

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА РОТОРА-МЕТАТЕЛЯ ЛЕСОПОЖАРНОЙ ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

доктор технических наук **И.М. Бартнев**

аспирант **А.Ф. Петков**

кандидат физико-математических наук **Н.С. Камалова**

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

Работа описывает теоретические исследования математических, физических и имитационных моделей изучения грунтометательной техники, в частности, взаимодействие ротора-метателя с почвогрунтом. Изменения и новшества, проводимые мировым сообществом, получают развитие во многих направлениях, связанных с защитой леса от неконтролируемых лесных пожаров. Распространение неконтролируемого лесного низового пожара по горючему биотопливу происходит беглыми набегами по подстилке и по основаниям стволов деревьев с различной скоростью, а высота пламени без принятия мер достигнет верхушки дерева. Нами предложен вариант лесопожарного грунтомета, который выполняет технологический процесс с подъемом пласта грунта над поверхностью почвы, а затем уже трехступенчатый ротор-метатель производит выбрасывание почвогрунта в заданном направлении. Процесс метания грунта в количестве, достаточном для тушения лесной наземной кромки огня, представляет собой сложную систему взаимодействия рабочего органа со средой сыпучих элементов. Основная проблема, на наш взгляд, связана с недостаточным объемом грунта, подаваемым существующими агрегатами. Исследуется вопрос о формализованном моделировании движения грунта в процессе работы ротора лесопожарного грунтомета. При современном развитии цифровых технологий процесс принятия решения о способах модернизации технического оборудования немислим без проектирования рабочего процесса. Для постоянного развития модели формальные соотношения должны содержать параметры, характеризующие влияние условий эксплуатации оборудования. Таким образом, непрерывное проведение вычислительного эксперимента позволит не только оценивать параметры рабочего процесса, но и управлять оптимизацией самой модели для определения наиболее эффективных значений ее параметров. На первом этапе моделирования было принято решение, что основным параметром эффективности модернизации станет величина средней дальности полёта грунта. Формульные соотношения для модели были получены в рамках физики полёта материальной точки под углом к горизонту при минимальном влиянии внешней среды (пренебрежимо малой вязкости воздуха). На первом этапе моделирования с помощью электронных таблиц была проведена оценка зависимости $p(t)$ с помощью электронных таблиц, которая показала, что давление в системе стабилизируется за доли секунды. Таким образом, с помощью соотношений модели можно определять в результате вычислительного эксперимента величину средней дальности полёта грунта.

Ключевые слова: рабочий орган, грунтомет, полосопрокладыватель, грунт, имитационная модель

MATHEMATICAL MODEL OF THE OPERATING PROCESS OF THE ROTOR-THROWING MACHINE

DSc (Engineering) **I.M. Bartenev**

Post-graduate student **A.F. Petkov**

PhD (Physics and Mathematics) **N.S. Kamalova**

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

Abstract

The work describes theoretical studies of mathematical, physical and simulation models for studying ground-throwing equipment, in particular, the interaction of the rotor of the thrower with the soil. Changes and innovations carried out by the world community are developing in many directions related to the protection of forests from uncontrolled forest fires. The spread of an uncontrolled forest ground fire over a combustible biofuel occurs by running raids along the litter and along the bases of tree trunks at different speeds, and the height of the flame without taking measures will reach the top of the tree. We have proposed a version of a forest fire ground gun that performs a technological process with the rise of a soil layer above the soil surface, and then a three-stage rotor-thrower ejects the soil in a given direction. The process of throwing soil in an amount sufficient to extinguish the forest ground edge of the fire is a complex system of interaction of the working body with the medium of bulk elements. The main problem, in our opinion, is associated with the insufficient volume supplied by the existing units. We raise the issue of formalized modeling of soil movement during the operation of the rotor of a forest fire ground gun. With the modern development of digital technologies, the decision-making process on how to modernize technical equipment is unthinkable without designing a workflow. For the constant development of the model, formal relations should contain parameters characterizing the influence of the equipment operating conditions. Thus, the continuous computational experiment will allow not only to estimate the parameters of the working process, but also to manage the optimization of the model itself to determine the most effective values of its parameters. At the first stage of modeling, it was decided that the main parameter of the modernization efficiency would be the value of the average range of the ground flight. Formula relations for the model were obtained within the framework of the physics of the flight of a material point at an angle to the horizon with a minimum influence of the external environment (negligible air viscosity). At the first stage of modeling using spreadsheets, the dependence $p(t)$ was estimated using spreadsheets, which showed that the pressure in the system stabilizes in fractions of a second. So, using the model relations, it is possible to determine in the result of a computational experiment the value of the average range of the ground flight.

Keywords: working body, ground gun, strip laying machine, soil, simulation model

Введение

Возникающие последствия для природы от лесных пожаров, независимо от величины возгорания, описаны во множестве работ, в последние годы все чаще поднимается вопрос об орудиях и средствах, используемых для борьбы [1, 2]. Создание минерализованных полос повышает эффективность сохранения зелёной части нашей среды обитания и является обязательной мерой противопожарного обустройства лесов, закреплённой Лесным кодексом РФ [3]. Изменения и новшества, проводимые мировым сообществом, получают развитие

во многих направлениях, связанных с защитой леса от неконтролируемых лесных пожаров. Способы защиты леса от развития до крупных лесных пожаров каждый год совершенствуются и в нашей стране в ходе развития лесного хозяйства РФ также совершенствуются каждый год [4]. Научные исследования и разработки методов и машин для борьбы с лесными пожарами проводили учёные СССР и РФ в ФБУ «СПбНИИЛХ», Северном (Арктическом) федеральном университете, Забайкальском государственном университете, Сибирском государственном университете науки и технологий,

Саратовском ГАУ, Донском государственном техническом университете. Также и коллектив учёных ВГЛТУ проводит исследования способов и разработку высокоэффективной техники для тушения и предупреждения лесных пожаров. Техника, применяемая для тушения и создания защитных мер, различается от авиации до наземных средств и немеханизированных подходов. Работа рассматривает создание механизированной конструкции для профилактики и ликвидации низовых лесных пожаров, относящейся к грунтометательной технике [5]. Проведённые теоретические исследования по резанию и метанию грунта фрезерными агрегатами рассматривают большое количество методов и подходов.

Распространение неконтролируемого лесного низового пожара по горючему биотопливу происходит беглыми набегами по подстилке и по основаниям стволов деревьев с различной скоростью, а высота пламени без принятия мер достигнет верхушки дерева. Различаются три степени распространения – низкая, средняя и высокая [6].

Локализовать и ликвидировать огонь можно тремя способами: прямым, косвенным с прокладкой заградительных минерализованных полос, косвенным с отжигом от опорных полос [7].

В настоящее время роторы-метатели широко применяются на различных технологических машинах для перемещения пластичных, сыпучих и пылевидных материалов. Для тушения лесных пожаров известны фрезерные роторные грунтометы ГТ-3, ПФ-1, АЛФ-10, а также разработанные в ВГЛТУ лесопожарная грунтометательная машина Ступникова Д.С. и лесопожарный грунтомет с двумя фрезами-метателями. Однако они имеют серьёзные недостатки – низкую производительность и высокую энергоёмкость, вследствие чего почвогрунт прилипает на лопатки и не имеет осевого перемещения, кроме этого, замечен повышенный износ лопаток, также возросли потери на перегрузки. Все это объясняется тем, что уровень теории роторов-метателей отстаёт от практических испытаний. Поэтому работа направлена на повышение эффективности применения роторов-метателей на лесопожарных грунтометательных машинах и является актуальной.

Предлагаемая конструкция лесопожарной грунтометательной машины решает задачу повышения эффективности тушения лесного низового пожара за счёт полной подачи почвенного вала одновременно ко всем лопаткам ротора-метателя (рис. 1).

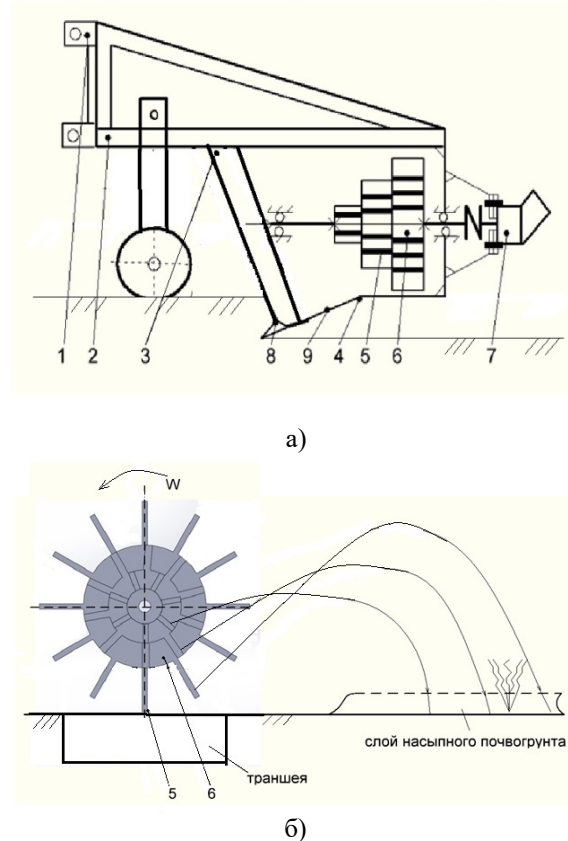


Рис. 1. а) схема лесопожарной грунтометательной машины, б) технологическая схема (собственные разработки)

Лесопожарный грунтомет состоит из механизма навески 1, рамы 2, наклонных ножей 3, кожуха-рыхлителя 4, лопаток 5, трехступенчатого ротора-метателя 6, гидромотора 7, скобы с лемехом 8, лотка-подъемника 9.

Целью исследования является обоснование кинематических и динамических параметров роторов-метателей лесопожарных грунтометательных машин за счет теоретического исследования взаимодействия ротора-метателя с почвогрунтом и его метания на кромку огня.

Материалы и методы

Теоретическим и экспериментальным исследованиям почвообрабатывающих машин с актив-

ными рабочими органами посвящены работы ряда отечественных учёных: А.Н. Чукичев, И.М. Бартевнев, И.С. Федорченко, С.Н. Орловский, С.В. Фокин, В.И. Казаков, П.И. Попиков, Посметьев В.И., П.Э. Гончаров и др.

В работе С.Н. Орловского математически описана работа на преодоление сопротивления резанию грунта; преодоление сопротивления перемещению срезанного грунта; перерезание встречающихся в почве корней деревьев. И рассчитаны затраты мощности на выполнение этой работы [8].

Работа грунтомета имеет вид

$$e_{\Sigma} = e_{упр.г} + e_{упр.п} + e_{л.п} + e_{к.п} + e_{к} + e_{п} + e_{отбр} + e_{тр} + e_{\sigma} \quad (1)$$

где e_{Σ} – удельная работа;

$e_{упр.г}$ – работа на преодоление сопротивления резанию грунта;

$e_{упр.п}$ – работа на преодоление сопротивления резанию подстилки;

$e_{л}$ – работа на преодоление сопротивления перемещению срезанного грунта;

$e_{к}$ – работа на перерезание корней;

$e_{отбр}$ – работа на сообщение кинетической энергии срезанному грунту;

$e_{тр}$ – работа на преодоление сил трения в приводе рабочего органа.

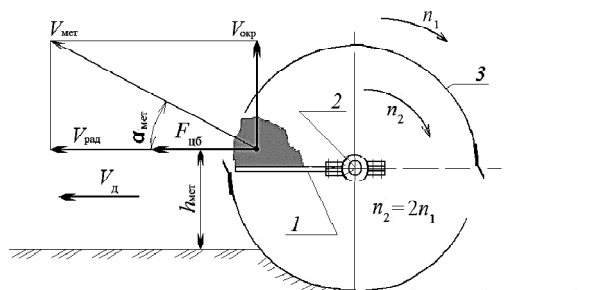


Рис. 2. Взаимодействие ротора-метателя с почвенной средой: 1 – лопатка метателя, 2 – вал со ступицей, 3 – кожух (n_1 и n_2 – частота вращения соответственно кожуха и метателя) [10]

В своей работе Д.С. Ступников описывает конструкцию с двумя степенями свободы [9], используя неподвижную систему координат $OXYZ$, привязанную к почве, подвижную систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$, привязанную к кожуху-рыхлителю, и $O_2X_2Y_2Z_2$, привязанную к лопатке (рис. 3). Обобщённой координатой выбрана x – координата точки

A_1 на кожухе-рыхлителе (тело 1) и φ – угол поворота ротора (тело 2) относительно оси вращения O_2X_2 .

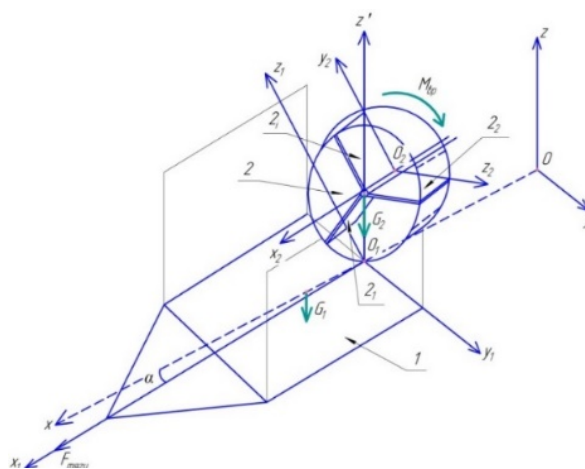


Рис. 3. Схема взаимного расположения систем координат для расчётов [8]

Перемещения элементов конструкции и грунта описаны уравнениями Лагранжа II рода, которые для рассчитываемой схемы имеют вид

$$\begin{cases} (m_1 + m_2)\ddot{x} = F_{мет} - (f^d + f^n)\cos^2\alpha \int_{\xi} q(x_1, y_1)ds - bh\sigma_p \\ J_x \ddot{\varphi} = M_{об} - \sum_{i=1}^N \int_{S_{2i}} N_2(y_2, \varphi_i) y_2 ds \end{cases} \quad (2)$$

$$K_p = \frac{10^{-5}}{7,28 \cdot P + 106}, \quad \frac{M^3}{Pa}$$

Из этих уравнений (2) рассчитаны сила тяги и крутящий момент для установившегося движения

$$\begin{aligned} F_{тяги} &= (f^d + f^n)\cos^2\alpha \int_{(s_1)} q(x_1, y_1)ds + F_p \\ M_{об} &= \sum_{i=1}^N \int_{S_{2i}} N_2(y_2, \varphi_i) y_2 ds \end{aligned} \quad (3)$$

Зависимость $\vec{N}_{2i} = \vec{N}_{2i}(\varphi, x_2, y_2)$ описывает давление почвогрунта на i -ю лопатку, Pa (рис. 4) и связана с изменением условий контакта лопатки с грунтом при изменении угла φ . Зависимость \vec{N}_{2i} от координат x_2, y_2 определяется формой срезанного объёма грунта. Силы трения распределены по лопатке в соответствии с законом Кулона и характеризуются функцией $\vec{f}_{тр.ск.2i}$. Векторы \vec{N}_{2i} и $\vec{f}_{тр.ск.2i}$ определяются из решения сопряжённой задачи.

Однако проведённых исследований взаимодействия ротора-метателя с почвогрунтом и его метания на кромку огня недостаточно для обоснования кинематических и динамических параметров

роторов-метателей эффективных лесопожарных
грунтometательных машин.

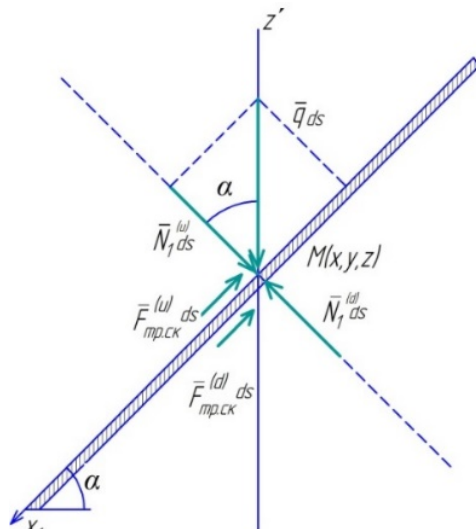


Рис. 4. Схема сил и моментов [8]

Результаты и обсуждение

К вопросу о формализованном моделировании движения грунта в процессе работы ротора лесопожарного грунтometа. При современном развитии цифровых технологий процесс принятия решения о способах модернизации технического оборудования немислим без проектирования рабочего процесса. Согласно общим научным подходам, стратегия современного моделирования состоит из следующих этапов [9-12]:

- вербальное моделирование;
- формирование основополагающих уравнений движения и расхода сред для механических систем на базе символьных выражений для реализации математических соотношений;
- определение формальных выражений для основных характеристик рабочего процесса для формирования принципа оптимизации рабочего процесса или структуры механической системы.

Кроме того, для постоянного развития модели формальные соотношения должны содержать параметры, характеризующие влияние условий эксплуатации оборудования. Таким образом, непрерывное проведение вычислительного эксперимента позволит не только оценивать параметры рабочего процесса, но и управлять оптимизацией самой модели для определения наиболее эффективных значений ее параметров.

Поскольку невозможно управлять оптимизацией только математическим методом, то потребуется разработка формализованной модели, включающей в себя программу для ЭВМ, которая позволит исследователю менять параметры модели и отслеживать изменения, таким образом подбирая наиболее удачные значения.

На первом этапе моделирования было принято решение, что основным параметром эффективности модернизации станет величина средней дальности полёта грунта. Формульные соотношения для модели были получены в рамках физики полёта материальной точки под углом к горизонту при минимальном влиянии внешней среды (пренебрежимо малой вязкости воздуха). В рамках такого подхода величина дальности определяется соотношением

$$S_i = (\omega R_i + V_{вет})^2 \frac{\sin 2\alpha_i}{2g} \quad (4)$$

В соотношении (4) ω – скорость вращения рабочего органа, R_i – радиус диска, на котором закреплена лопатка; $V_{вет}$ – скорость ветра (характеризующее влияние среды); α_i – угол, под которым грунт вылетает в рабочем процессе; g – ускорение силы тяжести, в поле которой осуществляется движение грунта.

Согласно выбранной модели рабочего процесса ротора лесопожарного грунтometа,

$$\begin{cases} \frac{dp}{dt} = \frac{1}{K_p} (q_H n_H - q_m \omega - a_y p); \\ J_{np} \frac{d\omega}{dt} = M_{ep} - \frac{1}{3} \mu \omega [R^3 - (R - H)^3]. \end{cases} \quad (5)$$

Данная система формально моделирует вращательное движение ротора и давление в системе. Для формирования модельных соотношений изменений давления в системе и скорости вращения в течение реального времени решим второе уравнение при фиксированной величине вращающего момента $M_{вр}$, введя следующие обозначения:

$$\omega_r = \frac{M_{ep}}{J_{np} K_\omega},$$

$$\text{где } K_\omega = \frac{\mu(R^3 - (R - H)^3)}{3J_{np}}.$$

Решение второго уравнения системы является зависимостью скорости вращения от времени и определяется соотношением

$$\omega = \omega_r (1 - e^{-K_\omega t}) \quad (6)$$

Поскольку интересным является установившееся движение, то можно полагать в рамках поставленной задачи, что $\omega = \omega_r$. В рамках такого подхода с учётом известных соотношений первое уравнение системы преобразуется к соотношению

$$\frac{dp}{dt} = (7.28p + 106)(K_\eta - K_\varepsilon p) \quad (7)$$

В последнем соотношении

$$K_\eta = 10^5 q_H n_H ;$$

$$K_\varepsilon = 10^5 (\omega_r + a_y) .$$

После некоторых преобразований при условии, что в начальный момент времени $p = p_0$ можно получить соотношение для давления в системе,

$$p = \frac{p_1 - p_2 C(1 - e^{-At})}{(1 - Ce^{-At})} \quad (8)$$

В полученном формульном соотношении введены следующие обозначения:

$$p_1 = \frac{106K_\varepsilon - 7,28K_\eta - \sqrt{(106K_\varepsilon - 7,28K_\eta)^2 + 3086,72K_\eta^2}}{14,56K_\varepsilon}$$

$$p_2 = \frac{106K_\varepsilon - 7,28K_\eta + \sqrt{(106K_\varepsilon - 7,28K_\eta)^2 + 3086,72K_\eta^2}}{14,56K_\varepsilon}$$

$$C = \frac{p_0 - p_1}{p_0 - p_2}$$

$$A = 7,28K_\eta(p_1 - p_2)$$

На первом этапе моделирования с помощью электронных таблиц была проведена оценка зависимости $p(t)$ с помощью электронных таблиц, которая показала, что давление в системе стабилизируется за доли секунды (рис. 5).

В результате с помощью соотношений (4), (7) и (8) можно определять в результате вычислительного эксперимента величину средней дальности полёта грунта.

Выводы

Проведён анализ существующих конструкций, а также проведённых теоретических исследований. При разработке и подготовке к производственным условиям работы лесопожарной грунтометательной техники с максимально эффективными характеристиками работы целесообразно использовать математическое моделирование. Предложенный нами грунтомет выполняет метание почвогрунта в заданном направлении с помощью метательного рабочего органа, выполненного с тремя

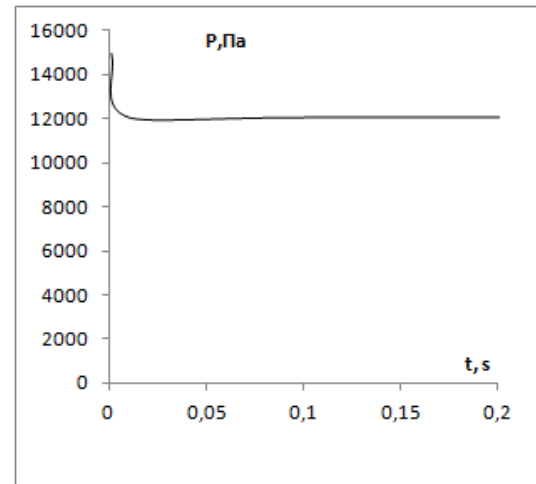


Рис. 5. Зависимость давления в системе от времени (собственные разработки)

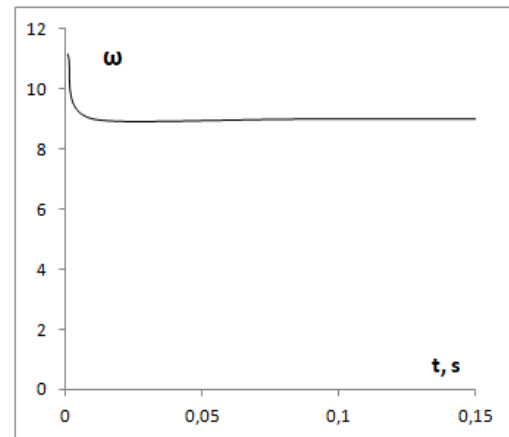


Рис. 6. Зависимость скорости вращения ротора от времени (собственные разработки)

ярусами лопаток, установленных на разном радиусе, что позволяет достичь эффективного распределения большого количества почвогрунта в отсыпаемой полосе. Также определен научный подход для стратегии современного моделирования, описанный в работе.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90159.

Библиографический список

1. Lacroix, K. Climate change beliefs shape the interpretation of forest fire events / K. Lacroix, R. Gifford, J. Rush // *Climatic Change*. – 2020. – Vol. 159. – № 1. – P. 103–120.
2. Savchenkova, V. A. The problem of fire fighting during the hours of darkness / V. A. Savchenkova [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2020. – No. 421. – 062002. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/421/6/062002>.
3. 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.
4. Малюков, С. В. Истоки зарождения грунтометательных машин / С. В. Малюков, Д. С. Ступников // *Воронежский научно-технический Вестник*. – 2018. – Т. 4. – № 4. – С. 83–96.
5. 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.
6. Forest fires: methods and means for their suppression / M. Drapalyuk, D. Stupnikov, D. Druchinin, E. Pozdnyakov // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – No. 226. – 012061. – DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012061.
7. Орловский, С. Н. Теоретическое и экспериментальное исследование резания лесных почв фрезерными рабочими органами / С. Н. Орловский, А. И. Карнаухов // *Проблемы ускоренного воспроизводства и комплексного использования лесных ресурсов*. – Воронеж, 2006. – С. 156–163.
8. Modern designs of forest fires machines for soil extinguishment of fire / I. M. Bartenev, S. V. Malyukov, M. A. Gnusov [et al.] // *Engineering and earth sciences: applied and fundamental research (ISEES 2018)*. – Grozni, 2018. – P. 48–53.
9. Колычев, С. А. Стратификация задачи предсказания угрозы лесных пожаров методами системного анализа / С. А. Колычев // *Физико-математическое моделирование систем : Матер. XIX Междунар. семинара*. – 2018. – С. 137–140.
10. Колычев, С. А. Механизм обоснования инвестиционной стратегии на основе прогноза динамики рынка лёгких самолётов / С. А. Колычев // *Управление экономическими системами: электронный научный журнал*. – 2017. – № 12 (106). – С. 31.
11. Евсиков, Ф. Д. Применение формализованного моделирования сложных систем к прогнозированию пожаров / Ф. Д. Евсиков, Н. С. Камалова, В. И. Лисицын // *Развитие идей Г.Ф. Морозова при переходе к устойчивому лесоуправлению : Матер. междунар. науч.-техн. юбилейной конференции*. – 2017. – С. 27–30.
12. Системный подход к проблеме обоснования модернизации лесозаготовительных машин / П. И. Попиков, Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, В. С. Полянин // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник науч. трудов по материалам междунар. заочной науч.-практ. конференции*. – Воронеж, 2015. – № 2. – Ч. 2 (13-2). – С. 296–300.

References

1. Lacroix K., Gifford R., Rush J. (2020) Climate change beliefs shape the interpretation of forest fire events. *Climatic Change*, Vol. 159, no. 1, pp. 103-120.
2. Savchenkova V. A. (et al.) (2020) The problem of fire fighting during the hours of darkness. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, no. 421, 062002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/421/6/062002>.
3. Druchinin D. Yu., Gnusov 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. DOI: 10.15393/j2.art.2020.5302 (in Russian).

4. Malyukov S. V., Stupnikov D. S. (2018) *Istoki zarozhdenija gruntometatel'nyh mashin* [The origins of soil-throwing machines]. *Voronezhskij nauchno-tehnicheskij Vestnik* [Voronezh Scientific and Technical Bulletin], Vol. 4, no. 4, pp. 83-96 (in Russian).
5. Bartenev I. M., Druchinin D. Yu., Gnusov 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).
6. Drapalyuk M., Stupnikov D., Druchinin D., Pozdnyakov E. (2019) Forest fires: methods and means for their suppression. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, no. 226, 012061. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012061.
7. Orlovsky S. N., Karnaukhov A. I. (2006) *Teoreticheskoe i jeksperimental'noe issledovanie rezanija lesnyh pochv frezernymi rabochimi organami* [Theoretical and experimental study of cutting forest soils by milling working bodies]. *Problemy uskorenogo vosproizvodstva i kompleksnogo ispol'zovanija lesnyh resursov* [Problems of accelerated reproduction and integrated use of forest resources]. Voronezh, 2006, pp. 156-163 (in Russian).
8. Bartenev I. M., Malyukov S. V., Gnusov M. A. (et al.) Modern designs of forest fires machines for soil extinguishment of fire. *Engineering and earth sciences: applied and fundamental research (ISEES 2018)*. Grozni, 2018, pp. 48-53.
9. Kolychev S. A. *Stratifikacija zadachi predskazanija ugrozy lesnyh pozharov metodami sistemnogo analiza* [Stratification of the problem of predicting the threat of forest fires by methods of system analysis]. *Fiziko-matematicheskoe modelirovanie sistem Materialy XIX Mezhdunarodnogo seminara* [Physical and mathematical modeling of systems Materials of the XIX International seminar]. 2018, pp. 137-140 (in Russian).
10. Kolychev S. A. (2017) *Mehanizm obosnovanija investicionnoj strategii na osnove prognoza dinamiki rynka ljogkih samoljotov* [The mechanism for substantiating the investment strategy based on the forecast of the dynamics of the light aircraft market]. *Upravlenie jekonomicheskimi sistemami: jelektronnyj nauchnyj zhurnal* [Management of economic systems: electronic scientific journal], no. 12 (106), pp. 31 (in Russian).
11. Evsikov F. D., Kamalova N. S., Lisitsyn V. I. *Primenenie formalizovannogo modelirovanija slozhnyh sistem k prognozirovaniju pozharov* [Application of formalized modeling of complex systems to forecasting fires]. *Razvitie idej G.F. Morozova pri perehode k ustojchivomu lesoupravleniju Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy jubilejnoj konferencii* [Development of G.F. Morozov's ideas in the transition to sustainable forest management. Materials of the international scientific and technical anniversary conference, 2017, pp. 27-30 (in Russian).
12. Popikov P. I., Evsikova N. Yu., Kamalova N. S., Polyaniin V. S. *Sistemnyj podhod k probleme obosnovanija modernizacii lesozagotovitel'nyh mashin* [A systematic approach to the problem of justifying the modernization of logging machines]. *Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika : sbornik nauchnyh trudov po materialam mezhdunarodnoj zaochnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice: a collection of scientific papers based on the materials of the international correspondence scientific and practical conference]. Voronezh, 2015, no. 2, part 2 (13-2), pp. 296-300 (in Russian).

Сведения об авторах

Бартенев Иван Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru.

Петков Александр Федорович – аспирант, младший научный сотрудник, НИИ ИТЛК ВГЛТУ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru.

Камалова Нина Сергеевна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: rcamel@yandex.ru.

Information about authors

Bartenev Ivan Mikhailovich – DSc (Engineering), Professor, 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: kafedramehaniza@mail.ru.

Petkov Aleksandr Fedorovich – post-graduate student, Junior Researcher, Research Institute of ITLK VGLTU "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru.

Kamalova Nina Sergeevna – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of General and Applied Physics, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: rcamel@yandex.ru.