Meira Castro, A. Nunes, A. Sousa, L. Lourenço // *Geosciences*. – 2020. – Vol. 10 (2). – P. 53. – DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/geosciences10020053>.
2. Forest fires and climate change in the 21 st century / M. D. Flannigan, B. D. Amiro, K. A. Logan [et. al.] // *Mitigation and adaptation strategies for global change*. – 2006. – Vol. 11. – No. 4. – P. 847–859. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9020-7>.
3. Бартнев, И. М. К вопросу о тушении лесных пожаров грунтом / И. М. Бартнев, Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов // *Лесотехнический журнал*. – 2012. – № 4 (8). – С. 97–101.
4. 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.
5. Ma, Yu-chun Discussion on safety precaution and emergency avoidance of forest fire fighting / Ma Yu-chun, Zhao Yan-fei // *Fire Science and Technology*. – 2021. – Vol. 40 (1). – P. 5–7.
6. Bi-Objective Scheduling of Fire Engines for Fighting Forest Fires: New Optimization Approaches / P. Wu [et al.] // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2018. – Vol. 19 (4). – P. 1140–1151. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/tits.2017.2717188>.
7. Forest fires: methods and means for their suppression / M. Drapalyuk, D. Stupnikov, D. Druchinin, E. Pozdnyakov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 226. – 012061. – DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012061.
8. Bartnev, I. M. Research and development of the method of soil formation and delivery in the form of a concentrated flow to the edge of moving ground forest fire / I. M. Bartnev, P. I. Popikov, S. V. Malyukov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Jubilee Scientific and Practical Conference «Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)»*. – 2019. – No. 226 (1). – 012052. – DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012052.
9. Ступников, Д. С. Обоснование параметров рабочих органов лесопожарной грунтометательной машины : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ступников Дмитрий Сергеевич. – Воронеж, 2018. – 16 с.

10. Wei, M. The usage state and the prospect of forest fire extinguish equipments / M. Wei, K. Wang // *Forestry Machinery and Woodworking Equipment*. – 2006. – Vol. 7. – No. 34. – P. 11–14.
11. Latypov, R. The dependence of the quality of soil treatment on the parameters and operating modes of the working bodies of the cutter / R. Latypov, M. Kalimullin // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 1001. – № 1. – 012127.
12. Hann, W. J. Fire regime condition class and associated data for fire and fuels planning: methods and applications / W. J. Hann, D. J. Strohm // *Fire, fuel treatments and ecological restoration: conference proceedings. Proceedings RMRS-P-29*. – Fort Collins (CO): USDA-Forest Service, 2003. – P. 397–433.
13. Патент № 128887 Российская Федерация, МПК E02F A62C. Лесопожарная комбинированная грунтометательная машина : № 2013100599/03 : заявл. 09.01.2013 ; опубл. 10.06.2013 / М. В. Драпалюк, И. М. Бартенева, П. Э. Гончаров, Л. Д. Бухтояров, П. И. Попиков, М. А. Гнусов, Д. Ю. Дручинин, О. Б. Марков ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГЛТУ».
14. Комбинированный лесопожарный грунтомет и рекомендации по его применению / И. М. Бартенева, М. В. Драпалюк, П. Э. Гончаров [и др.] // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2012. – № 84. – С. 174–184.
15. Патент № 2684940 Российская Федерация, МПК E02F E02F A62C. Пожарный грунтомет-полосопрокладыватель : № 2018125062 : заявл. 09.07.2018; опубл. 16.04.2019 / И. М. Бартенева, П. И. Попиков, С. В. Малюков, С. В. Зимарин, Н. А. Шерстюков ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГЛТУ».

References

1. Meira Castro A. C., Nunes A., Sousa A., Lourenço L. (2020) Mapping the Causes of Forest Fires in Portugal by Clustering Analysis. *Geosciences*, vol. 10 (2), p. 53. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/geosciences10020053>.
2. Flannigan M. D., Amiro B. D., Logan K. A. (et al.) (2006) Forest fires and climate change in the 21 st century. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, vol. 11, no. 4, pp. 847-859. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9020-7>.
3. Bartenev I. M., Druchinin D. Yu., Gнусов M. A. (2012) *K voprosu o tushenii lesnyh pozharov gruntom* [On the question of extinguishing forest fires with soil]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, no. 4 (8), pp. 97-101 (in Russian).
4. Druchinin D. Yu., Gнусов M. A., Malyukov S. V., Chetverikova I. V. (2020) *Osobennosti protivopozharnogo obustrojstva lesov v Rossijskoj Federacii* [Features of the fire-prevention arrangement of forests in the Russian Federation]. *Resources and Technology*, vol. 17, no. 2, pp. 80-96 (in Russian). DOI: 10.15393/j2.art.2020.5302.
5. Ma Yu-chun, Zhao Yan-fei (2021) Discussion on safety precaution and emergency avoidance of forest fire fighting. *Fire Science and Technology*, vol. 40(1), pp. 5-7.
6. Wu P. (et al.) (2017) Bi-objective scheduling of fire engines for fighting forest fires: New optimization approaches. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, vol. 19, no. 4, pp. 1140-1151. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/tits.2017.2717188>.
7. Drapalyuk M., Stupnikov D., Druchinin D., Pozdnyakov E. (2019) Forest fires: methods and means for their suppression. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 226, no. 1, 012061. DOI: 10.1088 / 1755-1315 / 226/1/012061.
8. Bartenev I. M., Popikov P. I., Malyukov S. V. Research and development of the method of soil formation and delivery in the form of a concentrated flow to the edge of moving ground forest fire. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Jubilee Scientific and Practical Conference «Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)»*, 2019, no. 226 (1), 012052. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012052.
9. Stupnikov D. S. *Obosnovanie parametrov rabochih organov lesopozharnoj gruntometatel'noj mashiny: avtoreferat dis. kandidata tekhnicheskikh nauk* [Substantiation of parameters of working bodies of forest fire ground-throwing machine: abstract of PhD thesis (Engineering)]. Voronezh, 2018, 16 p. (in Russian).

10. Wei M., Wang K. (2006) The usage state and the prospect of forest fire extinguish equipments. *Forestry Machinery & Woodworking Equipment*, vol. 7, no. 34, pp. 11-14.
11. Latypov R., Kalimullin M. (2020) The dependence of the quality of soil treatment on the parameters and operating modes of the working bodies of the cutter. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1001, no. 1, 012127.
12. Hann W. J., Strohm D. J. Fire regime condition class and associated data for fire and fuels planning: methods and applications. *Fire, fuel treatments and ecological restoration: conference proceedings. Proceedings RMRS-P-29*. Fort Collins (CO): USDA-Forest Service, 2003, pp. 397-433.
13. Drapalyuk M. V., Bartenev I. M., Goncharov P. E., Bukhtoyarov L. D., Popikov P. I., Gnusov M. A., Druchinin D. Yu., Markov O. B. *Lesopozharnaja kombinirovannaja gruntometatel'naja mashina* [Combined forestry ground throwing machine]. Patent RF no. 128887.
14. Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Goncharov P. E. (et al.) (2012) *Kombinirovannyj lesopozharnyj gruntomet i rekomendacii po ego primeneniju* [Combined forest fire-fighting ground gun and recommendations for its use]. *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University.], no. 84, pp. 174-184 (in Russian).
15. Bartenev I. M., Popikov P. I., Malyukov S. V., Zimarin S. V., Sherstyukov N. A. *Pozharnyj gruntomet-polosoprokladyvatel'* [Firefighting soil-thrower and fire-break maker]. Patent RF no. 2684940.

Сведения об авторах

Зимарин Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: sezimarin@yandex.ru.

Гнусов Максим Александрович – кандидат технических наук, научный сотрудник, научно-исследовательский отдел (НИО) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: mgnusov@yandex.ru.

Попиков Виктор Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: viktorpopikov@yandex.ru.

Шерстюков Никита Александрович – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация.

Information about authors

Zimarin Sergey Viktorovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: sezimarin@yandex.ru.

Gnusov Maksim Aleksandrovich – PhD (Engineering), Researcher, Research Department (NIO), FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: mgnusov@yandex.ru.

Popikov Viktor Petrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: viktorpopikov@yandex.ru.

Sherstyukov Nikita Aleksandrovich – postgraduate student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation.