

УДК 614.841.4:539

**МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ВОЗГОРАНИЙ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА****Воронцов Тарас Сергеевич**

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, Россия

**АННОТАЦИЯ**

В данной работе приводится теоретическое обоснование применения водногелевых составов (ВГС) при помощи мобильных средств пожаротушения: автомобиль первой помощи (АПП), беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с модульной установкой пожаротушения (МУП) и огнетушителями капсулами, первичных средств пожаротушения (огнетушитель водный (ОВ–2,5)).

Выполнен расчет-обоснование возможности применения водногелевых составов при помощи насосов комбинированного типа и высокого давления, транспортировки по рукаву высокого давления и напорным рукавам с обеспечением требуемого напора на стволе. Выявлено влияние концентрации гелеобразователя на потери напора при транспортировке огнетушащих составов. Разработана методика по применению гелей при тушении пожара пиротехнических изделий на объекте транспорта.

Представлены результаты эксперимента по подаче гидрогелей с различными концентрациями гелеобразователя с помощью огнетушителя с насадком распылительного типа. Определена зависимость длины струи от концентрации гелеобразователя в растворе. Предложена методика применения гелей с оптимальной концентрацией в огнетушителях для ликвидации пожаров пиротехнических изделий на ранней стадии.

Рассмотрены результаты эксперимента применения водногелевого состава с концентрацией 0,2 масс. % в модульной установке пожаротушения. Разработана методика применения беспилотных летательных аппаратов для тушения пожара пиротехнических изделий еврофуры с прицепом при помощи модульных установок пожаротушения и огнетушащих капсул, содержащих водногелевые составы.

**Ключевые слова:** суспензии, водногелевые составы, тушение пиротехники, квадрокоптеры для пожаротушения, огнетушащие гели

**METHODOLOGY FOR THE USE OF WATER-GEL COMPOSITIONS IN THE ELIMINATION OF IGNITIONS OF PYROTECHNIC PRODUCTS AT TRANSPORT FACILITIES****Taras S. Vorontsov**

Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ivanovo, Russian Federation

## ABSTRACT

This paper provides a theoretical justification for the use of water-gel suspension (WGS) with the help of mobile fire extinguishing equipment (first aid vehicle (APP), unmanned aerial vehicles (UAVs) with a modular fire extinguishing installation (MUP) and fire extinguishing capsules, primary fire extinguishing equipment (water fire extinguisher (OV-2.5)).

The calculation-justification of the possibility of using water-gel compositions with the help of pumps of a combined type and high pressure, transportation along a high-pressure hose and pressure hoses with the required pressure on the wellbore has been performed. The influence of the concentration of the gelling agent on the pressure loss during the transportation of fire extinguishing compositions was revealed. A technique has been developed for the use of gels in extinguishing a fire of pyrotechnic products at a transport facility.

The results of an experiment on the supply of hydrogels with different concentrations of a gelling agent using a fire extinguisher with a spray nozzle are presented. The dependence of the jet length on the concentration of the gelling agent in the solution was determined. A technique is proposed for using gels with an optimal concentration in fire extinguishers to eliminate fires in pyrotechnic products at an early stage.

The results of an experiment using a water-gel composition with a concentration of 0.2 wt. % in a modular fire extinguishing installation. A technique has been developed for the use of unmanned aerial vehicles to extinguish the fire of pyrotechnic products of a euro truck with a trailer using modular fire extinguishing installations and fire extinguishing capsules containing water-gel compositions.

**Keywords:** suspensions, water-gel compositions, pyrotechnics extinguishing, quadcopters for fire extinguishing, fire extinguishing gels

## Введение

На территории Российской Федерации происходит увеличение спроса на пиротехнические изделия [1, 2]. Объектами возникновения пожаров пиротехнических изделий, как правило, являются предприятия, склады и, в особенности, транспорт. Пожарам подвержены все звенья транспортной цепочки, однако наиболее опасными и сложными являются объекты автомобильного транспорта, ввиду прохождения транспортных маршрутов вблизи населенных пунктов, сложности ликвидации возгораний ограниченным запасом огнетушащих веществ пожарных подразделений [3] (рис. 1).

В связи с этим разработка новых способов тушения пожаров пиротехнических изделий и совершенствование рецептур огнетушащих веществ (ОТВ) является актуальной задачей. Перспективными являются водогелевые составы (ВГС), которые характеризуются повышенными огнетушащими, теплозащитными свойствами и отличаются своей экологичностью по сравнению с воздушно-механической пеной. Исследования ВГС как огнетушащих составов проводятся как в России, так и за рубежом [4].

Целью настоящей работы было исследование свойств и тактико-техническое обоснование применения ВГС при ликвидации возгораний данного

класса веществ современной пожарной техникой.



**Рис. 1.** Пожары пиротехнических изделий на объектах транспорта: а) на трассе Комсомольск – Хабаровск; б) в Акмолинской области на трассе Нур-Султан – Щучинск

**Fig. 1.** Fires of pyrotechnic products at transport facilities: a) on the Komsomolsk – Khabarovsk highway; b) in the Akmola region on the Nur-Sultan – Shchuchinsk highway

### Материалы и методы исследований

В качестве исследуемого ОТВ рассматривался гидрогель на основе редкосшитого полимера акриловой кислоты

(PAA) Carbopol ETD 2020 с концентрацией гелеобразующего компонента, указанного в масс. %. Составы получены по технологии, описанной в [5]. Сводные данные об ОТВ представлены в табл. 1 [6].

**Таблица 1**

Сводные данные об огнетушащих составах, используемых в исследовании

**Table 1**

Summary data on fire extinguishing agents used in the study

Обозначение Designation	Базовый компонент Basic component	Концентрация гелеобразователя (Carbopol ETD 2020) масс. % Concentration of gelling agent (Carbopol ETD 2020) by mass. %	Плотность ОТВ, кг/м <sup>3</sup> Density of OTV, kg/m <sup>3</sup>	Вязкость Пуазейля ОТВ ( $\eta$ ), (Па·с)·10 <sup>-2</sup> Poiseuille viscosity OTV ( $\eta$ ), (Pa·s)·10 <sup>-2</sup>
Вода Water	водопроводная вода tap water	–	1000	1,06
ВГС-0,10 WGS-0,10	водный дистиллят water distillate	0,10	1062	0,48
ВГС-0,125 WGS-0,125	водный дистиллят water distillate	0,125	1040	0,55
ВГС-0,20 WGS-0,20	водный дистиллят water distillate	0,20	1028	14,12
ВГС-0,25 WGS-0,25	водный дистиллят water distillate	0,25	1007	107,81
ВГС-0,30	водный дистиллят	0,30	1088	171,63

Обозначение Designation	Базовый компонент Basic component	Концентрация гелеобразователя (Carbopol ETD 2020) масс. % Concentration of gelling agent (Carbopol ETD 2020) by mass. %	Плотность ОТВ, кг/м <sup>3</sup> Density of OTV, kg/m <sup>3</sup>	Вязкость Пуазейля ОТВ ( $\eta$ ), (Па·с)·10 <sup>-2</sup> Poiseuille viscosity OTV ( $\eta$ ), (Pa·s)·10 <sup>-2</sup>
WGS-0,30	water distillate			
ВГС-0,50 WGS-0,50	водный дистиллят water distillate	0,50	1014	190,23
ВГС – 1,00 WGS-1,00	водный дистиллят water distillate	1,00	1003	511,39

#### Исследование подачи ВГС с помощью огнетушителя

При исследовании возможности подачи ВГС в первичных средствах пожаротушения применялся аналог огнетушителя воздушно-эмульсионного объемом 2,5 л с насадкой распылительного типа с диаметром отверстий 3 мм. Пуск ОТВ осуществлялся при нажатии на ручку запорно-

пускового устройства. ОТВ подавались на открытом пространстве (температура окружающей среды –3 °С) в безветренную погоду. Время выхода ОТВ составляло 11 ± 0,3 сек. Технические характеристики водно-эмульсионного огнетушителя представлены в табл. 2

**Таблица 2**  
Технические характеристики водно-эмульсионного огнетушителя  
**Table 2**  
Technical characteristics of the water-emulsion fire extinguisher

№ п/п № p/p	Наименование параметра, единицы измерения Name of the parameter, unit of measurement	Показатель Indicator
1.	Объем ВГС, л WGS volume, l	2,5
2.	Продолжительность приведения огнетушителя в действие не более, с The duration of the fire extinguisher actuation is not more than, with	5
3.	Рабочее давление в корпусе огнетушителя, МПа Working pressure in the fire extinguisher housing, МПа	1,6 ± 0,2 %
4.	Габаритные размеры огнетушителя, мм Overall dimensions of the fire extinguisher, mm	- высота 463 / height 463 - диаметр корпуса 110 / case diameter 110
5.	Масса заряженного огнетушителя не более, кг The weight of the charged fire extinguisher is not more than, kg	4,5 ± 0,5

6.	Материал корпуса огнетушителя Fire extinguisher body material	Сталь с полимерным антикоррозионным покрытием / Steel with polymer anticorrosive coating
7.	Диаметр отверстий, мм Diameter of holes, mm	3

В исследовании применялись методики определения длины струи ОТВ [9], скорости истечения из насадки [10,11], расхода ОТВ.

Расход ОТВ определялся по формуле (1), а скорость истечения из насадки определялась по формуле (2) с учетом вязкости ВГС.

$$Q_{\text{ОТВ}} = V_{\text{ОТВ}}/t_{\text{ОТВ}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{ОТВ}}$  — расход ОТВ, л/с;

$V_{\text{ОТВ}}$  — объем ОТВ в огнетушителе, л;

$t_{\text{ОТВ}}$  — время выхода ОТВ из огнетушителя, с.

$$v_{\text{ист}} = 4V_{\text{жид}}/\pi d^2 \varphi_{\text{соп}}, \quad (2)$$

где  $v_{\text{ист}}$  — скорость истечения ОТВ, м/с;

$V_{\text{жид}}$  — объемный расход ОТВ, определен по формуле (3), м<sup>3</sup>/с;

$d$  — диаметр сечения форсунок, м;

$\varphi_{\text{соп}}$  — коэффициент заполнения сопла (0,96).

$$V_{\text{жид}} = \frac{\pi d^2}{4} K_{\text{ж}} \sqrt{\frac{2p_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}}, \quad (3)$$

где  $d$  — диаметр сопла форсунки, м;

$K_{\text{ж}}$  — коэффициент расхода жидкости;

$p_{\text{ж}}$  — напор, давление жидкости перед форсункой, Па;

$\rho_{\text{ж}}$  — плотность жидкости кг/м<sup>3</sup>.

Длина струи определялась по дальней границе распространения основной массы огнетушащего вещества на 4-й секунде подачи огнетушащего состава. Распределение массы ОТВ отслеживалось по горизонтальной проекции струи на снежной поверхности. Принципиальная схема представлена на рис. 2.

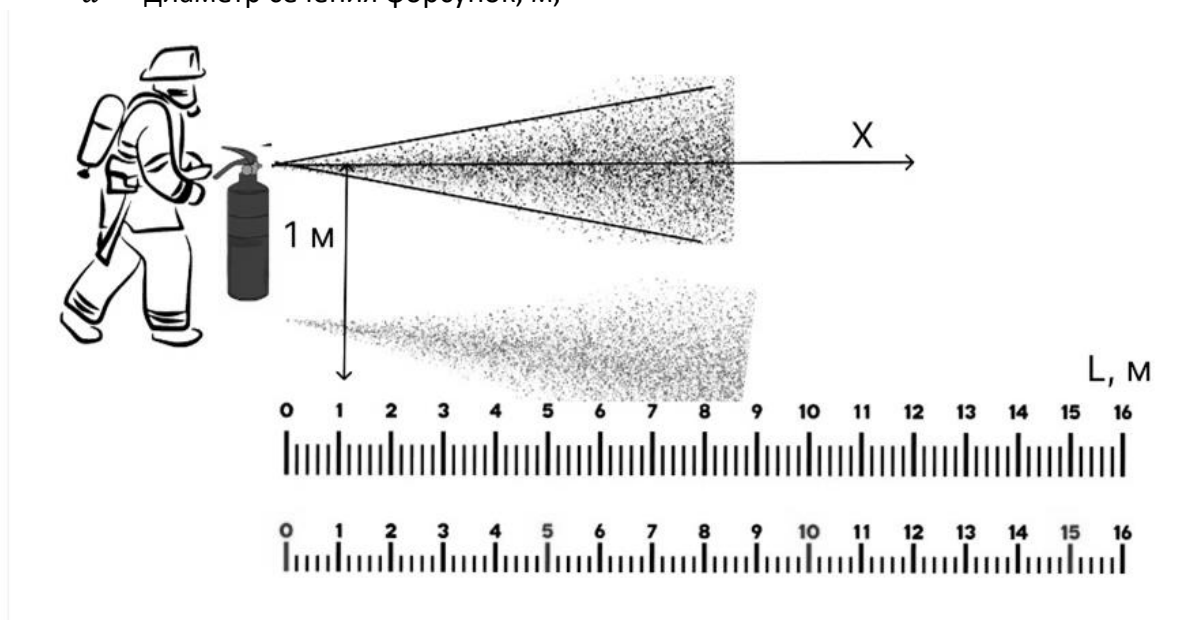


Рис. 2. Принципиальная схема проведения испытаний

Fig. 2. Schematic diagram of the test

*Исследование подачи ВГС  
с помощью МУПТ*

В качестве прибора подачи ОТВ использовалась модульная установка пожаротушения тонкораспыленной водой (МУПТ) с рабочим объемом 18 литров. Диаметр распыленных капель не превышал 150 мкм. Технические характеристики МУП ТРВ представлены на табл. 3. Тушение модельного очага МУПТ производилось путем подачи в очаг горения диспергированного ОТВ. Запуск МУПТ

осуществлялся дистанционно посредством замыкания контактов. Вытеснение ОТВ из корпуса модуля производилось газом, вырабатываемым газогенерирующим элементом. В качестве ОТВ применялись вода и ВГС с концентрацией гелеобразователя 0,1 и 0,2 масс. %. Определение огнетушащей способности проводилось в соответствии с п. 9.13 ГОСТ Р 53288-2009. Влажность пиломатериала не более  $13 \pm 1$  %. Температура воздуха в очаге класса А составляла около 20 °С.

**Таблица 3**  
Технические характеристики МУП ТРВ  
**Table 3**  
Technical characteristics of CBM TRV

№ п/п № p/p	Характеристика Characteristic	Показатель Indicator
1.	Объем ОТВ Volume of extinguishing agent	18 литров 18 liters
2.	Расход ОТВ Expenditure of extinguishing agent	4,5 л/с 4.5 liters/s
3.	Масса модуля полная Module total weight	32 кг 32 kg
4.	Продолжительность подачи ОТВ The duration of the supply of extinguishing agent	4 с 4 s
5.	Высота размещения форсунки Height of nozzle placement	6 м 6 m

*Исследование подачи ВГС с помощью  
насосно-рукавных систем (НРС)*

Для моделирования подачи ВГС по НРС в качестве исходных данных

использовались характеристики пожарного автомобиля первой помощи марки АПП-1.0-40-2 001ТМ. Характеристики автомобиля представлены в табл. 4.

**Таблица 4**  
Характеристики АПП-1.0-40-2 001ТМ  
**Table 4**  
APP characteristics-1.0-40-2 001ТМ

Наименование параметра / Name of the parameter	Показатель / Indicator
Базовое шасси ЗИЛ-5301 ЮО / Basic chassis ZIL-5301 South	Колесная формула 4×2 / Wheel formula 4×2 Полная масса 6950 кг / Gross weight 6950 kg

Габаритные размеры / Overall dimensions	Длина 6950 мм / Length 6950 mm Ширина 2350 мм / Width 2350 mm Высота 2680 мм / Height 2680 mm
Максимальная скорость / Maximum speed	95 км/ч / 95 km/h
Число мест боевого расчета / Number of combat crew seats	3 человека / 3 people
Емкость цистерны для воды / Water tank capacity	Не менее 1000 литров / At least 1000 liters
Емкость бака для пенообразователя / Capacity of the foaming agent tank	90 литров / 90 liters

Гидравлический расчет проводился по стандартной методике [7, 8] для всех диаметров напорных рукавов (РПМ), имеющих в комплекте АПП (Ø50, Ø65, Ø80), в том числе для рукавов высокого давления (Ø25).

Характеристики пожарных насосов, используемых в АПП, представлены в табл. 5.

**Таблица 5**

Характеристики пожарных насосов НЦПВ 40/200 и НЦПК-40/100-4/400

**Table 5**

Characteristics of fire pumps NCPN 40/200 and NCPN-40/100-4/400

Наименование параметра Name of the parameter	Показатель Indicator	
тип type	центробежный высокого давления high pressure centrifugal	центробежный двухступенчатый комбинированный centrifugal two-stage combined
модель model	НЦПВ 40/200 NCPV 40/200	НЦПК-40/100-4/400 NCPN-40/100-4/400
номинальная подача насоса nominal pump flow	20 л/с 20 liters/s	При напоре 100 м вод.ст. – 40 л/с при напоре 440 м вод.ст. – 2 л/с при совместной работе двух ступеней: -низкой 20 л/с -высокой 2 л/с At a head of 100 m.water.st. 40 liters/s at a head of 440 m.water.st. 2 liters/s when two stages work together: -low 20 liters/s -high 2 liters/s
напор на выходе насоса pressure at the pump outlet	При частоте вращения 3200 об/мин и подаче 15 л/с – 300 м напор насоса в номинальном режиме – 200 м	Нормального давления не менее 100 м вод.ст. (10 атм) высокого давления не менее 440 м вод.ст. (44 атм)

	At a rotation speed of 3200 rpm and a supply of 15 liters/s – 300 m pump head in nominal mode – 200 m	Normal pressure of at least 100 m.water.st. (10 atm) high pressure of at least 440 m.water.st. (44 atm)
--	---	--

Число Рейнольдса, используемое для выявления режима движения жидкости в трубопроводе, определялось по формуле:

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot U}{\eta} \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;

$d$  – диаметр трубопровода (трубопровода высокого давления принимаем равным 25 мм, для напорных рукавов (РПМ-3,0) принимаем равным 50, 65, 80 мм;

$U$  – скорость потока в трубопроводе;

$\eta$  – коэффициент динамической вязкости (определен экспериментально для ВГС).

Для расчета потери напора по длине трубопровода при турбулентном режиме движения жидкости использовалась формула Вейсбаха – Дарси:

$$h_{дл} = \lambda \frac{lU^2}{2gd}, \quad (5)$$

где  $h_{дл}$  – потери напора по длине;

$\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления;

$l$  – длина трубопровода (60 м);

$U$  – скорость движения жидкости;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$d$  – диаметр трубопроводной магистрали.

Скорость движения ОТВ вычислялась по формуле:

$$U = \frac{Q}{A}, \quad (6)$$

где  $Q$  – расход жидкости через трубопровод (2 л/с);

$A$  – площадь живого сечения

$$(A = \frac{\pi d^2}{4});$$

$d$  – внутренний диаметр трубы.

Коэффициент гидравлического сопротивления рассчитывался исходя из режима движения жидкости.

Для расчета потерь напора по длине трубопровода при ламинарном режиме движения жидкости использовалась формула Пуазейля – Гагена:

$$h_{дл} = \frac{32Ul\eta}{2gd^2}, \quad (7)$$

где  $h_{дл}$  – потери напора по длине;

$U$  – скорость движения жидкости;

$l$  – длина трубопровода (60 м);

$\eta$  – коэффициент динамической вязкости жидкости;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$d$  – диаметр трубопроводной магистрали (25, 50, 65, 80 мм).

Для расчета необходимого напора на насосе использовалась формула:

$$H_{тр}^{насос} = n \cdot S_p \cdot Q^2 + H_{ств} + Z_{ств}, \quad (8)$$

где  $n$  – количество рукавов, шт.;

$S_p$  – сопротивление одного рукава в рукавной линии в зависимости от типа и диаметра;

$Q$  – суммарный расход ОТВ из стволов, подсоединенных к одной наиболее нагруженной рукавной линии, л/с;

$H_{ств}$  – напор на стволе, м вод.ст.;

$Z_{ств}$  – высота подъема пожарного ствола, м.

С учетом потерь напора (см. в табл. 7), формула примет вид:

$$H_{тр}^{насос} = H_{р.л.} + H_{ств} + Z_{ств}, \quad (9)$$

где  $H_{р.л.}$  – потери напора в рукавной линии, м вод.ст.,

$H_{ств}$  – напор на стволе, м вод. ст.;

$Z_{ств}$  – высота подъема пожарного ствола, м, принималось равным нулю.

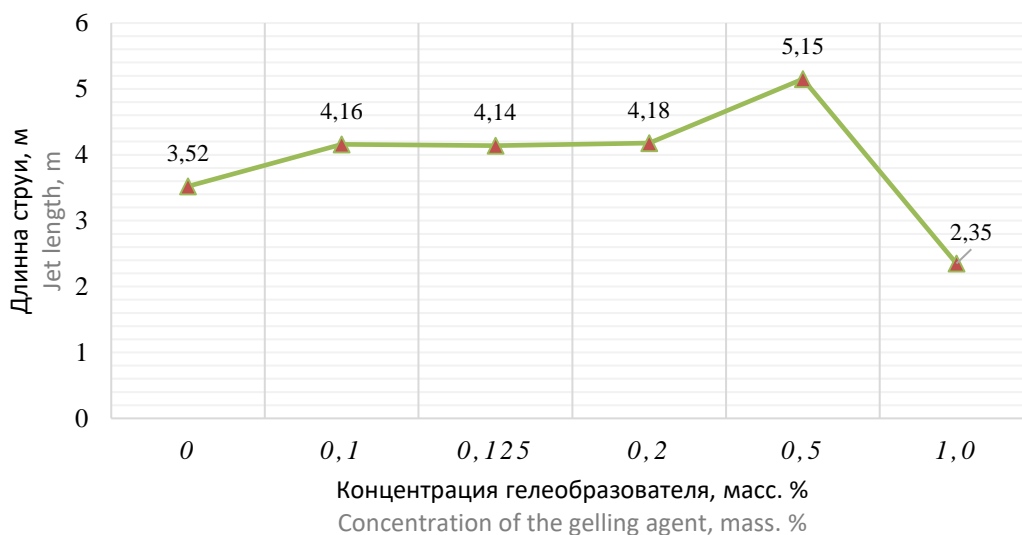
## Результаты и обсуждение



### Результаты подачи ВГС с помощью огнетушителя

Расход ОТВ из огнетушителя определялся по формуле (1) и составил 0,227 л/с. Скорость истечения из насадки определялась по формуле (2) и в среднем составила 56,91 м/с.

В результате проведенных испытаний огнетушитель обеспечил выпуск всех исследуемых ОТВ в полном объеме. Зависимость длины струи от концентрации ВГС представлена на рис 3.



**Рис. 3.** Зависимость длины струи от концентрации гелеобразователя  
**Fig. 3.** Dependence of the jet length on the concentration of the gelling agent

Увеличение длины струи происходит при концентрациях 0,1...0,5 масс. %. Наибольшая длина струи наблюдалась при концентрации гелеобразователя 0,5 масс. % (увеличение длины на 46 % по сравнению с водой), а наименьший результат – 1,0 масс. % (снижение длины на 33 % по сравнению с водой). Увеличение длины струи предположительно связано с увеличением кинетической энергии капель, ввиду повышения плотности ОТВ, при одинаковом начальном давлении в системе [13]. Однако, несмотря на, увеличенную кинетическую энергию, состав ВГС 1,0 масс. % обладает повышенной вязкостью, что предположительно влияет на процесс диспергирования в газовой среде. В публикации [Ошибка! Источник ссылки не найден.] исследовались перемычки, образующиеся при отрыве капель вязких (масло, глицерин) и маловязких (вода, спирт) жидкостей. По результатам данных

работ можно предположить, что в маловязких жидкостях перемычки являются быстроформирующимися и короткими, тогда как в вязких – короткие трансформируются в нитевидные с переменной толщиной и существуют дольше, чем в маловязких. Следовательно, они являются более прочными и эластичными, что, предположительно, увеличивает силу, противодействующую кинетической энергии при диспергировании.

### Результаты подачи ВГС с помощью МУПТ

В результате работы МУПТ модельный очаг был потушен. После выпуска ВГС с концентрациями гелеобразователя 0,1 и 0,2 масс. % повторного возгорания не выявлено в течение 10 минут, при тушении водой обнаружено повторное возгорание на 5-й минуте. Время тушения модельного очага МУПТ представлено на Рис. 4.

Интенсивность подачи ОТВ и площадь тушения в зависимости от высоты размещения модуля показана на Рис. 5. В работе [15] для тушения модельного очага класса А водногелевый состав с концентрацией гелеобразователя 0,2 масс. % подается с интенсивностью 0,024 л/(с·м<sup>2</sup>).

Для обеспечения требуемой интенсивности методом аппроксимации найдено значение высоты размещения модуля – 8,79 м. На заданной высоте при помощи аппроксимации рассчитана площадь тушения – 32,53 м<sup>2</sup>.

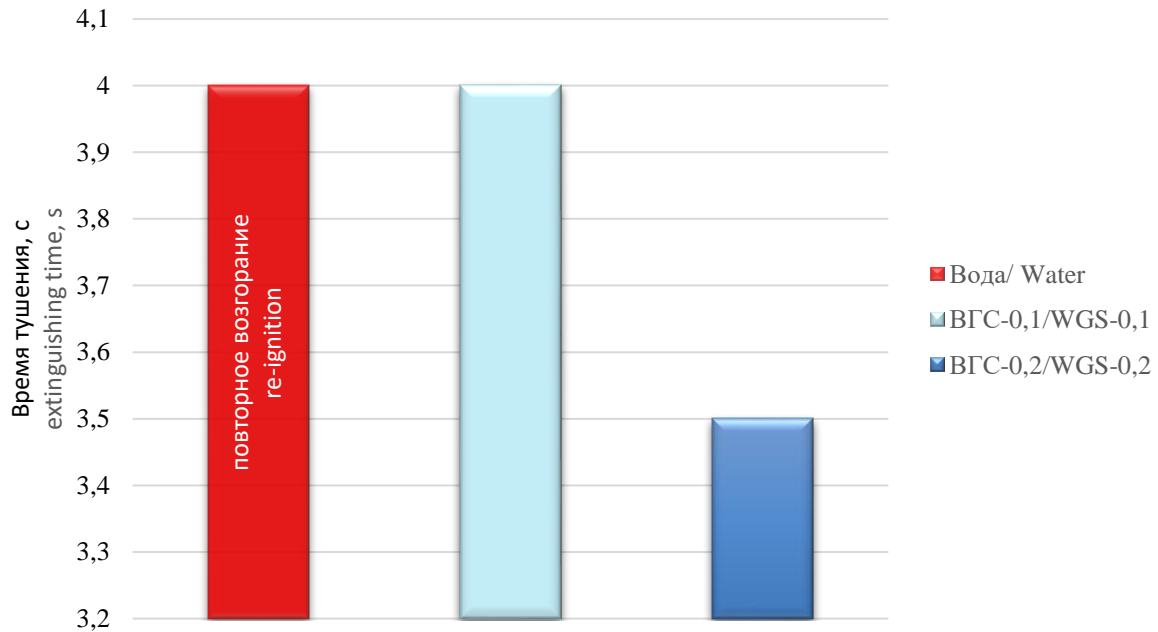
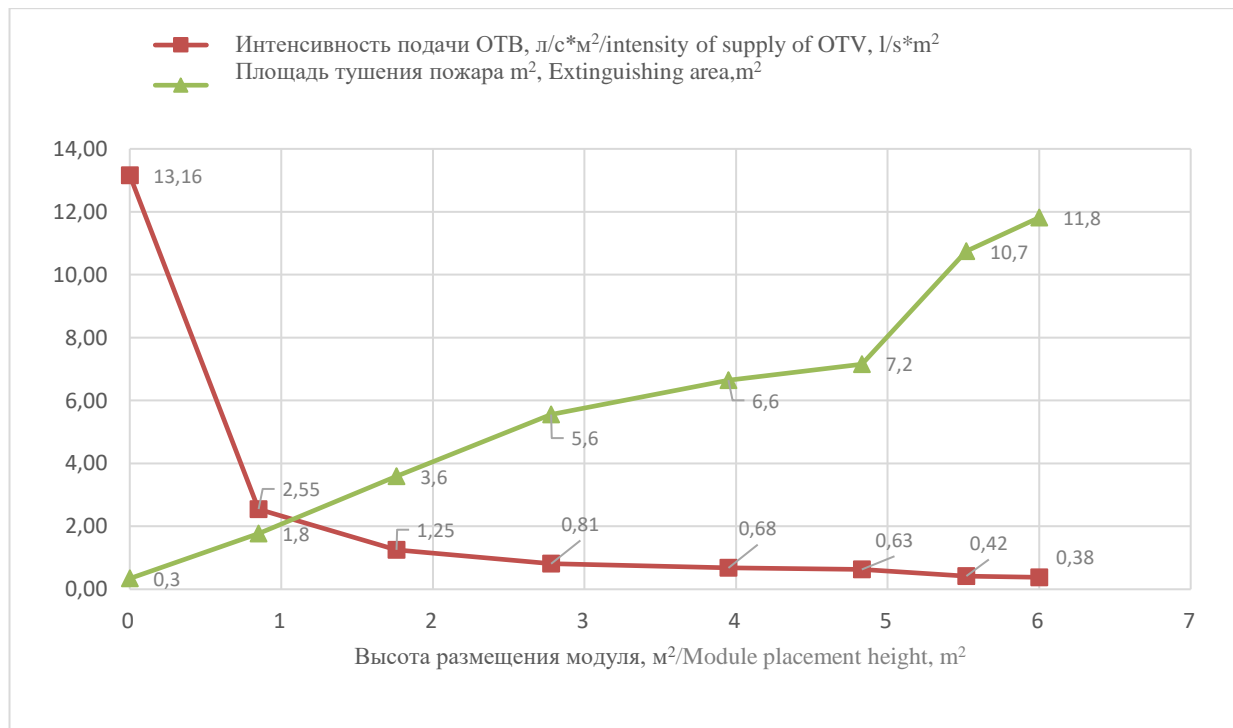


Рис. 4. Время тушения модельного очага МУПТ

Fig. 4. Extinguishing time of the model MUPT hearth



**Рис. 5.** Зависимость интенсивности подачи ОТВ и площади тушения пожара от высоты размещения модуля

**Fig. 5.** Dependence of the intensity of the supply of OTV and the fire extinguishing area on the height of the module placement

Применение модульных установок пожаротушения возможно при обеспечении требуемой интенсивности для тушения твердых материалов с оптимальной высотой подачи не более 8,79 м и расчетной площадью 32,53 м<sup>2</sup>.

*Результаты расчетов подачи ВГС с помощью НРС*

В табл. 6 представлена зависимость режима движения жидкости от концентрации гелеобразователя в ОТВ, полученная по результатам расчетов по формуле (4).

**Таблица 6**

Распределение режимов движения жидкости в зависимости от концентрации гелеобразующего компонента

**Table 6**

Distribution of fluid flow modes depending on the concentration of the gel-forming component

Концентрация гелеобразователя, масс. % Concentration of the gelling agent, mass. %	Число Рейнольдса Reynolds number				Режим движения жидкости Fluid flow mode
	Ø25	Ø50	Ø65	Ø80	
—	96142,3	47128,6	36417,5	31215,03	турбулентный turbulent
0,10	22547,8	11052,8	8540,8	7320,70	турбулентный turbulent
0,125	19270,4	9446,3	7299,4	6256,63	турбулентный turbulent
0,20	741,9	363,7	281,0	240,90	ламинарный laminar
0,25	95,2	46,7	36,1	30,91	ламинарный laminar
0,30	64,6	31,7	24,5	20,98	ламинарный laminar
0,50	54,3	26,6	20,6	17,64	ламинарный laminar
1,00	19,9	9,8	7,6	6,49	ламинарный laminar

По результатам проведенных расчетов было определено, что вода и ВГС с концентрациями гелеобразователя 0,1 масс. %

и 0,125 масс. % имеют турбулентный режим движения, а при увеличении гелеобразователя до 0,2 масс. % жидкость переходит в ламинарный режим движения.

Результаты расчета потерь давления по длине трубопровода по формулам (5),(7) представлены в табл. 7.

Проанализировав полученные данные потерь напора в трубопроводе высокого давления, можно сделать вывод, что наименьшее сопротивление имеет вода,

а наибольшее ВГС с концентрацией 1,0 масс. %. Также необходимо отметить снижение потерь напора при увеличении диаметра рукавов. Так во время ламинарного режима движения ВГС при увеличении диаметра в 2 раза наблюдается снижение потерь давления более чем в 17 раз.

Сводные данные расчета напора в насосе пожарного автомобиля для исследуемых ОТВ представлены в табл. 8.

**Таблица 7**  
Потери напора в трубопроводе  
**Table 7**  
Pressure losses in the pipeline

Обозначение Designation	Потери давления по длине трубопровода ( $h_{дл}$ ), м вод.ст. Pressure losses along the length of the pipeline ( $h_{dl}$ ), m.water.st.			
	Ø25	Ø50	Ø65	Ø80
Вода Water	49,01	0,03	0,01	0,01
ВГС-0,10 WGS-0,10	58,28	0,06	0,03	0,02
ВГС-0,125 WGS-0,125	59,84	0,06	0,03	0,02
ВГС-0,20 WGS-0,20	87,67	5,06	1,80	0,97
ВГС-0,25 WGS-0,25	683,33	39,46	14,07	7,59
ВГС-0,30 WGS-0,30	1006,86	58,14	20,73	11,19
ВГС-0,50 WGS-0,50	1197,41	69,14	24,65	13,31
ВГС – 1,00 WGS-1,00	3254,27	187,90	66,99	36,16

**Таблица 8**  
Сводные данные о требуемом напоре в насосе  
**Table 8**  
Summary data on the required pressure in the pump

Обозначение Designation	Напор на насосе при напоре на стволе 30 м вод.ст. The pressure on the pump at the pressure on the trunk is 30 m water.art.			
	Ø25	Ø50	Ø65	Ø80
Вода	79,01	30,03	30,01	30,01

Обозначение Designation	Напор на насосе при напоре на стволе 30 м вод.ст. The pressure on the pump at the pressure on the trunk is 30 m water.art.			
	Ø25	Ø50	Ø65	Ø80
Water				
ВГС-0,10 WGS-0,10	88,28	30,06	30,03	30,02
ВГС-0,125 WGS-0,125	89,84	30,06	30,03	30,02
ВГС-0,20 WGS-0,20	117,67	35,06	31,8	30,97
ВГС-0,25 WGS-0,25	713,33*	69,46	44,07	37,59
ВГС-0,30 WGS-0,30	1036,86*	88,14	50,73	41,19
ВГС-0,50 WGS-0,50	1227,41*	99,14	54,65	43,31
ВГС – 1,00 WGS-1,00	3284,27*	217,9**	96,99	66,16

*Примечание: \* отмечены значения, превышающие номинальный напор ступени высокого давления пожарного насоса НЦПК 40/100-4/400; \*\* отмечены значения, превышающие номинальный напор пожарного насоса НЦПВ 40/200.*

По результатам расчетов напора на насосе выявлено, что использовать в катушке высокого давления не представится возможным ВГС с концентрациями 0,25...1,00 масс. %. При использовании ВГС в насосно-рукавных системах есть ограничение в виде концентрации гелеобразователя 1,00 масс. %. Подачу ВГС с остальными концентрациями целесообразно осуществлять как по магистральным (Ø80), так и по рабочим рукавными линиям (Ø50, Ø65). При выявлении огнетушащих и теплозащитных свойств ВГС в исследовании [12] оптимальной концентрацией стал водногелевый состав с концентрацией гелеобразователя 0,5 масс. %.

**Методика применения ВГС при тушении пожаров пиротехнических изделий на транспорте**

*Методика применения ВГС при пожаротушении с помощью НРС*

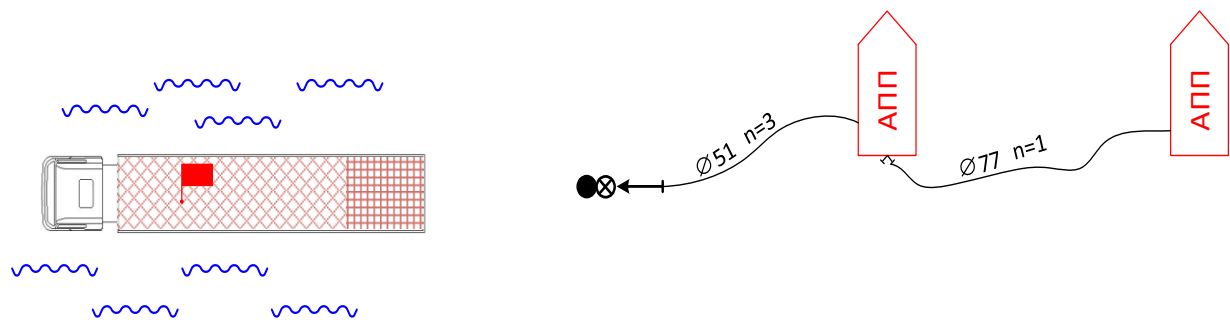
Исходя из данных, представленных в табл. 8, можно сделать вывод, о том, что для подачи ВГС необходимо иметь на АПП следующее оборудование:

- пожарный насос, не уступающий по номинальному напору НЦПК 40/100-4/400 или НЦПВ 40/200;
- катушку и ствол высокого давления (СВД);
- напорные рукава типа РПМ-3,0 с условными диаметрами 51, 66, 77 мм;
- пожарный ствол КУРС-8И с возможностью снижать расход ОТВ до 2 л/с.

Согласно расчетам ВГС с концентрациями 0,10–1,00 масс. % можно применять в НРС, однако следует учитывать износ насоса и пожарных рукавов, а также примечания к табл. 8. Влияние свищей и ремонта пожарных рукавов на потери напора по длине рукавной линии требует дополнительного исследования.

Методика применения исследуемого ОТВ предусматривает, что ВГС приготавливается заблаговременно и заправляется в бак для воды АПП. При прибытии к месту пожара пожарный расчет из двух пожарных и водителя на АПП (при применении ствола высокого давления 1 пожарного и одного водителя) производит разведку пожара, определяют места установки техники, позиции ствольщика и производят полное развертывание.

Определено максимальное время работы ствола с расходом 2 л/с – 7 мин. Следовательно, для тушения пожара фуры площадью 39 м<sup>2</sup> потребуется два пожарных автомобиля АПП. Типовая схема развертывания сил и средств для применения исследуемого ОТВ в НРС представлена на рис. 6.



**Рис. 6.** Схема развертывания сил и средств для подачи ВГС

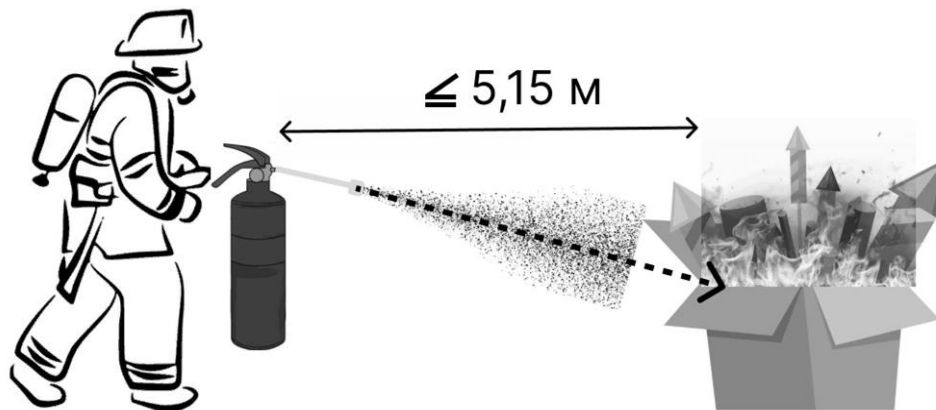
**Fig. 6.** Scheme of deployment of forces and means for the submission of WGS

*Методика применения ВГС  
при пожаротушении с помощью  
огнетушителя*

Применение ВГС в огнетушителях закачного типа обеспечивает создание на поверхности изоляционного слоя, отвод тепла из зоны горения и тепловую защиту негорящих материалов и может позволить тушение на уровне современных средств пожаротушения, которыми укомплектовываются объекты транспорта [17]. Водногелевые составы полностью безопасны

для людей и окружающей среды, поэтому персонал, применяющий данные огнетушители, может исключить защиту дыхательных путей от проникновения ОТВ, что необходимо при использовании ОП-5.

Данные огнетушители целесообразно применять реагирующим подразделениям для тушения вновь возникших очагов в результате разлета горящих элементов фейерверков. Схема применения огнетушителя с ВГС представлена на рис. 7.



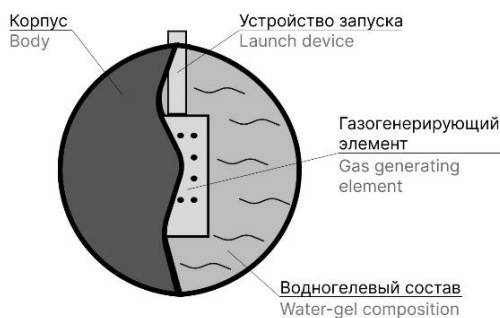
**Рис. 7** Схема применения огнетушителя с ВГС

**Fig. 7** Scheme of using a fire extinguisher with WGS

*Методика применения ВГС при пожаротушении с помощью БПЛА*

На сегодняшний день на базе БПЛА возможно применять огнетушащие капсулы с эффективными концентрациями ВГС, создавая заряды весом 0,5 кг; 0,7 кг

и 1,3 кг (рис. 8). Принципом работы капсулы является подача ОТВ в зону горения посредством высвобождения газов и разрушения корпуса.



**Рис. 8** Огнетушащие шары с ВГС и сбрасывающее устройство БПЛА

**Fig. 8** Fire extinguishing balls with WGS and UAV drop device

Модульные установки пожаротушения являются эффективными, а применение технологии тонкого распыла позволяет увеличить теплоотвод из зоны горения и сократить необходимое количество ОТВ. Исходя из возможной площади

пожара (39,44 м<sup>2</sup>) на рис. 9 представлены размещение МУП ТРВ на квадрокоптере и схема проведения воднотелевой атаки БПЛА с МУП при тушении объектов транспорта.



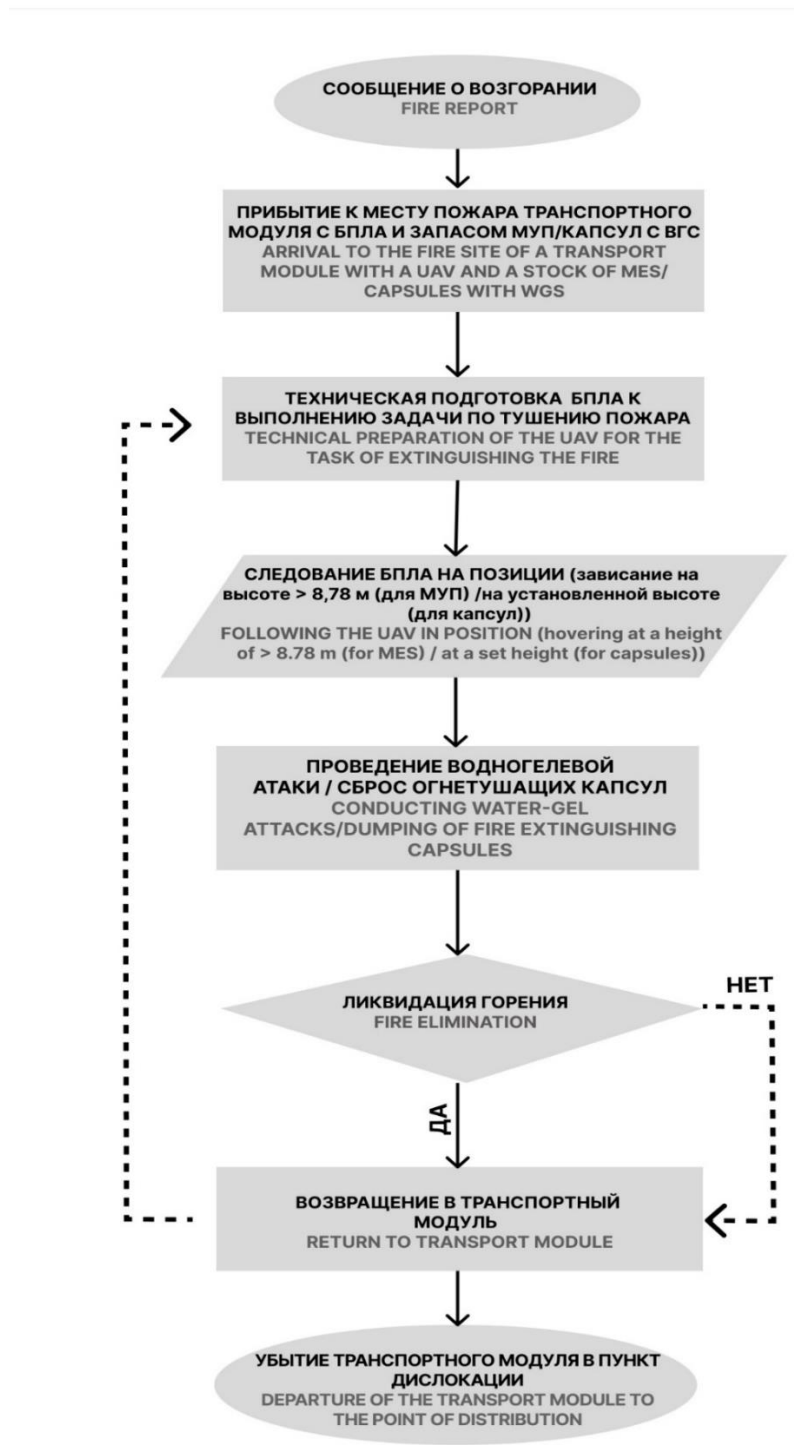
**Рис. 9.** а) Размещение МУП ТРВ на БПЛА; б) схема проведения водногелевой атаки БПЛА с МУП при тушении

**Fig. 9.** a) Placement of the MUP TRV on the UAV; b) a scheme for carrying out a water-gel attack of an UAV with MUP during extinguishing

Для применения дронов с МУП при тушении пожаров необходимо сформировать подразделение на базе специализированной пожарно-спасательной части. В состав подразделения включить транспортный модуль пожарных БПЛА (расчет: 1 водитель,

1 техник) с запасом ОТВ (МУП, огнетушащих капсул) и пункт управления БПЛА (расчет: 1 водитель, 1 оператор). Алгоритм применения пожарных БПЛА представлен на рис. 10.





**Рис. 10.** Алгоритм применения пожарных БПЛА на месте вызова

**Fig. 10.** Algorithm for the use of firefighting UAVs at the call site

### Выводы

Проведенные расчеты и экспериментальные данные подтверждают перспективность применения ВГС в качестве агента тушения пожаров пиротехнических

изделий. Необходимо отметить, что применять их могут как пожарные подразделения, при помощи имеющейся на вооружении техники и ПТВ, квадрокоптеров с МУП и огнетушащими капсулами, так и персонал объектов транспорта и транспортной инфраструктуры при помощи

первичных средств пожаротушения. При использовании ВГС будут созданы условия для тушения пожара и тепловой защиты, а при недостаточности объема для ликвидации распространение огня будет ограничено.

Применение ВГС с помощью БПЛА позволит оперативно доставлять ОТВ точно в зону горения, избежать гибели среди пожарных, участвующих в тушении пиротехнических изделий и взрывчатых веществ в целом.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Перминов В. П., Султанов Ф. Ф., Саяпова Д. Ф. Актуальные вопросы изменения законодательства России в области пожарной безопасности // Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (firesafety 2019): материалы I Всероссийской научно-практической конференции в 2 т., Уфа, 23 октября 2019 г. – Уфа, 2019. – Т. 2. – С. 103–108.
2. Ожоги мирного времени. Источники опасности / В. А. Соколов и др. // Клиническая медицина. 2015. Т. 93. № 6. С. 30–35.
3. Чрезвычайные ситуации и их последствия в 2021 г.: стат. сб. / А. А. Порошин и др. М., 2022. 70 с.
4. Tian X. et al. Research on Structure and Fire Control System of Fire Fighting UAV Based on Polymer Gel Fire Bomb //2022 IEEE 10th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC). – IEEE, 2022. – Т. 10. – С. 842-845.
5. Гаджиев Ш. Г. Тактико-техническое обеспечение огнезащиты и тушения пожаров модифицированными водногелевыми составами на транспорте: дисс. ... канд. техн. наук. СПб., 2018. 127 с.
6. Михайлова В. И. Реализация систем тепловой защиты резервуарного парка для хранения нефтепродуктов на основе модифицированных водногелевых составов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11. № 1 (57). С. 119–122.
7. Калицун В. И., Кедров В. С., Ласков Ю. М. Гидравлика, водоснабжение и канализация. М., 2001. 397 с.
8. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика. М., 1975. 323 с.
9. ГОСТ Р 51057–01. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2001.
10. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник. Калуга, 2003. Т. 1. 917 с.
11. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей. М., 1984. 249 с.
12. Воронцов Т. С., Иванов А. В. Исследование физико-химических свойств водногелевых огнетушащих составов в условиях ликвидации горения промышленных взрывчатых веществ и их компонентов // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2. С. 50–58.
13. Куприн Г. Н., Куприн Д. С., Колыхалов Д. Г. Огнетушитель газогенераторный для взрывопожаропредотвращения и твердопенного тушения. 2019.
14. Чашечкин Ю. Д., Прохоров В. Е. Трансформации перемишки в процессе отрыва капли // Прикладная механика и техническая физика. 2016. Т. 57. № 3. С. 16–31.
15. Гаджиев Ш. Г., Иванов А. В., Крутолапов А. С. Тактико-техническое обоснование применения модифицированных водногелевых составов для тепловой защиты и тушения пожаров // Управления рисками в техносфере. 2016. С. 51.
16. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пиротехнических изделий»: принят решением Комиссии Таможенного союза от 16.08.2011 № 770. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
17. Вогман Л. П., Зуйков В. А. Нормы и правила по обеспечению пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции. Часть II. Пожарная безопасность при реализации, хранении, утилизации, транспортировании пиротехнических изделий и проведении фейерверков на открытом воздухе и в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 9. С. 5–24.

#### REFERENCES

1. Perminov V. P., Sultanov F. F., Sayapova D. F. Actual issues of changing the legislation of Russia in the field of fire safety / V. P. Perminov. Modern problems of fire safety: theory and practice (firesafety 2019) : Materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference: in 2 volumes, Ufa, October 23, 2019 / Ufa State Aviation

- Technical University; The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Republic of Bashkortostan. Volume II. – Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2019; 103–108. (rus).
2. Sokolov V. A. et al. Peacetime burns. Sources of danger. Clinical medicine, 2015. Vol. 93.6: 30–35. (rus).
  3. Emergency situations and their consequences in 2021: statistical collection / Doctor of Technical Sciences A.A. Poroshin, Candidate of Technical Sciences Yu.A. Matyushin, Candidate of Technical Sciences A.G. Firsov, A.M. Arslanov, V.N. Kopchenov. M.: VNIPO, 2022; 70. (rus).
  4. Tian X. et al. Research on Structure and Fire Control System of Fire Fighting UAV Based on Polymer Gel Fire Bomb. IEEE 10th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC; 2022; 10: 842–845.
  5. Gadzhiev Sh.G. Tactical and technical support of fire protection and fire extinguishing with modified water-gel compositions in transport: dissertation of Candidate of Technical Sciences 05.26.03 / Gadzhiev Shamil Gadzhievich. St. Petersburg, 2018; 127. (rus).
  6. Mikhailova V. I. Implementation of thermal protection systems of a tank farm for storing petroleum products based on modified water–gel compositions. XXI century: results of the past and problems of the present plus, 2022; 1(57): 119– 122. – DOI 10.46548/21vek-2022-1157-0024. (rus).
  7. Kalitsun V. I. Kedrov V. S., Laskov Yu. M. Hydraulics, water supply and sewerage. Stroyizdat, 2001; 397. (rus).
  8. Altshul A.D., Kiselev P.G. Hydraulics and aerodynamics. Stroyizdat, 1975; 323. (rus).
  9. GOST R. 51057-01. Portable fire extinguishers. General technical requirements. Test methods. Moscow: Publishing House of standards, 2001. (rus).
  10. Timonin A.S. Engineering and environmental handbook. Kaluga, Publishing House, 2003; 917. (rus).
  11. Pages D.G., Galustov V.S. Fundamentals of the technique of spraying liquids. Chemistry, 1984; 249. (rus).
  12. Vorontsov T. S., Ivanov A.V. Investigation of the physicochemical properties of water-gel extinguishing compounds in the conditions of elimination of combustion of industrial explosives and their components. Modern problems of civil protection Founders: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, 2022; 2: 50–58. (rus).
  13. Kuprin G. N., Kuprin D. S., Kolykhalov D. G. Gas generator fire extinguisher for explosion and fire prevention and solid-foam extinguishing, 2019. (rus).
  14. Chashechkin Yu. D., Prokhorov V. E. Transformation of the jumper in the process of separation of a drop. Applied mechanics and technical physics, 2016. 57(3): 16–31. (rus).
  15. Gadzhiev Sh. G., Ivanov A.V., Krutolapov A. S. Tactical and technical justification of the use of modified water-gel compositions for thermal protection and fire extinguishing. Risk management in the technosphere, 2016; 51. (rus).
  16. Technical Regulations of the Customs Union "On the safety of pyrotechnic products": adopted by the decision of the Commission of the Customs Union of 16.08.2011 No. 770. Access from help.- the legal system "ConsultantPlus". (rus).
  17. Vogman L. P., Zuikov V. A. NORMS AND RULES FOR ENSURING FIRE SAFETY WHEN HANDLING PYROTECHNIC PRODUCTS Part II. Fire safety during the sale, storage, disposal, transportation of pyrotechnic products and fireworks in the open air and indoors //Fire and explosion safety, 2015; 24 (9): 5–24. (rus).

### Информация об авторах

**Воронцов Тарас Сергеевич**, преподаватель кафедры пожарно-строевой, физической подготовки и газодымозащитной службы, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, пр-кт Строителей, д. 33; SPIN-код: 3730-9590; e-mail: [taras.chek@yandex.ru](mailto:taras.chek@yandex.ru)

### Information about the authors

**Taras S. Vorontsov**, Teacher of the Department of Fire-fighting, Physical Training and Gas-smoke Protection Service, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Stroiteley Ave., 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; SPIN-code: 3730-9590; e-mail: [taras.chek@yandex.ru](mailto:taras.chek@yandex.ru)