

Оригинальная статья

УДК 630\*:614.842

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-110-116



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ ЛЕСНЫМИ ОГНЕТУШИТЕЛЯМИ

*Журавлева Лариса Анатольевна, д-р техн. наук, доцент;*

ORCID: 0000-0002-1168-4001; Scopus: 57204785451; РИНЦИД: WOSResearchID: AAO-7123-2020; dfz@yandex.ru

*Апатенко Алексей Сергеевич, д-р техн. наук, доцент;*

AuthorID: 261571; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; a.apatenko@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

**Аннотация.** Патрулирование зон отдыха и тушение непотушенных костров являются одними из эффективных методов профилактики лесных пожаров. Наиболее распространенными за счет простоты и легкости применения техническими средствами тушения лесных пожаров являются переносные ранцевые лесные огнетушители. Их общие недостатки заключаются в низкой эффективности и большом расходе огнетушащих веществ. Цель исследований – повышение эффективности тушения природных пожаров с помощью ранцевых лесных огнетушителей на основе разработки конструктивно-технических решений и технологических приемов, обеспечивающих экономное расходование огнетушащих средств, оценка взаимодействия пара и различных источников горения. В статье представлены исследования характеристик распыленной воды и пароводяной смеси, влияющих на эффективность тушения, оптимальное соотношение конструктивных параметров разработанных ранцевых лесных огнетушителей. Концентрация водяного пара в воздухе более 35% является достаточной для прекращения процесса горения. Экспериментальные исследования подтверждают, что распыленная вода и пароводяные смеси эффективны как самостоятельные средства тушения и как средство создания опорных полос. При создании опорных полос толщина пленки конденсата должна составлять не менее 0,1 мм. Эффективная скорость патрулирующего леса пожарного (добровольца) с парогенератором должна составлять 1,5-2,5 км/ч.

**Ключевые слова:** тушение пожаров, ранцевый огнетушитель, водяной пар, пароводяная смесь, вода, парогенератор, распыленная вода, эффективность

**Формат цитирования:** Журавлева Л.А., Апатенко А.С. Повышение эффективности тушения природных пожаров лесными огнетушителями // Природообустройство. 2023. № 4. С. 110-116. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-110-116.

© Журавлева Л.А., Апатенко А.С., 2023

Original article

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF EXTINGUISHING WILDFIRES WITH FOREST FIRE EXTINGUISHERS

*Zhuravleva Larisa Anatoljevna, doctor of technical sciences, associate professor;*

ORCID: 0000-0002-11684001; Scopus: 57204785451; РИНЦИД: WOSResearchID: AAO-7123-2020; dfz@yandex.ru

*Apatenko Alexey Sergeevich, doctor of technical sciences, associate professor;*

AuthorID: 261571; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; a.apatenko@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev, 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49, Russia

**Annotation.** Patrolling recreation areas and extinguishing un-extinguished fires is one of the effective methods of preventing forest fires. Portable knapsack forest fire extinguishers are the most common due to their simplicity and ease of use by technical means of extinguishing forest fires. Their common disadvantages are low efficiency and high consumption of extinguishing agents. The purpose of the study is to increase the efficiency of extinguishing wildfires with the help of knapsack forest fire extinguishers based on the development of constructive and technical solutions and technological techniques that ensure economical use of fire extinguishing agents. The article presents studies of the characteristics of sprayed water and steam-water mixture affecting the extinguishing efficiency. The optimal ratio of the design parameters of the developed knapsack forest fire extinguishers is given. The concentration of water vapor

in the air of more than 35% is sufficient to stop the process. Experimental studies confirm that sprayed water and steam-water mixtures are effective as independent extinguishing agents, and as a means of creating support strips. When creating support strips, the thickness of the condensate film should be at least 0.1 mm. The effective speed of a patroller with a steam generator should be 1.5-2.5 km/h.

**Keywords:** fire extinguishing, knapsack fire extinguisher, water vapor, steam-water mixture, water, steam generator, sprayed water, efficiency

**Format of citation:** Zhuravleva L.A., Apatenko A.S. Improving the efficiency of extinguishing wildfires with forest fire extinguishers // Prirodobustrojstvo. 2023. № 4. P. 110-116. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-110-116.

**Введение.** Ежегодно в России регистрируется до 35000 лесных пожаров на площади до 2,5 млн га, повреждается около 0,5% общей площади, в атмосферу выбрасываются тонны продуктов сгорания. В отдаленных от проживания людей лесных массивах причиной пожаров, как правило, являются молнии, а в лесных массивах, близко расположенных к жилой зоне, – деятельность человека.

Наиболее конструктивно простыми легкими в эксплуатации средствами тушения лесных пожаров являются ранцевые лесные огнетушители, эффективно применяемые при раннем обнаружении пожара, патрулирование рекреационных зон, лесополос, пригородных лесов. Своевременно обнаруженный пожар может быть потушен с минимальными затратами сил и средств. Тем не менее ручные лесные огнетушители имеют свои особенности эксплуатации, и часто от применяемых верных технологических приемов зависит общая эффективность процесса пожаротушения.

Ранцевые лесные огнетушители недорогие, они просты по конструкции и надежны. В них используются вода или водные растворы с добавками для повышения эффективности тушения пожара. Общими недостатками являются достаточно низкий коэффициент полезного действия и большой расход огнетушащих средств. Для повышения эффективности в воду добавляют смачивающие добавки.

Исследования процесса тушения природных пожаров проводились многими российскими учеными [1-15].

Методы тушения природных пожаров, технические средства, технологические приемы достаточно разнообразны, однако сведений о применении малых ручных технических средств недостаточно, отсутствуют обобщенные принципы их выбора, расчета и обоснования применяемых приемов. Поэтому необходимы научно обоснованный подход, оптимизация конструктивных параметров огнетушителей, технологических параметров процесса тушения, технологических схем и приемов.

Научная проблема заключается в обеспечении тушения природных пожаров с минимальным расходом огнетушащих веществ, поскольку дозировка водой при отсутствии в непосредственной

близости водоисточника при патрулировании лесов является весьма затрудненной.

**Цель исследований:** повышение эффективности тушения природных пожаров с помощью ранцевых лесных огнетушителей на основе разработки конструктивно-технических решений и технологических приемов, обеспечивающих экономное расходование огнетушащих средств.

Полевые исследования проводились в конце августа– начале сентября на территории Саратовской области.

**Материалы и методы исследований.** Для создания противопожарных заградительных полос и опорных линий используются составы, представляющие собой смесь воздуха, пенообразователя и воды. Рассмотрим смачивание поверхностей как физический процесс.

Снижение поверхностного натяжения жидкости зависит от химического состава смачивающего вещества и его концентрации. Введение поверхностно-активных веществ в жидкость повышает эффективность пожаротушения, в частности, при создании опорных полос. Смачиваемость количественно определяется величиной краевого угла смачивания: чем меньше краевой угол, тем лучше смачиваемость (рис. 1).

При попадании на поверхность капля изначально имеет сферическую форму (рис. 1а). Затем

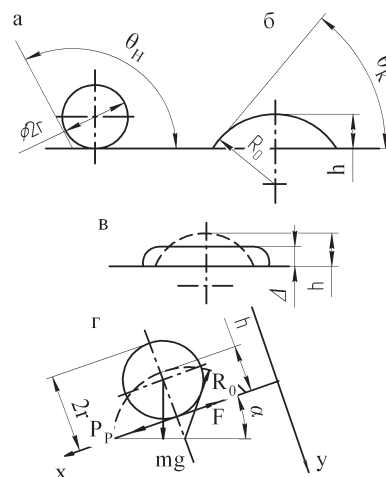


Рис. 1. Схемы поверхностисмачивания

Fig. 1. Wetting surface diagrams

капля растекается, достигая высоты  $h$  (рис. 1b), и далее, до минимальной толщины  $\Delta$  (рис. 1c).

Форма, которую принимает капля, определяется соотношением сил тяжести, поверхностным натяжением, взаимодействием жидкости и твердой поверхности.

Предполагается (рис. 1a), что на каплю, лежащую на поверхности под углом  $\alpha$  к горизонту, действуют сила тяжести  $mg$  и сила трения  $F$ :

$$mg = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g; \quad (1)$$

$$F = \mu S \frac{dV}{dy}, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус капли;  $\rho$ ,  $\mu$  – плотность и вязкость жидкости;  $\frac{dV}{dy}$  – градиент скорости;  $S$  – площадь слоя покрытия.

Сила растекания:

$$P_p = k_1 r \sigma (1 - \cos \theta), \quad (3)$$

где  $k_1$  – коэффициент изменения  $S$  и  $r$ ;  $\theta$  – краевой угол.

Для сферической капли  $k_{1max} = 4\pi$ ;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения.

Уравнение растекания –

$$\frac{d(mV)}{dt} = mg \sin \alpha + P_p - F. \quad (4)$$

Краевой угол до растекания  $\theta_H$  ( $\theta_{Hmax} = \pi$ ), после растекания –  $\theta_K$ . Тогда

$$P_p = \frac{k_1 r \sigma \int_{\theta_H}^{\theta_K} (1 - \cos \theta) d\theta}{\theta_H - \theta_K} = k_1 r \sigma \beta, \quad (5)$$

где  $\beta$  – коэффициент изменения формы капли ( $0 < \beta \leq 1$ );

$$\beta = \frac{\int_{\theta_H}^{\theta_K} (1 - \cos \theta) d\theta}{\theta_H - \theta_K}. \quad (6)$$

При  $\theta_H \neq \pi$ ,  $\theta_K \neq 0$

$$\beta = 1 - \frac{\sin \theta_K - \sin \theta_H}{\theta_H - \theta_K}. \quad (7)$$

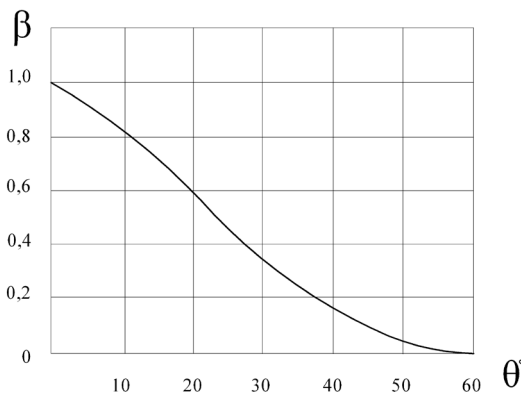


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $\beta$  от угла  $\theta$   
Fig. 2. Dependence of the  $\beta$  coefficient on the angle  $\theta$

При максимальном растекании  $\theta_H = \pi$ ,  $\theta_K = 0$ :

$$P_p = 2\pi r \sigma. \quad (8)$$

Для растворов, если  $\theta_K \neq 0$ , –

$$P_p = 2\pi r \sigma \beta. \quad (9)$$

Теоретическая зависимость  $\beta=f(\theta)$  (рис. 2):

$$\frac{\ell}{6} = \frac{\ell}{4} \Delta \quad (10)$$

где  $\ell$  – размер пятна смачивания при толщине слоя  $\Delta$ .

Размер пятна смачивания –

$$\ell = \sqrt{\frac{2d_K^3}{3\Delta}}. \quad (11)$$

Для создания опорной полосы, препятствующей горению, требуется минимальный слой жидкости  $\Delta$ :

$$h > \Delta, \quad (12)$$

где  $h$  – толщина пленки смачивающей жидкости.

Толщина пленки, препятствующая горению, должна составлять не менее 0,1 мм, а скорость движения оператора ( $V=\text{const}$ ) [7-8]

$$h = \int q(L) dt = \int q(L) \frac{dL}{V}; \quad (13)$$

$$Vh = \int q(L) dL, \quad (14)$$

где  $q$  – производительность установки, л/мин;  $V$  – скорость перемещения оператора, м/мин;  $L$  – длина кромки, м.

Определяющими факторами при оптимизации техники и технологических приемов пожаротушения являются равномерность распределения слоя жидкости на лесных горючих материалах, интенсивность, количество расходуемого огнетушащего вещества и скорость передвижения оператора.

Эффективность процесса тушения характеризуется интенсивностью подачи воды (огнетушащего средства), подаваемой на единицу длины кромки пожара в единицу времени.

В таблицах 1, 2 представлена скорость тушения для лесного огнетушителя РЛО-М [9].

Соотношение интенсивности  $W$  и времени подачи  $\tau$  жидкости при тушении кромки пожара длиной 1 м [9] представляется как

$$W = \frac{q\tau k}{L}, \quad (15)$$

где  $\tau$  – время тушения;  $k$  – коэффициент времени.

Время, затраченное на тушение, мин [9], –

$$\tau = \frac{LW}{qk}. \quad (16)$$

Производительность РЛО-М составляет 2,25 л/мин. Результаты расчетов сведены в таблицу 3.



Таблица 1. Скорость тушения  
на кромке пожара, м/час

Table 1. Speed of extinguishing at the fire line, m/h

Вид пожара Type of fire	Интенсивность пожара Fire intensity		
	Высокая High	Средняя Average	Низовая Low
Устойчивый / Steady	20-40	40-80	80-150
Беглый / Ground	30-50	50-100	100-200

Таблица 2. Расход воды на кромке  
лесного пожара с использованием РЛО-МTable 2. Water consumption at the edge  
of a forest fire using RLO-M

Вид пожара Type of fire	Интенсивность пожара Fire intensity		
	Высокая High	Средняя Average	Низкая low
Расход воды, л/м / Water consumption, l / m			
Устойчивый / Steady	5,7-2,8	2,8-1,4	1,4-0,7
Беглый / Ground	3,8-2,3	2,3-1,1	1,1-0,5

Таблица 3. Время тушения кромки пожара  
длиной 1 м с использованием РЛО-МTable 3. Time to extinguish the edge  
of the fire with a length of 1 m using RLO-M

Вид низового пожара Type of a grassroots fire	Интенсивность пожара Fire intensity		
	Высокая High	Средняя Average	Низкая Low
Время подачи воды, с / Time of water supply, s			
Устойчивый / Steady	180-90	90-45	45-24
Беглый / Ground	120-72	72-36	36-18

Средний слой жидкости, подаваемой в зону тушения со скоростью  $V$  и расходом  $q$ , м [9], –

$$h = \frac{0,001q}{BV}, \quad (17)$$

где  $B$  – ширина захвата струей, м;  $V$  – скорость перемещения оператора с установкой, м/мин.

Ширина распыливания жидкости определяется давлением, углом распыливания и высотой расположения сопла над поверхностью. Тип распылительной форсунки должен обеспечивать максимально равномерное распределение жидкости, и желательнее обеспечивать разный угол распыливания и расход. При создании опорных полос толщина пленки конденсата должна составлять не менее 0,1 мм. Эффективная скорость патрулирующего леса пожарного (добровольца) с парогенератором должна составлять 1,5-2,5 км/ч.

Оптимальная ширина распыливания 30 см и более может быть получена при угле 45° и более и высоте распыливания 40-60 см над поверхностью.

Рассмотрим, как водяной пар влияет на процесс тушения.

Интенсивность конденсации водяного пара зависит от температуры переохлаждения, плотности, скорости и характеристик окружающей среды. Параметры струи должны быть исследованы для оценки огнетушащей способности и применения пара и пароводяной струи для создания опорных полос.

Эффект охлаждения от струи водяного пара может снизить интенсивность горения или полностью его прекратить.

Эффект пожаротушения может быть достигнут при помощи следующих процессов: охлаждения зоны горения, сдува продуктов пиролиза и кислорода воздуха, экранирования зоны горения, изоляции факела пламени от кислорода воздуха.

Влияние того или иного процесса по-разному и в разной степени влияет на эффективность пожаротушения.

Основные конструктивные параметры парогенераторов: длина, диаметр штанги для подачи пара и пароводяной смеси, длина нагревательного элемента, емкость бака и мощность нагревателя. Минимальное давление – 0,1 МПа; максимальное давление – 22 МПа; критическая температура – 374°С [13].

Для автономной мини-установки объем емкости составляет 8 л; создаваемое давление – 0,2 МПа; диаметр форсунки – 3 мм [13].

Для электрической мини-установки объем емкости – 4 л; давление – 0,2 МПа; диаметр форсунки – 3-5 мм (регулируемое) [13].

Ограничивающим фактором при выборе объема водяного бака является вес. Как правило, масса лесного огнетушителя без огнетушащей жидкости составляет 2-3 кг, а масса снаряженного огнетушителя – 17-25 кг. В незначительной степени, до 10%, возможно снижение веса за счет применения легких материалов установки.

Для проведения экспериментальных исследований были разработаны технические устройства:

– для ранцевых лесных огнетушителей РЛО-М и Ермак – форсунки с различными углами распыливания и проходным сечением;

– автономные мини-парогенераторные установки, состоящие из нагревательного элемента и теплообменника (рис. 3).

В качестве нагревательного элемента установлена горелка, в баке объемом 8 л установлен бензонасос, работающий под давлением. Выходное сопло имеет внутренний диаметр 2-5 мм.

Для повышения производительности и скорости тушения был разработан электрический парогенератор (рис. 4) [12] с расходным баком, электронагревателем, системой клапанов. Распылитель

представляет собой штангу, на конце которой закреплено сопло с регулирующим клапаном. Установка работает от автомобильного генератора.

Расход парогенератора рассчитывается по формуле:

$$G = 0,25D^2\pi w_2\rho_p, \quad (18)$$

где  $G$  – секундный расход пара или пароводяной смеси, кг/с;  $D$  – внутренний диаметр форсунки;  $\rho_p$  – плотность пароводяной смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $w_2$  – скорость на выходе из сопла, м/с.

Для оценки эффекта смачивания поверхности обрабатывались чистой водой со смачиваю-

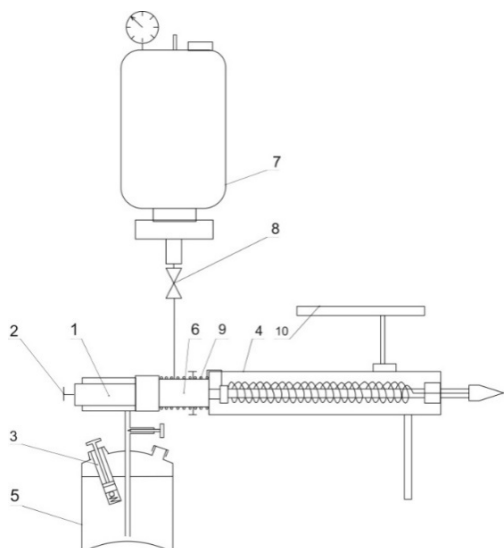


Рис. 3. Автономная парогенераторная установка:

- 1 – горелка; 2 – кран; 3 – насос; 4 – кожух;  
5 – емкость; 6 – крепежное устройство;  
7 – емкость для воды; 8 – кран

Fig. 3. Autonomous steam generator set:  
1 – burner, 2 – tap, 3 – pump, 4 – casing, 5 – tank,  
6 – fastening device, 7 – water tank, 8 – tap



Рис. 4. Электрический парогенератор  
Fig. 4. Electric steam generator

щим агентом (20%-ный раствор хлорида кальция и 0,5%-ный смачивающий агент ОП-7).

При проведении исследований измерялись скорость движения оператора с источником огнетушащего вещества (вода и пар) и время до полного подавления горения.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты полученных углов смачивания в зависимости от времени обработки  $\tau$  с помощью RLO-M представлены на рисунке 5.

Полученные данные показывают, что поверхность лесных горючих материалов практически не смачивается и что обработка водой без смачивающего агента является неэффективной. Для получения результата требуется достаточно большой расход. При подачи водных растворов со смачивающими агентами наблюдается уменьшение краевого угла, соответственно – уменьшение требуемого расхода и времени тушения [12].

Согласно производимым измерениям температура на выходе из сопла парогенератора составляет приблизительно 75°C. Процент конденсированной влаги на выходе из сопла равен нулю и увеличивается с увеличением расстояния от сопла [12]. Толщина пленки конденсата зависит от скорости перемещения источника пара (рис. 6).

При последующих проходах конденсация пара происходит на пленке жидкости уже с меньшим углом смачивания и покрывает большую поверхность, повышая эффективность [14].

Целью экспериментальных исследований являлась также оценка взаимодействия пара и различных источников горения. Оценивались

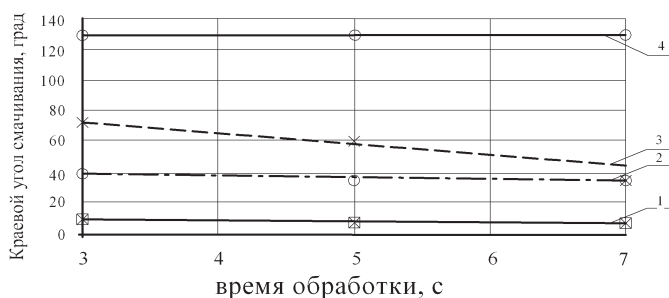


Рис. 5. Зависимость краевого угла от времени обработки водой:

- 1 – расстояние от сопла форсунки 1 м, смачиватель;  
2 – расстояние от сопла 2 м ( $\theta = -\tau + 43$ ;  $R^2 = 0,99$ , смачиватель); 3 – расстояние от сопла 3 м ( $\theta = -6,25\tau + 89,5$ ;  $R^2 = 0,98$ , смачиватель); 4 – без смачивателя

Fig. 5. Dependence of the edge angle on the time of water treatment:

- 1 – distance from the injector nozzle 1 m, wetting agent;  
2 – distance from the nozzle 2 m ( $\theta = -\tau + 43$ ;  $R^2 = 0,99$ , wetting agent); 3 – distance from the nozzle 3 m ( $\theta = -6,25\tau + 89,5$ ;  $R^2 = 0,98$ , wetting agent); 4 – without wetting agent

два типа горючих материалов, характерных для лесных низовых пожаров.

Первый тип горючего материала – сухая сосновая древесина с содержанием влаги 9%. Температура воздуха – 20°C; влажность воздуха – 80%, скорость ветра – до 1,5 м/с.

Диффузионное горение прекращалось после короткого взаимодействия с водяным паром, но в половине случаев горение снова возобновлялось.

Условием прекращения горения древесины является достаточное охлаждение древесного угля ниже температуры пиролиза, то есть ниже 200°C. В случае гетерогенного горения подача водяного пара к очагам тления становится неэффективной. Количество пара, необходимого для разбавления газообразных продуктов пиролиза 1 кг древесины, составляет примерно 7 кг. Поэтому наиболее эффективно использовать пар для воздействия на переднюю кромку огня.

Второй тип горючего материала – сухая трава и ветки с влажностью 7,3%. Температура воздуха – 20-22°C; скорость ветра – до 2 м/с; влажность воздуха – 10%.

Горение пламени подавлялось при воздействии струи пара и пароводяной смеси. В зоне прямого воздействия струи пара на расстоянии до 2,0 м от сопла горение полностью прекращалось.

Максимально эффективное подавление горения было достигнуто при распылении струи

пара под углом 30° к земле и при распылении воды под углом 30-45° к земле. Эффективная скорость движения источника пара, то есть оператора вдоль переднего края фронта пожара, составляла порядка 20 м/мин.

### Выводы

Для снижения расхода огнетушащих веществ были определены основные направления, проанализирован выбор огнетушащих веществ в зависимости от условий тушения и типа лесных горючих материалов.

Работа ранцевого лесного огнетушителя РЛО-М в режиме распыления жидкости изучена для определения соотношения скорости тушения, расхода жидкости, интенсивности распыления и времени, необходимого для тушения пожара. Рассмотрен процесс смачивания лесной подстилки, исследованы методы повышения эффективности смачивания. При создании опорных полос толщина пленки конденсата должна составлять не менее 0,1 мм. Эффективная скорость патрулирующего леса пожарного (добровольца) с парогенератором должна составлять 1,5-2,5 км/ч.

Рассмотрены возможные механизмы воздействия пара на процесс горения, конденсации пара и свойства пара и пароводяных смесей. Выбраны основные параметры парогенераторов и скорость движения оператора при формировании опорной полосы в зависимости от смачивания поверхности и образующегося слоя конденсата. Концентрация, достаточная для прекращения горения, должна составлять не менее 35%.

Исследована возможность тушения природных пожаров водой, паром, пароводяной смесью форсунками с различными углами распыления и расходом, ранцевыми лесными огнетушителями РЛО-М и Ермак, автономными и электрическими парогенераторами.

Исследования подтверждают, что пароводяная смесь и пар эффективны в качестве как самостоятельных огнетушащих средств, так и средств создания опорной полосы. При этом образовавшийся конденсат должен иметь толщину не менее 0,1 мм, а скорость источника пара – не больше 20 м/мин. Наиболее эффективно использовать пар для воздействия на переднюю кромку огня.

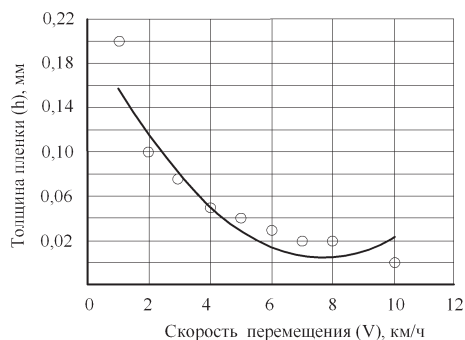


Рис. 6. Зависимость толщины пленки конденсата от скорости перемещения парогенератора:  
 $h = 0,2067 - 0,0527V + 0,0034V^2; R^2 = 0,93$

Fig. 6. Dependence of the thickness of the condensate film on the speed of movement of the steam generator:  
 $h = 0.2067 - 0.0527V + 0.0034V^2; R^2 = 0,93$

### Список использованных источников

1. Гундар С.В. Ресурсное обоснование сил и средств для тушения низового лесного пожара / Данилов М.М., Денисов А.Н., Опарин И.Д. // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>. 2012. Вып. 2 (43). Апрель.
2. Гусев В.Г. Лесопирологические основы, методы и средства создания противопожарных барьеров

### References

1. Gundar S.V. Resource justification of forces and means for extinguishing a grassroots forest fire / M.M. Danilov, A.N. Denisov, I.D. Oparin // Internet journal "Technologies of technosphere safety" (<http://ipb.mos.ru/ttb>). Issue No 2 (43) – April 2012
2. Gusev V.G. Forest pyrological bases, methods and means of creating fire barriers in pine forests and space



в основных лесах и космический мониторинг их эффективности: Дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2006. 330 с.

3. **Барановский Н.В.** Математическое моделирование наиболее вероятных сценариев и условий возникновения лесных пожаров: Дис. ... канд. физ. – мат. наук. Томск, 2007. 153 с.

4. **Романова Н.А.** Влияние водного барьера на эффективность тушения лесного пожара / Маслеников Д.А., Белоцерковская И.Е., Катаева Л.Ю. // Инновации в науке. 2013. № 27. С. 26-34.

5. **Коляда А.В.** Оптимизация процесса тушения лесного пожара с использованием имитационного моделирования // Ученые записки РГСУ. 2010. № 8. С. 89-94.

6. **Гришин А.М.** Физика лесных пожаров. Томск: Изд-во Томского университета, 1994. 218 с.

7. **Молокова С.В.** Разработка инженерных методов обеспечения пожарной безопасности в лесном комплексе: Дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2008. 142 с.

8. **Щербakov И.С.** Методика тушения низовых лесных пожаров с использованием струи переохлажденного водяного пара: Дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2005. 149 с.

9. **Журавлева Л.А., Павлусенко Р.Н., Бурдеева О.А.** Использование ручных ранцевых огнетушителей для борьбы с природными пожарами // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды: материалы Национальной научно-практической конференции. Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2019. С. 409-412.

10. **Журавлева Л.А., Ковалев А.Н.** Теоретическое обоснование применения двухфазных сред «водяной пар-вода» в качестве огнетушащего средства // Безопасность жизнедеятельности в техносфере: материалы II Международной интернет-конференции, 22-23 октября 2014 г. Белгород, 2014. С. 42-47.

11. **Журавлева Л.А., Ковалев А.Н.** Тушение низовых лесных пожаров водяным паром // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им Н.И. Вавилова. 2014. № 2. С. 49-52.

12. **Журавлева Л.А.** Лесные пожары. Тушение водяным паром. Техносферная безопасность: наука и практика: материалы Международной научно-практической конференции. Саратов: ООО «Изд-во КУБиК», 2015. С. 6-9.

13. **Журавлева Л.А., Ковалев А.Н.** Тушение низовых лесных пожаров водяным паром // Аграрный научный журнал. 2014. № 2. С. 49-51.

14. **Ковалев А.Н., Журавлева Л.А.** Перспективные направления тушения низовых лесных и степных пожаров // Научная жизнь. 2012. № 4. С. 153-157.

15. **Соловьев В.А.** Совершенствование технических средств для борьбы с природными пожарами / Журавлева Л.А., Павлусенко Р.Н., Шаров С.С. // Научная жизнь. 2018. № 9. С. 5-13.

#### Критерии авторства

Журавлева Л.А., Апатенко А.С. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Журавлева Л.А., Апатенко А.С. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 09.03.2023

Одобрена после рецензирования 11.07.2023

Принята к публикации 18.08.2023

monitoring of their effectiveness. Doctor of Technical Sciences. SPb., 2006. 330 p.

3. **Baranovsky N.V.** Mathematical modeling of the most probable scenarios and conditions for the occurrence of forest fires: dis. ... candidate of physical and mathematical sciences.

4. **Romanova N.A.** Influence of the water barrier on the effectiveness of extinguishing a forest fire / D.A. Maslennikov, I.E. Belotserkovskaya, L.Y. Kataeva // Innovations in science. 2013. No 27. P. 26-34.

5. **Kolyada A.V.** Optimization of the process of extinguishing a forest fire using simulation modeling. 2010. No 8. P. 89-94.

6. **Grishin A.M.** Physics of forest fires. Tomsk: Publishing House of the Tomsk university, 1994. 218 p.

7. **Molokova S.V.** Development of engineering methods for ensuring fire safety in the forest complex: dis. ... candidate of technical sciences. Bratsk: 2008. 142 p.

8. **Shcherbakov I.S.** Methods of extinguishing grassroots forest fires using a jet of supercooled water vapor. ... Candidate of technical sciences. Irkutsk: 2005. 149 p.

9. **Zhuravleva L.A., Pavlusenko R.N., Burdeeva O.A.** Use of hand-held knapsack fire extinguishers to combat natural fires / L.A. Zhuravleva, R.N. Pavlusenko, O.A. Burdeeva // Innovations in nature management and environmental protection: Materials of I national scientific-practical conference. Saratov: FSBEIHVE "SaratovGAU", 2019. P. 409-412

10. **Zhuravleva L.A., Kovalev A.N.** Theoretical substantiation of the use of two-phase media "water vapor-water" as a fire extinguishing agent // Safety of life activity in technosphere. 2 International conference. October 22-23, 2014. Belgorod: P. 42-47

11. **Zhuravleva L.A., Kovalev A.N.** Extinguishing grassroots forest fires with water vapor // Bulletin of the Saratov State Agricultural University named after N.I. Vavilov, 2014. No 2. P. 49-52.

12. **Zhuravleva L.A.** Forest fires. Extinguishing with water vapor. Technospheresafety: science and practice: Materials of the International scientific and practical conference. Saratov: ООО "Publishing house KUBiK", 2015. P. 6-9. ISBN978-5-91818-430-1.

13. **Zhuravleva L.A., Kovalev A.N.** Extinguishing of grassroots forest fires with water vapor // Agrarian scientific journal. 2014. No 2. P. 49-51.

14. **Kovalev A.N., Zhuravleva L.A.** Perspective directions of extinguishing grassroots forest and steppe fires // Scientific life. 2012. No 4. P. 153-157.

15. **Soloviev V.A.** Improvement of technical means for combating natural fires / Zhuravleva L.A., Palusenko R.N., Sharov S.S. Scientificlife. 2018. No 9. P. 5-13.

#### Criteria of authorship

Zhuravlev L.A., Apatenko A.S. performed theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript. Zhuravleva L.A., Apatenko A.S., have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest

The article was received 09.03.2023

Approved after peer review 11.07.2023

Accepted for publication 18.08.2023