

DOI:

УДК 536.4

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ОГNETУШАЩЕГО РАСТВОРА НА ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ АВИАЦИИ

доктор технических наук, профессор **Н. П. Копылов**¹

кандидат технических наук **Е. А. Москвилин**¹

кандидат технических наук **Д. В. Федоткин**¹

доктор физико-математических наук, профессор **П. А. Стрижак**²

1 – ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», г. Балашиха, Российская Федерация

2 – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация

Тушение лесных пожаров с помощью авиации имеет свои преимущества и недостатки. К числу достоинств можно отнести быструю доставку огнетушащих веществ в зону пожара, а также большие площади накрываемые огнетушащим веществом. В то же время неточный сброс, сильный ветер и сильное распыление жидкости приводят к невысокой эффективности тушения. Также малая вязкость жидкости приводит к стеканию капель с горючего материала на поверхность земли, не успевая достичь эффекта тушения. В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности тушения лесных пожаров с использованием различных добавок к воде. На специально созданном стенде проведены огневые испытания по тушению модельных очагов лесных пожаров с имитацией сброса воды с самолета. Исследованы растворы бентонита, бишофита и др. На основании исследований установлено, что добавки к воде, увеличивающие вязкость способствуют, улучшению качества авиационного тушения пожаров.

Ключевые слова: Лесной пожар, тушение лесных пожаров с помощью авиации, огнетушащее вещество, добавки к воде, вязкость жидкости, эффективность тушения.

INFLUENCE OF VISCOSITY OF FIRE-EXTINGUISHING SOLUTION ON FOREST FIRES EXTINGUISH USING AVIATION

DSc in Engineering, Professor **N. P. Kopylov**¹

PhD in Engineering **E. A. Moskvilin**¹

PhD in Engineering **D. V. Fedotkin**¹

DSc of Physical and Mathematical Sciences, Professor **P. A. Strizhak**²

1 – The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Russian Federation

2 – Tomsk National Research Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

Abstract

Suppression of wildfires by means of aircraft has the advantages and shortcomings. It is possible to refer fast delivery of fire extinguishing substances in a fire zone, and also the big areas covered by fire extinguishing substance to the number of advantages. At the same time inexact dumping, strong wind and strong dispersion of liquid result in low efficiency of suppression. Also small viscosity of liquid leads to running off of drops from combustible material on the Earth's surface, without managing to reach effect of suppression. In work questions of increase in efficiency of suppression of wildfires with the use of various additives to water are considered. At specially created stand fire tests on suppression of model seats of forest fire with imitation of dumping of water from the plane are carried out. Solutions of bentonite, bischofite, etc. are investigated. On the basis of probes it is established that the additives to water, increasing viscosity, promote improvement of aviation suppression of the fires.

Keywords: Forest fire, suppression of forest fires by means of aircraft, fire extinguishing substance, additives to water, efficiency of suppression.

Для повышения эффективности тушения лесных пожаров с применением авиации рекомендуются различные добавки к воде. Однако условия тушения пожаров с применением наземных и авиационных средств существенно различаются. Поэтому при выборе типа добавок к воде химических веществ и оценки эффективности подачи полученного раствора на очаг пожара с применением авиационных средств необходимо проводить либо дорогостоящие натурные испытания, либо разработать специальные методики, которые моделировали бы сброс раствора с авиационного средства.

В работах [1, 2] рассмотрены вопросы повышения эффективности тушения лесных пожаров за счет использования добавок к воде. В [2] на специально созданном стенде изучался спектральный состав капель огнетушащей смеси «вода + добавка». На основании этих исследований был сделан вывод, что добавки к воде, увеличивающие её вязкость способствуют улучшению качества тушения пожаров. В этом случае, при сбросе из авиационного средства, вода с добавкой дробится на более крупные капли и тем самым увеличивается коэффициент использования воды (большее количество воды попадает в очаг пожара).

Другие добавки к воде (смачиватели) способствуют более интенсивному дроблению массива воды, увеличивается количество мелких капель, которые рассеиваются в атмосфере, не попадая в очаг пожара. Поэтому для авиационного средства они неэффективны и более подходят для борьбы с торфяными пожарами.

В целом добавки к воде должны быть доступны, дешевы экологичны, и технологичны при использовании на практике.

В ФГБУ ВНИИПО МЧС России был создан стенд для оценки эффективности добавок к воде при авиационном способе тушения лесных пожаров и проведен ряд экспериментов по тушению двух типов очагов моделирующих лесной пожар – верховой и низовой. Удельные тепловыделения для этих типов пожара варьируются в широком диапазоне: до $7 \text{ МВт} \cdot \text{м}^{-2}$ при верховом пожаре [9, 12] и $0,31-0,33 \text{ МВт} \cdot \text{м}^{-2}$ для низового пожара [10]. Очаги моделирующие верховой и низовой лесные пожары для обеспечения воспроизводимости экспериментов состояли из модельных очагов пожара класса А по ГОСТ Р 51057-2001 [11, 13, 14].

В [3] описаны стендовые испытания дробления

в воздухе сплошного массива воды. Этот стенд позволяет смоделировать полет в воздухе потока воды выливаемого из авиационного устройства. Испытания показали, что наибольшее количество огнетушащего вещества может достичь земли при выливе из авиационного средства, когда используется сгущающие добавки например раствор бентонита. Раствор бишофита занимает промежуточное место между раствором бентонита и водой. Раствор «Файрэкс» дробится более интенсивно, чем растворы бентонита, бишофита и вода без добавок.

С другой стороны в [1] со ссылкой на работы [4, 5, 6] показано, что оптимальная кинематическая вязкость раствора для повышения огнетушащей эффективности воды лежит в пределах $(2-3) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Исследования по определению динамической вязкости растворов бентонита (5 %, -15 %) проводились на ротационном вискозиметре «Реотест-2» в соответствии с инструкцией к прибору и методике проведения стендовых испытаний огнетушащих веществ, используемых для авиационного тушения лесных пожаров.

Следует отметить, что бентонит свыше 10 % масс. в воде растворяется достаточно плохо, комкуется. Более интенсивно процесс растворения проходит в воде с температурой более 40°C , так же процесс растворения ускоряется при применении барботирования раствора воздухом. В целом, для качественного и быстрого растворения бентонита в воде необходим специализированный растворный узел, работающего по принципу «бетономешалки», при этом целесообразно проводить барботирование воздухом.

Пересчет динамической вязкости в кинематическую проводится по формуле:

$$\gamma = \eta / \rho,$$

где γ кинематическая вязкость,

ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$,

η – динамическая вязкость, Па·с.

Измерения плотности растворов бентонита проводились методом погружения ареометра в растворы, снятии показаний по шкале ареометра при температуре определения и пересчете результатов на плотность согласно ГОСТ 18995.1 [8]. Данные по плотности, динамической и кинематической вязкости растворов бентонита приведены в табл. 1.

Интенсивность орошения также была измерена. Средняя интенсивность орошения водой составила $0,26 \text{ л}/\text{с} \cdot \text{м}^2$. Коэффициент равномерности орошения:

Плотности растворов бентонита, динамическая и кинематическая вязкость

Вещество	Динамическая вязкость Па·с	Кинематическая вязкость ·10 ⁻⁶ м ² /с	Плотность·10 ³ кг/м ³
Бентонит 5%	0,0103	10,197	1,0101
Бентонит 8%	0,0186	18,135	1,0256
Бентонит 10%	0,0273	26,207	1,0417
Бентонит 15%	0,4427	411,73	1,0752

Все значения исследованных концентраций бентонита по кинематической вязкости оказались выше минимально рекомендуемых в литературе [4, 5] значений (2-3·10⁻⁶ м²/с).

$K_{op} = 0,054$. Для замеров интенсивности орошения использовались мерные емкости, замеры проводились по методике приведенной в ГОСТ Р 51043-2002. Резуль-

таты огневых испытаний по тушению низового и верхового лесных пожаров различными составами представлены на рис. 1, 2.



Рис. 1. Результаты проведения огневых испытаний по определению эффективности тушения очагов имитирующих низовой лесной пожар

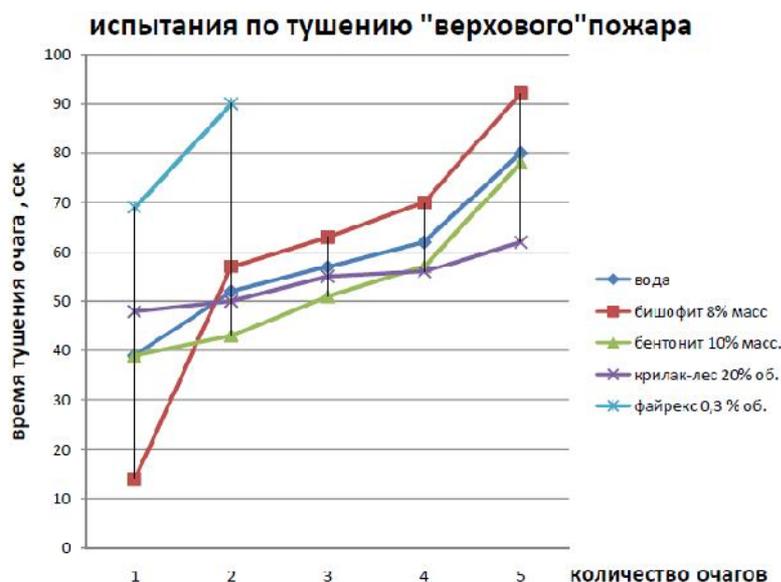


Рис. 2. Результаты проведения огневых испытаний по определению эффективности тушения очагов имитирующих верховой лесной пожар

По результатам испытаний выявлено:

1) Очаг, имитирующий верховой лесной пожар (с параметрами: 5 модельных очагов 1А, размер 2,5x2,5, площадь 6,25 м², удельная пожарная нагрузка 24 кг/м², тепловыделение 2 МВт/м²) [9], был успешно потушен водой при интенсивности подачи воды 0,26 л/с·м², время тушения последнего очага около 80 секунд. Испытания с различными добавками показали более эффективное тушение. Добавки 20 % об. Крилак-Лес, бишофита 8 % масс. и бентонита 10 % уменьшили время тушения по сравнению с водой. Анализ полученных данных показывает, что при тушении верхового лесного пожара, коэффициента эффективности, определяемого как отношение времени тушения очага водой к времени тушения раствором следующие: бишофит-1; бентонит 1,1, раствором «Файрекс» 0,3 % тушение достигнуто не было.

2) Очаг имитирующий низовой лесной пожар (параметры: 7 модельных очагов 0,1А, размеры 2,2x2,2, площадь очага 4,84 м², удельная пожарная нагрузка 3,6 кг/м², тепловыделение 386 кВт/м²) [9], был успешно потушен всеми исследуемыми добавками, в том числе водой при интенсивности подачи воды 0,26 л/с·м², время тушения последнего очага около 30 секунд. Анализ полученных данных показывает, что при тушении низового лесного пожара, коэффициент

эффективности 8%-го раствора бишофита составляет значение 1,3; для 5 % и 10% раствора бентонита соответственно 1,7 и 1,3; для 0,3 % раствора «Файрекс» -1. Следует отметить, что время тушения очагов раствором с добавкой бентонита 5 % масс. показало уменьшение времени тушения по сравнению с 10 % добавкой. Это связано с достаточно высокими значениями вязкости (на порядок выше рекомендуемых в литературе значений 2-3 10⁻⁶ м²/с) и видом очага (высокая развитая поверхность). Более вязкий раствор меньше дробится на мелкие капли, что с одной стороны уменьшает их потери (унос от конвективной колонки и испарение), а с другой стороны за счет достаточно сильного уменьшения его стекания (увеличились силы адгезии между древесиной и жидкостью) замедляется проникновение в глубь очага пожара.

3) Тушение модельных очагов пожара растворами воды с примесью бентонита, бишофита и др. в целом показало, что бентонит наиболее эффективен. Он продемонстрировал уменьшение времени тушения по сравнению с водой и другими добавками. При этом после подачи растворов очаги покрываются слоем глины (бентонита) и надежно препятствуют повторному возгоранию.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект 14-39-00003).

Библиографический список

1. Копылов, Н.П. Повышение эффективности тушения лесных пожаров с использованием добавок к воде [Текст] / Н.П. Копылов, И.Р. Хасанов, А.Е. Кузнецов, Д.В. Федоткин, Е.А. Москвиллин, П.А. Стрижак, В.Н. Карпов // Пожарная безопасность. – 2015. – № 4. – С. 46-50
2. Копылов, Н.П. Стенд для исследования огнетушащих веществ, применяемых при тушении лесных пожаров авиационными средствами. [Текст] / Н.П. Копылов, И.Р. Хасанов, Д.В. Федоткин, П.А. Стрижак, В.Н. Карпов, А.В. Зверева-Степная, Е.А. Москвиллин // Пожарная безопасность. – 2015. – № 4. – С. 51-57
3. Волков, Р.С. Высокоскоростная видеорегистрация разрушения водных снарядов при свободном падении в воздушной среде. [Текст] / Р.С. Волков, Н.П. Копылов, Г.В. Кузнецов, П.А. Стрижак, И.Р. Хасанов // Пожарная безопасность. – 2015. – № 4. – С. 109-115
4. Казаков, М.В. Применение поверхностно активных веществ для тушения пожаров [Текст] / М.В. Казаков. – Москва: Стройиздат, 1977. – 81 с.
5. Билкун, Д.Г. Тушение древесины водой с низкомолекулярными добавками [Текст] / Д.Г. Билкун [и др.]. // Теоретические и экспериментальные вопросы пожаротушения: сб тр м., ВНИИПО. – 1982. – С. 99-105.
6. Билкун, Д.Г. Огнетушащие свойства воды с добавками высокомолекулярных соединений [Текст] / Д.Г. Билкун [и др.]. // Пожаротушение: сб.тр.м., ВНИИПО. – 1983. – С. 96-100.
7. ГОСТ 18995.1-73. Продукты химические жидкие [Текст]. Методы определения плотности
8. ГОСТ 33-2000. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости [Текст]. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости
9. Валендик, Э.Н. Крупные лесные пожары [Текст] / Э.Н. Валендик, П.М. Матвеев, М.А. Сафронов. //

Москва, 1979. – 200 с.

10. Гришин, А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними [Текст] / А.М. Гришин. – Новосибирск: Наука, 1992. – 404 с.

11. ГОСТ Р 51057-2001 Техника пожарная. Огнетушители переносные [Текст]. Общие технические требования. Методы испытаний

12 Tryterud, E. Forest fire history in Norway: from fire-disturbed pine forests to fire-free spruce forests [Text] / E. Tryterud // *Ecography*. – 2003. Vol. 26. – № 2. – pp. 161-170.

13 Whitehouse, N.J. Forest fires and insects: palaeontomological research from a subfossil burnt forest [Text] / N.J. Whitehouse // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2000. – Vol. 164. – no. 1-4. – pp. 247-262.

14 Nunez-Regueira L. Calculation of forest biomass indices as a tool to fight forest fires [Text] / Nunez-Regueira L., J.A. Rodriguez-Anon, J. Proupn-Castineiras, O. Nunez-Fernandez // *Thermochimica Acta*. – 2001. – Vol. 378. – no. 1-2. – pp. 9-25.

References

1 Kopylov N.P., Hasanov I.R., Kuznecov A.E., Fedotkin D.V., Moskvilin E.A., Strizhak P.A., Karpov V.N. *Povyshenie jeffektivnosti tushenija lesnyh pozharov s ispol'zovaniem dobavok k vode* [Improving the efficiency of the fire extinguishing using additives to the water] *Pozharnaja bezopasnost'*. [Fire safety]. 2015, no. 4, pp. 46-50 (In Russian).

2. Kopylov N.P., Hasanov I.R., Fedotkin D.V., Strizhak P.A., Karpov V.N., Zvereva-Stepnaja A.V., Moskvilin E.A. *Stend dlja issledovanija ognetchashih veshhestv, primenjaemyh pri tushenii lesnyh pozharov aviacionnymi sredstvami*. [Stand for investigation of fire extinguishing agents used to extinguish forest fire air assets.] *Pozharnaja bezopasnost'*. [Fire safety]. 2015, no. 4, pp. 51-57 (In Russian).

3. Volkov R.S., Kopylov N.P., Kuznecov G.V., Strizhak P.A., Hasanov I.R. *Vysokoskorostnaja videoregistracija razrushenija vodnyh snarjadov pri svobodnom padenii v vozduшной среде*. [High-speed video recording the destruction of aquatic shells with free Pade Research Institute in the air] *Pozharnaja bezopasnost'*. [In fire safety]. 2015, no. 4, pp. 109-115 (In Russian).

4. Kazakov M.V. *Primenenie poverhnostno aktivnyh veshhestv dlja tushenija pozharov* [The use of surface-active substances to extinguish fires] Moscow, 1977, 81 p. (In Russian).

5. Bilkun D.G. *Tushenie drevesiny vodoj s nizkomolekuljarnymi dobavkami* [Extinguishing water timber with low molecular weight additives] *Teoreticheskie i jeksperimental'nye voprosy pozharotushenija: sb tr m.*, [Theoretical and experimental extinguishing questions :. Sat tr m]. 1982, pp. 99-105. (In Russian).

6. Bilkun D.G. *Ognetushashhie svojstva vody s dobavkami vysokomolekuljarnyh soedinenij* [Extinguishing characteristics of water with the addition of high-molecular compounds] *Pozharotushenie: sb.tr.m.*, [Fire fighting: sb.tr.m.]. 1983, pp. 96-100. (In Russian).

7. GOST 18995.1-73. *Produkty himicheskie zhidkie Metody opredelenija plotnosti* [State Standard 18995.1-73. Chemicals liquid. Methods for determination of density]. Moscow, Standartinform Publ., (In Russian).

8. GOST 33-2000. *Nefteprodukty. Prozrachnye i neprozrachnye zhidkosti. Opredelenie kinema-ticheskoj vjazkosti i raschet dinamicheskoj vjazkosti* [State Standard 33-2000. Petroleum products. Transparent and opaque liquids. Determination kinemacal viscosity and calculation of dynamic viscosity]. (In Russian).

9. Valendik Je.N., Matveev P.M., Safronov M.A. *Krupnye lesnye pozhary* [Large forest fires]. Moscow, 1979, 200 p. (In Russian).

10. Grishin A.M. *Matematicheskoe modelirovanie lesnyh pozharov i novye sposoby bor'by s nimi* [Mathematical modeling of forest fires, and new ways to deal with them]. Novosibirsk, 1992, 404 p. (In Russian).

11. GOST R 51057-2001 *Tehnika pozharnaja. Ognetchashiteli perenosnye. Obshhie tehnicheckie trebovanija. Metody ispytanij* [Fire trucks. Portable fire extinguishers. General technical trements. test methods] (In Russian).

12 Tryterud E. Forest fire history in Norway: from fire-disturbed pine forests to fire-free spruce forests. *Ecography*, 2003, Vol. 26, no. 2, pp. 161-170.

13 Whitehouse N.J. Forest fires and insects: palaeontomological research from a subfossil burnt forest. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, Vol. 164, no. 1-4, pp. 247-262.

14 Nunez-Regueira L., Rodriguez-Anon J.A., Proupn-Castineiras J., Nunez-Fernandez O. Calculation of forest biomass indices as a tool to fight forest fires. *Thermochimica Acta*, 2001, Vol. 378, no. 1-2, pp. 9-25.

Сведения об авторах

Копылов Николай Петрович – главный научный сотрудник, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, доктор технических наук, профессор, г. Балашиха, Российская Федерация; e-mail: fdv982@mail.ru

Москвилін Евгений Александрович – начальник сектора, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, кандидат технических наук, г. Балашиха, Российская Федерация; e-mail: fdv982@mail.ru

Федоткин Дмитрий Вячеславович – заместитель начальника отдела, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, кандидат технических наук, г. Балашиха, Российская Федерация; e-mail: fdv982@mail.ru

Стрижак Павел Александрович – профессор кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, доктор физико-математических наук, профессор, г. Томск, Российская Федерация; e-mail: pavelspa@tpu.ru

Information about authors

Kopylov Nikolay Petrovich – Main Researcher The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, DSc in Engineering, Professor, Balashikha, Russian Federation; e-mail: fdv982@mail.ru

Moskvilin Evgeny Alexandrovich – Chief of the Sector, The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, PhD in Engineering, Balashikha, Russian Federation; e-mail: fdv982@mail.ru

*Fedotkin Dmitry Vyacheslavovich*¹ – Deputy Chief of the Department, The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, PhD in Engineering, Balashikha, Russian Federation; e-mail: fdv982@mail.ru

Strizhak Pavel Alexandrovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Heat and Power Process Automation, Tomsk National Research Polytechnic University, DSc of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Tomsk, Russian Federation; e-mail: pavelspa@tpu.ru

DOI:

УДК 630*4+632

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ ЭФФЕКТОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ К УГРОЗЕ МАССОВЫХ РАЗМНОЖЕНИЙ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ ЛЕСА

доктор физико-математических наук **Т. С. Королева**¹

кандидат сельскохозяйственных наук **А. В. Константинов**¹

Е. А. Кушнир²

1 – ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

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

Целью проведения оценки воздействий изменения климата на устойчивость лесных экосистем является выявление уязвимости и рисков в сфере лесного хозяйства, понимание причинно-следственных связей для выработки стратегии, которая позволила бы избежать негативных последствий климатических изменений. Устойчивость – показатель, характеризующий способность системы сопротивляться воздействию неблагоприятных последствий изменения климата (угроз) и справиться с ними. В исследуемом случае устойчивость лесных экосистем является функцией изменения климата (то есть воздействия, которому она подвергается) и ее чувствительности. В работе впервые к задачам лесного хозяйства применена методика оценки устойчивости системы, разработанная в Германии. Рассчитаны показатели угрозы массовых размножений вредителей и болезней леса, обусловленные климатическими изменениями, и определены