

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОГNETУШАЩИХ СОСТАВОВ, ПОДАВАЕМЫХ НА ТУШЕНИЕ ПУТЕМ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Иванов И.Ю., Навроцкий О.Д., Лихоманов А.О., Гараев Ю.В.

Цель. Разработать методику эксперимента и исследовать влияние рабочего давления перед розеточным оросителем тонкораспыленной воды на размер капель в факеле распыла при использовании ранее разработанного пленкообразующего огнетушащего состава V3. Провести натурные испытания для определения времени тушения модельного очага пожара нерастворимой в воде горючей жидкости с использованием разработанного пленкообразующего огнетушащего состава и серийно выпускаемых аналогов.

Методы. Размер капель в потоке измерялся инструментальным методом с помощью промышленного анализатора размера аэрозольных частиц Winner 319, в основе работы которого лежит принцип лазерной дифракции. Определение времени тушения огнетушащими составами выполнялось экспериментальным путем, а обработка экспериментальных данных проводилась с использованием метода оценивания и выражения неопределенности измерений.

Результаты. Разработана методика измерения размера капель водяных огнетушащих составов, подаваемых на тушение путем распыления. Проведены измерения размеров капель ранее разработанного пленкообразующего огнетушащего состава V3 (с оптимизированным по времени тушения соотношением компонентов) при подаче его через ороситель тонкораспыленной водой «Бриз9/К16». Установлено, что для формирования факела распыла с диаметром капель размером менее 150 мкм с помощью указанного оросителя «Бриз9/К16» пленкообразующий огнетушащий состав V3 необходимо подавать под рабочим давлением от 0,6 до 1,0 МПа. Проведены натурные испытания по тушению модельного очага пожара подкласса В1 четырьмя огнетушащими составами: огнетушащей композицией V3, ПО-6РТС (Россия), ПО-6РТФ (Россия), барьер-пленкообразующим 3 НС (Беларусь). Установлено, что применение разработанной огнетушащей композиции V3 снижает время тушения модельного очага пожара подкласса В1 не менее чем на 38 % по сравнению с аналогами.

Область применения исследований. Разработанная методика исследования физических параметров диспергируемых капель из розеточного оросителя тонкораспыленной воды может быть применена при разработке отечественных ТНПА для исследования параметров факела распыла розеточных оросителей, применяемых в автоматических установках пожаротушения.

Ключевые слова: ороситель, размер капель, эффективность тушения, время тушения, автоматическая установка пожаротушения, натурные испытания.

(Поступила в редакцию 28 января 2026 г.)

Введение

В работе [1] предложена рецептура пленкообразующего огнетушащего состава, отличающаяся от существующих аналогов наименьшим временем тушения при подаче путем распыления в лабораторных условиях. С целью подтверждения возможности применения разработанного огнетушащего состава на практике в автоматических установках пожаротушения и подачи его путем мелкодисперсного распыления проведены экспериментальные исследования по определению зависимости размера капель в образуемом потоке от рабочего давления перед оросителем, а также натурные испытания по тушению модельных очагов пожара подкласса В1 по ГОСТ 27331-87¹.

Для формирования мелкодисперсных капель в факеле распыла в составе испытательной установки применялся ороситель тонкораспыленной воды «Бриз9/К16» производства ЗАО «ПО "Спецавтоматика"» с техническими характеристиками, которые представлены в таблице 1.

¹ Пожарная техника. Классификация пожаров: ГОСТ 27331-87. – Введ. 01.01.1998. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 4 с.

Максимальное рабочее давление перед оросителем при проведении измерений размера капель принято ограничить 1 МПа в соответствии с действующими нормами проектирования водяных и пенных установок пожаротушения².

Таблица 1. – Технические характеристики оросителя тонкораспыленной воды «Бриз9/К16»³

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон рабочих давлений, МПа	0,60–1,60
Защищаемая площадь, м ²	9
К-фактор	0,085
Средняя интенсивность орошения на защищаемой площади при высоте установки оросителя 2,5 м, рабочем давлении 0,6 МПа, дм ³ /(с·м ²)	не менее 0,055
Средний диаметр капель в потоке, мкм	не более 150

Существующие методики определения размеров капель распыленной жидкости. В соответствии с СТБ 11.16.06⁴ по капельной структуре формируемого потока огнетушащего вещества оросители для автоматических установок пожаротушения подразделяются на распылители (средний диаметр капель в распыленном потоке 150 мкм и менее) и разбрызгиватели (более 150 мкм). Дисперсность распыленной струи воды в соответствии с указанным стандартом определяется по методу улавливания капель. В данном методе применяется специальная смесь, состоящая из 1/4 части технического вазелина и 3/4 части вазелинового масла. Для проведения эксперимента используются площадки, на которые наносится слой данной смеси. Каждая площадка должна содержать не менее 3 г смеси и иметь площадь захвата не менее 7 см². Плошки устанавливаются в плоскости, которая перпендикулярна оси оросителя, и размещаются на расстоянии, равном половине дальности эффективного действия струй. Расстановка площадок производится равномерно, начиная от центра и заканчивая на максимальном радиусе факела струи. Для того чтобы обеспечить точность измерений, площадки накрываются специальным отсекателем. Отсекатель убирается только после того, как распылитель выйдет на рабочий режим. Важно, чтобы в площадках было зафиксировано не менее 100 капель, при этом между каплями должно оставаться свободное пространство. После завершения процесса улавливания капель площадки фотографируются, что позволяет зафиксировать положение капель. Затем с помощью микроскопа исследуется количество капель и их размеры. При анализе для каждой площадки рассчитывается средний диаметр капель по формуле:

$$d_{\text{пл}} = \frac{\sum_i d_i n_i}{\sum_i n_i},$$

где d_i – диаметр капли в заданном интервале размеров, мкм;

n_i – число капель диаметра d_i .

Описанный выше метод анализа микрофотографий осевших капель характеризуется высокой трудоемкостью и низкой точностью и не позволяет получать данные в реальном времени [2].

В соответствии с широко используемыми международными нормами проектирования установок пожаротушения тонкораспыленной водой NFPA 750⁵ к данному типу установок относятся системы с размерами диспергируемых капель от 0,99 до 1000 мкм. Для измерения размера капель применяются три основных способа: оптическая визуализация, дифракция и доплеровская рефракция. Также указанный стандарт определяет три типа установок пожаротушения тонкораспыленной водой в зависимости от рабочего давления в системе: низкого (менее 1,21 МПа), среднего (от 1,21 до 3,45 МПа) и высокого давления (более 3,54 МПа).

² Пожарная автоматика зданий и сооружений: СН 2.02.03-2019. – Введ. 29.11.2019. – Мн.: Минстройархитектуры, 2024. – IV, 105 с. – URL: <https://normy.by/tnpa/1/6626.pdf> (дата обращения: 11.12.2025).

³ Ороситель спринклерный тонкораспыленной воды «Бриз» / ЗАО «ПО "Спецавтоматика"»: [сайт]. – URL: <https://sa-biysk.ru/catalog/1369/> (дата обращения: 11.12.2025).

⁴ Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 11.16.06-2011 / ГОСТ Р 51043-2002. – Введ. 30.05.2011. – Мн.: Госстандарт, 2011. – III, 30 с.

⁵ NFPA 750. Standard on Water Mist Fire Protection Systems / National Fire Protection Association. – URL: <https://minhbao.com.vn/wp-content/uploads/2021/01/NFPA-750-HE-THONG-WATER-MIST.pdf> (дата обращения: 11.12.2025).

Для оценки и характеристики процесса распыления жидкости в реальном времени наиболее широко применяются оптические методы измерения капель. Оптические анализаторы размера капель представляют данные в виде процента распределения капель по классам размеров. Данные упорядочиваются в математическое представление, называемое распределением размеров капель. Форма этого распределения может значительно варьироваться в зависимости от типа и модели используемого анализатора. Для более детального сравнения размеров капель в научных и промышленных исследованиях применяются различные средние и характеристические диаметры⁶.

Согласно NFPA 750 измерение распределения размера капель в объеме формируемого потока проводится при минимальном и максимальном давлении в 24 точках на расстоянии 1 м от оросителя (рис. 1). В этих же точках проводится и измерение интенсивности подачи воды.

Средние и средневзвешенные диаметры капель. В соответствии с теорией эквивалентной сферы [3] описание дисперсных систем с частицами сложной формы упрощается за счет использования одного однозначно определяемого параметра – диаметра сферы. Метод заменяет реальные частицы неправильной формы шарами с тем же объемом, массой или площадью поверхности. Для анализа капель производится расчет их среднего диаметра. Каждый метод анализа размеров капель позволяет получать разные значения средних диаметров, в зависимости от того, какой характеризующий частицу физический параметр измеряется.

К ключевым параметрам распределения капель огнетушащего вещества по размеру относятся проценти и средние (взвешенные) диаметры. Проценти показывают, как распределены частицы, и указывают диаметр, меньше которого находится определенный процент капель по выбранному критерию (объем (Volume) или количество (Number)). Средние (взвешенные) диаметры капель представляют собой «усредненные» значения диаметра, которые по-разному чувствительны к мелким или крупным каплям, и рассчитываются по формулам [4]:

– среднеарифметический диаметр

$$D[1,0] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i, \quad (1)$$

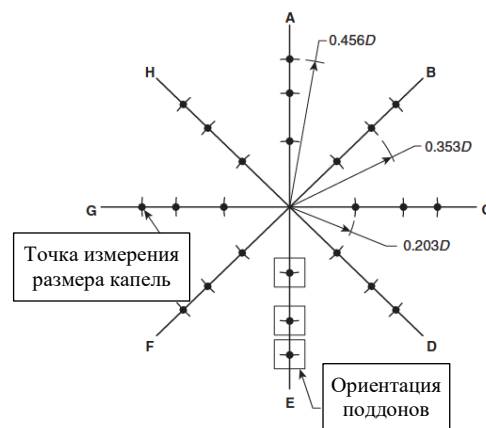
– средневзвешенный на площадь поверхности – средний диаметр Заутера (Sfuter Mean Diameter, SMD)

$$D[3,2] = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^3}{\sum_{i=1}^n d_i^2}, \quad (2)$$

– средневзвешенный на объем (среднеобъемный) – средний диаметр Де Брукера

$$D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^4}{\sum_{i=1}^n d_i^3}, \quad (3)$$

где n – общее число капель; d_i – диаметр измеренной капли, мкм.



A–H – оси радиальной решетки с рассчитанными местами измерения размера капель; D – диаметр площади, защищаемой оросителем
Рисунок 1. – Схема измерения размера капель и интенсивности орошения водяных огнетушащих составов в соответствии с NFPA 750⁷

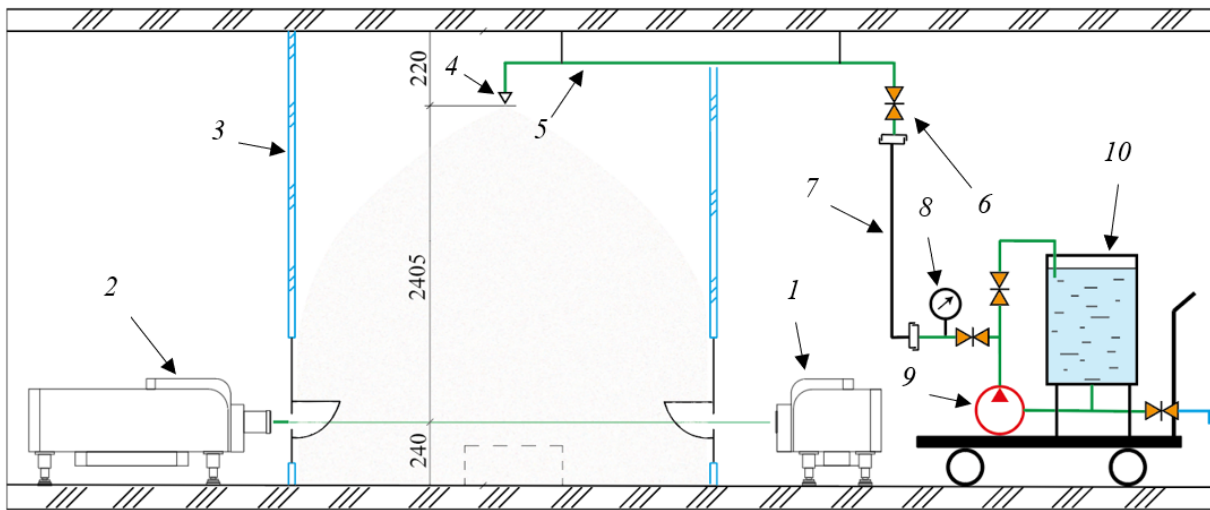
⁶ Schick, R.J. Spray Technology Reference Guide: Understanding Drop Size / R.J. Schick. – USA, Wheaton: Spraying Systems Co., 2008. – 36 p. – URL: https://www.spray.com/uk-ua/-/media/dam/industrial/usa/sales-material/product-market-bulletin/b459c_understanding_drop_size.pdf (date of access: 11.12.2025).

⁷ См. сноску 5.

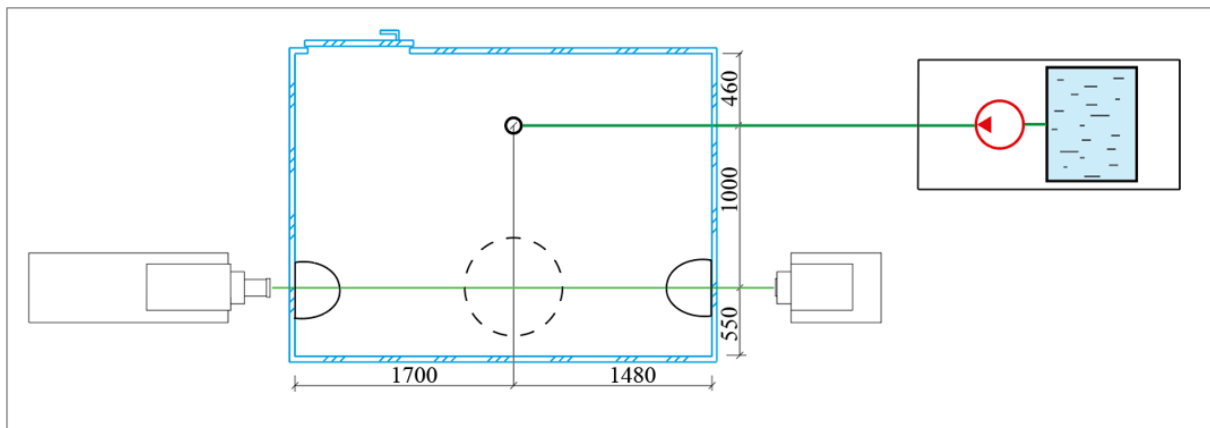
Эти диаметры представляют собой значения, извлеченные из распределения размеров капель, и помогают понять, каково среднее значение и вариация размеров капель в конкретной выборке, и дают возможность более точно оценить характеристики распыла [4].

Основная часть

Методика лабораторного эксперимента по определению влияния рабочего давления перед оросителем на размер капель. После анализа методики проведения измерений в соответствии с NFPA 750 была разработана установка, схема которой представлена на рисунке 2. С целью упрощения и удешевления процесса измерения размера диспергируемых из оросителя капель в факеле распыла исследования решено производить только на одной линии, расположенной на расстоянии 0,1 м над планируемым местом установки очага пожара при натуральных испытаниях. Такое расположение измерительного луча по отношению к эюре орошения оросителя позволяет определить размер тех капель, которые непосредственно будут участвовать в тушении модельного очага пожара.



а – вид сбоку



б – вид сверху

1 – источник лазерного поляризованного излучения; 2 – многоэлементный детектор; 3 – испытательное помещение; 4 – ороситель тонкораспыленной воды; 5 – трубопровод; 6 – задвижка; 7 – напорный рукав; 8 – манометр; 9 – насосная установка; 10 – емкость с огнетушащим веществом

Рисунок 2. – Схема экспериментальной установки для определения размера диспергируемых оросителем капель (размеры указаны в мм)

Исследования проводились в испытательном помещении, которое представляет собой выгороженное ПВХ-перегородками со стеклянным заполнением помещение с дверью, при следующих параметрах окружающей среды: температура 18–25 °С; влажность 65,0–74,0 %; атмосферное давление 99,0–101,5 кПа. Чтобы избежать искажений в измерениях во время исследований, стеклянные полотна, через которые проходил измерительный луч, были заменены на непрозрачные вставки с отверстиями. Эти вставки дополнительно защищались козырьками, которые предотвращали попадание образующейся пены в отверстия.

Перед началом испытаний по разным сторонам испытательной камеры соосно на одном уровне устанавливались источник лазерного поляризованного излучения и многоэлементный детектор и проводилась их отладка в соответствии с технической документацией производителя. Далее элементы подключались согласно схеме на рисунке 2. Проведение испытаний начиналось с приготовления испытательного раствора путем смешения воды и огнетушащего состава в необходимых пропорциях. Готовый раствор заливался в емкость и в течение 3 мин перемешивался с помощью насосной установки. Далее включался анализатор размера капель, который прогревался в течение 10–15 мин, и компьютер, на котором запускалось программное обеспечение лазерного анализатора размера капель. Запускалась насосная установка, и внутрь испытательного помещения через ороситель распылялся огнетушащий состав. С помощью задвижки после насосной установки выставлялось необходимое рабочее давление. После стабилизации давления в системе в течение 30 с проводились измерения.

Метрологические характеристики средств измерений, применяемых при проведении эксперимента, представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Метрологические характеристики средств измерений

Наименование	Диапазон измерений	Цена деления	Погрешность
Промышленный лазерный анализатор размера аэрозольных частиц Winner319	1–2000 мкм	–	< 3% (для сертифицированного стандартного образца D50)
Секундомер Electronika RI-01	0 ч 00 мин 00 с – 9 ч 59 мин 59,99 с	0,01 с	$\pm (9,6 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{изм.}} + 0,01 \text{ с})$
Манометр МВПЗ-Ум-1,5-М20×1,5	0–1000 кПа	5 кПа	$\pm 1,5 \% (\pm 15 \text{ кПа})$

Для определения размера капель применялся промышленный анализатор размера частиц аэрозолей Winner319 (размещается в позициях 1 и 2 на рисунке 2), принцип действия которого основан на оптических измерениях спектра рассеяния групп частиц и компьютерной обработке данных⁸. Программное обеспечение автоматически производит расчет распределения капель по размерам и формирует отчет в виде протокола испытаний (рис. 3).

В первой части протокола испытаний анализатора размера частиц Winner319 приводятся все основные характеристики распыла: процентиля среднеобъемного диаметра капель $D[4,3]$ (V10, V50, V90), процентиля среднего арифметического диаметра капель $D[1,0]$ (N10, N50, N90), среднее арифметическое диаметров всех капель $D[1,0]$ (Number Average Diameter, NAD), средневзвешенный на площадь поверхности диаметр $D[3,2]$ (SMD) и средневзвешенный на объем диаметр $D[4,3]$ (Volume-weighted Average Diameter, VAD). Также приводятся такие расчетные параметры, как вычисляемый по формуле (4) относительный разброс капель (Relative Span, R.S.)⁹ и соотношение медиан $N50/V50$ ¹⁰.

$$R.S. = (V90 - V10) / V50. \quad (4)$$

В второй части протокола испытаний приводятся частотное (интервальное) и кумулятивное (иначе – интегральное) распределение капель по размерам. Гистограмма и таблица частотного распределения показывают долю капель из определенного интервала размеров в общем объеме (V%). Кумулятивное распределение капель (графическая кривая) позволяет увидеть, какой процент от общего объема измеренных капель ($\Sigma V\%$) имеет диаметр больше или меньше выбранного значения.

Для характеристики размеров образуемых капель при проведении исследований применялись процентиля среднеобъемного диаметра капель $D[4,3]$ (V10, V50, V90).

⁸ Промышленный лазерный анализатор размера аэрозольных частиц Winner319: руководство по эксплуатации / Jinan Winner Particle Instrument Stock Co. Ltd. – Jinan: Winner Particle Instrument Stock, 2023. – 20 с.

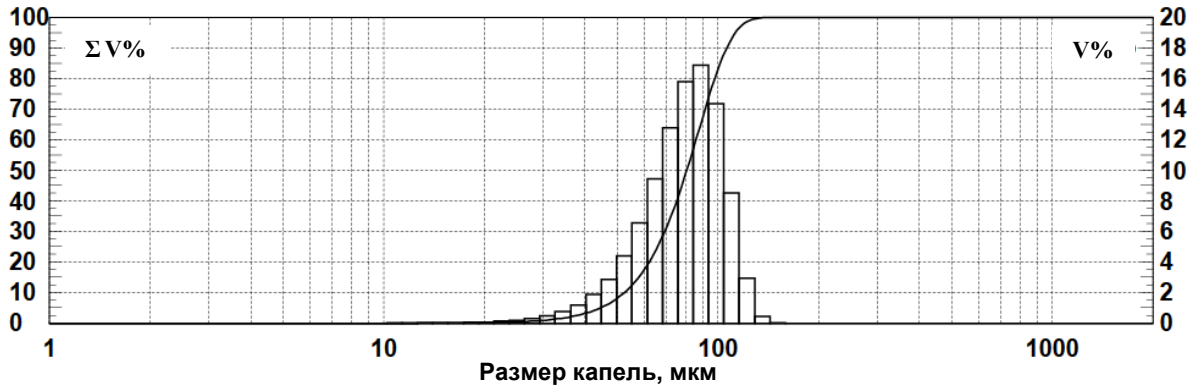
⁹ Относительный разброс указывает на равномерность распределения капель по размерам. Чем меньше относительный разброс, тем более однородны размеры капель.

¹⁰ Соотношение $N50/V50$ характеризует полидисперсность, т.е. ширину распределения капель по размерам. $N50$ очень чувствителен к мелким каплям, а $V50$ – к крупным. Если $N50 \approx V50$ (отношение близко к 1), то система монодисперсная и все частицы примерно одинакового размера. Если $N50 \ll V50$ (отношение значительно меньше 1), то система полидисперсная и в образце много мелких капель, но основной объем занимают крупные.

Результаты анализа

V10 = 52,304 мкм V50 = 80,579 мкм V90 = 106,661 мкм VAD = 79,901 мкм
 N10 = 15,707 мкм N50 = 49,902 мкм N90 = 86,303 мкм NAD = 50,666 мкм
 R.S. = 0,675 N50/V50 = 0,619 SMD = 73,201

(V: кумулятивное распределение по объему, N: кумулятивное распределение по количеству)



d (мкм)	V%	Σ V%	d (мкм)	V%	Σ V%	d (мкм)	V%	Σ V%
1,111	0,000	0,000	6,017	0,000	0,001	32,582	0,475	1,284
1,235	0,000	0,000	6,687	0,000	0,001	36,209	0,750	2,035
1,373	0,000	0,000	7,432	0,001	0,002	40,241	1,182	3,216
1,525	0,000	0,000	8,259	0,001	0,003	44,721	1,850	5,066
1,695	0,000	0,000	9,179	0,002	0,005	49,701	2,870	7,936
1,884	0,000	0,000	10,201	0,003	0,008	55,234	4,386	12,322
2,094	0,000	0,000	11,337	0,005	0,012	61,384	6,549	18,872
2,327	0,000	0,000	12,599	0,007	0,020	61,384	9,424	28,295
2,586	0,000	0,000	14,002	0,012	0,032	75,815	12,785	41,080
2,874	0,000	0,000	15,561	0,019	0,050	84,256	15,804	56,884
3,194	0,000	0,000	17,294	0,030	0,080	93,637	16,877	73,761
3,550	0,000	0,000	19,219	0,047	0,127	104,063	14,329	88,090
3,945	0,000	0,000	21,359	0,075	0,202	115,649	8,518	96,609
4,384	0,000	0,000	23,737	0,119	0,321	128,526	2,931	99,540
4,872	0,000	0,000	26,380	0,189	0,510	142,836	0,441	99,981
5,415	0,000	0,000	29,317	0,300	0,809	158,740	0,019	100,000

V10, V50, V90 и VAD – процентиля (10, 50, 90 %) и значение среднеобъемного диаметра капель D[4,3];
 N10, N50, N90 и NAD – процентиля (10, 50, 90 %) и значение среднеарифметического диаметра капель D[1,0];
 SMD – средневзвешенный на площадь поверхности диаметр D[3,2];
 R.S. – относительный разброс капель (см. (4))

Рисунок 3. – Часть протокола испытаний анализатора частиц Winner319 при рабочем давлении 0,7 МПа

Исследования проводились с использованием разработанного пленкообразующего огнетушащего состава V3 [1] и трех его аналогов: ПО-6РТС (Россия), ПО-6РТФ (Россия), барьер-пленкообразующего 3 НС (Беларусь). Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 4 (здесь зеленым цветом отмечена область давления перед оросителем, при котором размер 90 % диспергируемых капель меньше 150 мкм).

Из рисунка видно, что размер капель разработанного пленкообразующего огнетушащего состава V3 при подаче его через ороситель тонкораспыленной воды «Бриз9/К16» снижается по мере повышения давления. При этом для образования факела распыла с размером капель менее 150 мкм давление перед оросителем должно быть от 0,6 до 1,0 МПа, что соответствует его рабочим характеристикам. В соответствии с NFPA 750 данная установка пожаротушения тонкораспыленной водой будет являться установкой низкого давления (менее 1,21 МПа).

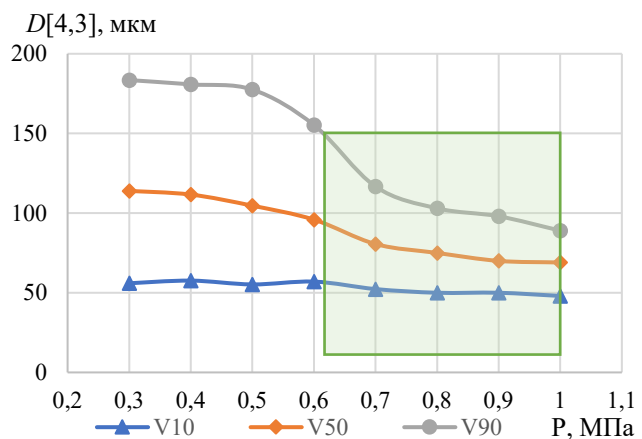


Рисунок 4. – Зависимости среднеобъемного диаметра капель D[4,3] процентилей V10, V50 и V90 от давления перед оросителем

Проведение натуральных испытаний и их результаты. С целью возможности сопоставления результатов лабораторных и натуральных испытаний интенсивность орошения принята как при лабораторных исследованиях – $0,059 \pm 0,002 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ [1]. Согласно паспортным данным средняя интенсивность орошения оросителя «Бриз9/К16» составляет примерно $0,055 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ при давлении 0,6 МПа (табл. 1). Для обеспечения принятой интенсивности орошения $0,059 \pm 0,002 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ экспериментально установлено, что давление перед оросителем необходимо увеличить с 0,6 до 0,8 МПа. После определения необходимого минимального рабочего давления перед оросителем были проведены натурные испытания в соответствии с методикой, изложенной в работах [5; 6]. В таблице 3 представлены исследованные огнетушащие составы, фактическая интенсивность орошения, время тушения модельного очага пожара подкласса В1, а также наличие повторного воспламенения очага. Очередность испытания огнетушащих составов была установлена случайным образом. Для каждого огнетушащего состава проведено три натуральных испытания.

Таблица 3. – Результаты натуральных испытаний огнетушащих составов

Наименование состава	ПО-6РТС	ПО-6РТФ	Барьер-пленкообразующий ЗНС	Огнетушащая композиция V3 [1]
Производитель	Российская Федерация	Российская Федерация	ООО «Сплендор», Республика Беларусь	УГЗ*, Республика Беларусь
Рабочая концентрация, %	6	6	3	6
Интенсивность орошения, л/(с·м²)	0,061	0,059	0,060	0,059
Время тушения, с	136±9	91±8	73±5	45±4
Повторное воспламенение	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует

Примечание. * Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Процесс тушения модельного очага пожара исследуемыми составами фиксировался с помощью видеокamеры и представлен в виде интервальной раскладки по 30 с на рисунке 5.



Рисунок 5. – Раскладка тушения модельного очага пожара различными огнетушащими составами

Согласно проведенным натурным испытаниям наименьшее время тушения модельного очага пожара 45 ± 4 с достигнуто при использовании огнетушащей композиции V3. При использовании пенообразователя «Барьер-пленкообразующий ЗНС» очаг пожара был потушен за 73 ± 5 с, а ПО-6РТФ за 91 ± 8 с, что на 38 и 51 % соответственно дольше по сравнению с огнетушащей композицией V3. Наибольшее время тушения модельного очага пожара составило 136 ± 12 с при применении ПО-6РТС.

Средняя температура на высоте 0,7 м над очагом пожара в процессе тушения модельного очага пожара фиксировалась с помощью термопары. Полученные результаты представлены на рисунке 6.

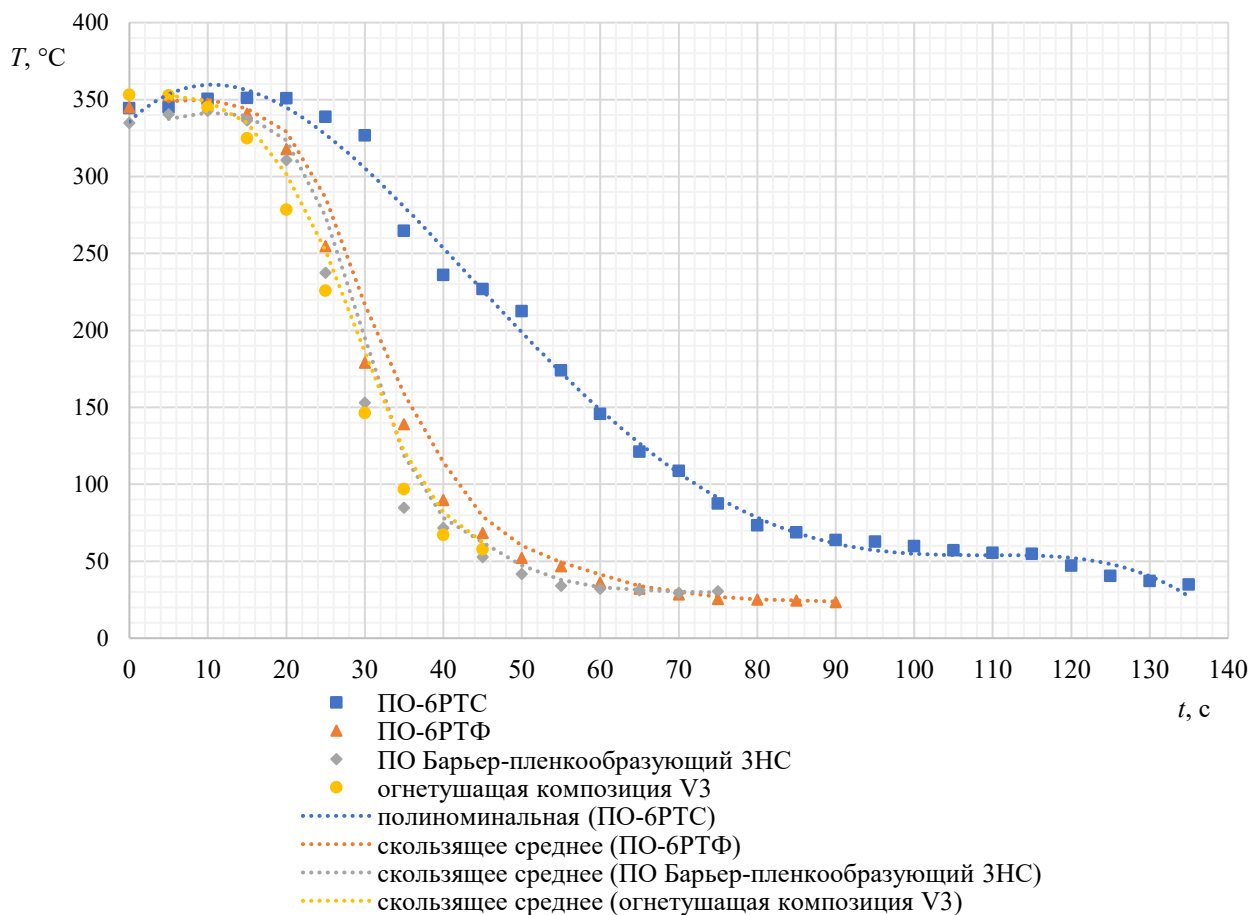


Рисунок 6. – Изменение температуры на высоте 0,7 м над очагом пожара в процессе тушения

Здесь видно, что температура над очагом пожара в процессе тушения пленкообразующими огнетушащими составами (кроме ПО-6РТС) изменяется практически идентично, т.е. исследуемые композиции одинаково хорошо справляются с охлаждением зоны горения. Тем не менее фактическое время ликвидации горения модельного очага пожара заметно отличаются (табл. 4). В частности, разработанный пленкообразующий огнетушащий состав V3 в сравнении с остальными огнетушащими составами позволяет сократить время тушения при одинаковой интенсивности орошения защищаемой зоны, что свидетельствует о его более высокой огнетушащей эффективности.

Заключение

Разработана методика эксперимента и определено влияние рабочего давления перед розеточным оросителем тонкораспыленной воды «Бриз9/К16» на размер капель в факеле распыла. Установлено, что применение ранее разработанного пленкообразующего огнетушащего состава V3 (с оптимизированным по времени тушения соотношением компонентов) позволяет получить диаметр капель размером менее 150 мкм при давлении перед оросителем от 0,6 до 1,0 МПа.

Проведены натурные испытания четырех огнетушащих составов: огнетушащей композиции V3, ПО-6РТС (Россия), ПО-6РТФ (Россия), барьер-пленкообразующего ЗНС (Бела-

реть). В результате натурных испытаний установлено, что применение разработанной огнетушащей композиции V3 снижает время тушения модельного очага пожара подкласса В1 не менее чем на 38 % по сравнению с остальными огнетушащими составами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, И.Ю. Пленкообразующий огнетушащий химический состав для автоматических установок пожаротушения, подаваемый методом распыления / И.Ю. Иванов, О.Д. Навроцкий // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2025. – Т. 9, № 2. – С. 167–183. – DOI: 10.33408/2519-237X.2025.9-2.167. – EDN: DHEWVG.
2. Горовых, О.Г. Проблемные вопросы определения дисперсности капель водных огнетушащих веществ / О.Г. Горовых, И.А. Шмулевцов, С.В. Бобрышева // Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса в АПК: доклады Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию со дня образования БГАТУ и 100-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора В.П. Суслова, Минск, 15–18 апреля 2009 г.: в 2 ч. – Мн.: БГАТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 118–122.
3. Jennings, B.R. Particle size measurement: the equivalent spherical diameter / B.R. Jennings, K. Parslow // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. – 1988. – Vol. 419, No. 1856. – P. 137–149. – DOI: 10.1098/rspa.1988.0100.
4. Роул, А. Основные принципы анализа размеров частиц: техническая аннотация / А. Роул. – Malvern Instruments Limited. 2009. – URL: <https://pel.spb.ru/articles/osnovnie-principi-analisa-razmerov-chastic/> (дата обращения: 11.12.2025).
5. Камлюк, А.Н. Экспериментальное определение эффективности тушения пожара класса В пеной низкой кратности, генерируемой розеточными оросителями / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов, А.В. Грачулин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 251–264. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.251. – EDN: EPIYWF.
6. Камлюк, А.Н. Комплексная методология оценки эффективности пожаротушения с помощью пены, основанная на качестве пожаротушения и экономической целесообразности / А.Н. Камлюк // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2026. – Т. 10, № 1. – С. 87–106. – DOI: 10.33408/2519-237X.2026.10-1.87. – EDN: IUDJGC.

**Натурные испытания огнетушащих составов, подаваемых на тушение
путем мелкодисперсного распыления**

Field tests of fire extinguishing compositions delivered for extinguishing by fine spraying

Иванов Игорь Юрьевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: igor.ivanovwork8@gmail.com
SPIN-код: 3880-5485

Igor Yu. Ivanov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: igor.ivanovwork8@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1072-2432

Навроцкий Олег Дмитриевич

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
SPIN-код: 4031-1141

Oleg D. Navrotsky

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4137-2519

Лихоманов Алексей Олегович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: alexlikh20@gmail.com
SPIN-код: 1837-8150

Aleksey O. Likhomanov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: alexlikh20@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9374-1486
ScopusID: 57210911673

Гараев Юрий Владимирович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности,
преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: y.garaev@icloud.com
SPIN-код: 8162-6836

Yuriy V. Garaev

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: y.garaev@icloud.com
ORCID: 0000-0002-4980-2712

FIELD TESTS OF FIRE EXTINGUISHING COMPOSITIONS DELIVERED FOR EXTINGUISHING BY FINE SPRAYING

Ivanov I.Yu., Navrotskiy O.D., Likhomanov A.O., Garaev Yu.V.

Purpose. To develop an experimental methodology and study the effect of the operating pressure before a finely atomized water spray nozzle on the droplet size in the spray cone using the previously developed film-forming fire extinguishing agent V3. To conduct field tests to determine the extinguishing time of a model fire of a water-insoluble flammable liquid using the developed film-forming fire extinguishing agent and commercially available analogs.

Methods. Droplet size in the flow was measured instrumentally using a Winner 319 industrial aerosol particle size analyzer, which operates using laser diffraction. Extinguishing times for fire extinguishing agents were determined experimentally, and the experimental data were processed using the uncertainty estimation and expression method.

Findings. A method for measuring the droplet size of water-based fire extinguishing agents applied by spraying has been developed. Droplet sizes of the previously developed film-forming fire extinguishing agent V3 (with a component ratio optimized for extinguishing time) were measured when applied through a Briz9/K16 fine-mist sprinkler. It was found that to form a spray cone with droplet diameters smaller than 150 µm using the specified Briz9/K16 sprinkler, the V3 film-forming fire extinguishing agent must be supplied under an operating pressure of 0.6 to 1.0 MPa. Field tests were conducted on extinguishing a model Subclass B1 fire using four fire extinguishing agents: the V3 fire extinguishing composition, PO-6RTS (Russia), PO-6RTF (Russia), and the film-forming barrier 3 NS (Belarus). The use of the developed V3 fire extinguishing composition was found to reduce the extinguishing time of a model Subclass B1 fire by at least 38 % compared to similar products.

Application field of research. The developed methodology for studying the physical parameters of dispersed droplets from a deflector sprinkler of finely atomized water can be applied in the development of domestic regulatory legal acts for studying the parameters of the spray torch of deflector sprinklers used in automatic fire extinguishing systems.

Keywords: sprinkler, droplet size, extinguishing efficiency, extinguishing time, automatic fire extinguishing system, field tests.

(The date of submitting: January 28, 2026)

REFERENCES

1. Ivanov I.Yu., Navrotskiy O.D. Plenkoobrazuyushchiy ognetchashchiy khimicheskiy sostav dlya avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya, podavaemyy metodom raspyleniya [Film-forming fire extinguishing chemical composition for automatic fire extinguishing systems, supplied by spraying]. *Journal of Civil Protection*, 2025. Vol. 9, No. 2. Pp. 167–183. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2025.9-2.167. EDN: DHEWVG.
2. Gorovykh O.G., Shmulevtsov I.A., Bobrysheva S.V. Problemnye voprosy opredeleniya dispersnosti kapel' vodnykh ognetchashchikh veshchestv [Problematic issues of determining the dispersion of droplets of water fire extinguishing agents]. *Proc. of Intern. scientific-practical conf. dedicated to the 55th anniversary of the founding of BSATU and the 100th anniversary of the birth of Grand PhD in technical sciences, professor V.P. Suslov «Opyt, problemy i perspektivy razvitiya tekhnicheskogo servisa v APK»*. In 2 parts. Minsk: Belarusian State Agrarian Technical University, 2009. Part 2. Pp. 118–122. (rus)
3. Jennings B.R., Parslow K. Particle size measurement: the equivalent spherical diameter. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1988. Vol. 419, No. 1856. Pp. 137–149. DOI: 10.1098/rspa.1988.0100.
4. Rawle A. *Basic of principles of particle-size analysis: technical note*. Malvern Instruments Limited, 2009. (rus). URL: <https://pel.spb.ru/articles/osnovnie-principi-analisa-razmerov-chastice/> (date of access: December 11, 2025).
5. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. Eksperimental'noe opredelenie effektivnosti tusheniya pozhara klassa B penoy nizkoy kratnosti, generiruemoy rozetochnymi orositelyami [Experimental determination of the Class B fire extinguishing efficiency using low-expansion foam generated by deflector type sprinklers]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 3. Pp. 251–264. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.251. EDN: EPIYWF.

6. Kamlyuk A.N. Kompleksnaya metodologiya otsenki effektivnosti pozharotusheniya s pomoshch'yu peny, osnovannaya na kachestve pozharotusheniya i ekonomicheskoy tselesoobraznosti [A comprehensive methodology for assessing the effectiveness of fire suppression with foam based on the quality of fire suppression and economic feasibility]. *Journal of Civil Protection*, 2026. Vol. 10, No. 1. Pp. 87–106. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2026.10-1.87. EDN: IUDJGC.

Copyright © 2026 Ivanov I.Yu., Navrotskiy O.D., Likhomanov A.O., Garaev Yu.V.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.