

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНОЙ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ, ФОРМИРУЕМОЙ ГЕНЕРАТОРАМИ ПЕНЫ

Камлюк А.Н., Морозов А.А., Пивоваров А.В.

*Цель.* Разработать методики и провести натурные испытания генераторов пены, на основании результатов которых выполнить сравнение эффективности тушения пеной, формируемой каждым из них.

*Методы.* Оценка эффективности тушения пеной, формируемой генераторами пены, выполнялась экспериментальным путем, а обработка полученных экспериментальных данных выполнялась с использованием метода оценивания и выражения неопределенности измерений.

*Результаты.* Разработаны методики натурных испытаний по определению эффективности тушения пеной, формируемой генераторами пены. Проведены натурные испытания трех генераторов пены, применяемых в Республике Беларусь: ствола воздушно-пенного (далее – СВП), пожарного ствола СРК-50 с присоединенным водопенным насадком (далее – НВП-11/0,6 У1) и пожарного ствола СПРУК 50/0,7 с присоединенным воздушно-пенным насадком (далее – ВПН СПРУК 50/0,7). Для сравнения эффективности тушения пеной применен показатель эффективности тушения  $E_t$ , учитывающий время тушения модельного очага пожара и расход огнетушащего вещества. В результате натурных испытаний установлено, что пена, генерируемая ВПН СПРУК 50/0,7, обладает в 7,5 и 10 раз большей огнетушащей эффективностью по сравнению со стволом СВП и в 8,8 и 1,2 раза по сравнению с НВП-11/0,6 У1 при тушении модельного очага пожара классов А и В соответственно, а НВП-11/0,6 У1 при тушении модельного очага пожара класса В имеет более высокую (не менее чем в 9 раз) огнетушащую эффективность по сравнению с СВП.

*Область применения исследований.* Разработанные методики натурных испытаний по определению эффективности тушения пеной, формируемой генераторами пены, могут быть применены при разработке и модернизации отечественных ТНПА в данной области, а также для исследования иных генераторов пены в условиях, приближенных к реальному пожару.

*Ключевые слова:* генератор пены, кратность пены, воздушно-пенный насадок, тушение пеной, эффективность тушения, время тушения, расход огнетушащего вещества.

(Поступила в редакцию 5 сентября 2023 г.)

### Введение

Воздушно-механические пены представляют собой дисперсные системы, состоящие из пузырьков воздуха, окруженных пленками жидкости. Для их получения используют специальные устройства (генераторы пены) и растворы воды с пенообразователями (ПО) на основе поверхностно-активных веществ. Различают воздушно-механические пены низкой кратности (до 20), средней кратности (20–200) и высокой кратности (более 200) [1]. Воздушно-механические пены широко используются при тушении пожаров класса А (твердые вещества) и класса В (жидкие вещества). Пены низкой кратности получили более широкое распространение в сравнении с пенами средней и высокой кратности [2]. К достоинствам пен низкой кратности следует отнести:

- сокращение расхода воды на пожаротушение (наличие воздуха в составе пены увеличивает общий объем огнетушащего вещества (ОТВ));
- возможность тушения пожаров на больших площадях (пена растекается по поверхности горючего материала);
- повышенная в сравнении с водой смачивающая способность (наличие в составе ПО);

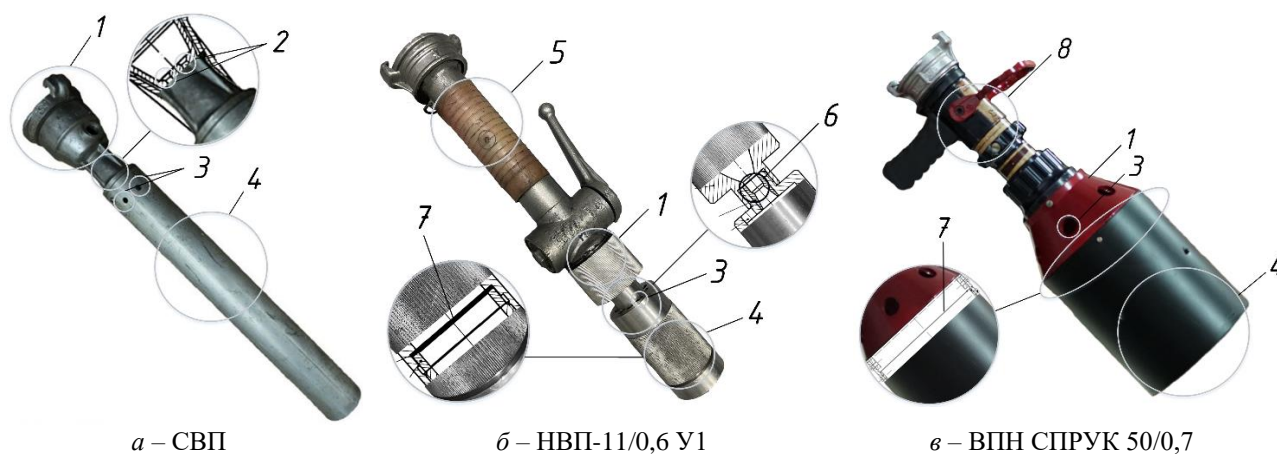
– увеличенная по сравнению с пенами средней и высокой кратности дальность полета пенной струи;

– возможность тушения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

Одним из наиболее распространенных и недорогостоящих способов получения воздушно-механической пены низкой кратности является использование воздушно-пенных стволов (например, СВП), а также применение совместно с ручными пожарными стволами воздушно-пенных насадков (например, НВП-11/0,6 У1 и ВПН СПРУК 50/0,7).

### Основная часть

**Обзор применяемых в Республике Беларусь генераторов пены.** В Республике Беларусь для получения воздушно-механической пены применяются ствол СВП<sup>1</sup>, а также разработанные в Университете гражданской защиты водопенный насадок НВП-11/0,6 У1 для пожарного ствола СРК-50 [3–8] и воздушно-пенный насадок для пожарного ствола СПРУК 50/0,7 [9–13] (рис. 1). Их тактико-технические характеристики представлены в таблице 1.



а – СВП

б – НВП-11/0,6 У1

в – ВПН СПРУК 50/0,7

1 – основание; 2 – впускные отверстия СВП; 3 – аэрационные отверстия; 4 – корпус;  
5 – ручной пожарный ствол СРК-50; 6 – сопло НВП-11/0,6 У1; 7 – пеногенерирующая сетка; 8 – ручной пожарный ствол СПРУК 50/0,7

**Рисунок 1. – Генераторы пены низкой кратности**

**Таблица 1. – Тактико-технические характеристики генераторов пены низкой кратности**

Наименование показателя	СВП	НВП-11/0,6 У1	ВПН СПРУК 50/0,7
Рабочее давление, кПа	600	400	700
Производительность по пене, л/с	48,0	24,4	46
Расход рабочего раствора ПО при рабочем давлении, л/с	6,0	2,1	2,3
Кратность генерируемой пены	8	12	20
Дальность полета струи пены при рабочем давлении, м	28,0	14,3	19,0

Кратко остановимся на каждом из представленных генераторов пены.

Ствол СВП представляет собой водоструйный аппарат (рис. 1а). Поток водного раствора ПО по рукавной линии подводится к основанию, которое выполнено коническим с целью увеличения скорости потока. Во внутренней передней стенке основания имеются отверстия, геометрическая форма которых выполнена для придания выходящим из них струям турбулентности, с целью улучшения их дальнейшего распыла. Выходя из отверстий

<sup>1</sup> Стволы СВП, СВПЭ-2, СВПЭ-4, СВПЭ-8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/stvoly-svp-4-svp-8-ttx-iz-chego-sostoit-rasxod-vody-rasxod-penoobrazovatelya-ploshhad-tusheniya-proizvoditelnost/>. – Дата доступа: 17.08.2023.

основания, струи, расширяясь, создают разрежение (вакуум), под действием которого происходит их распыление. Одновременно в аэрационные отверстия, расположенные равномерно по поверхности корпуса, эжектируется воздух. В полости корпуса происходит дальнейшее раздробление распыленных капель водного раствора ПО в результате соударений их между собой и ударов о поверхность стенок самого корпуса, а также происходит смешивание с воздухом и образование пузырьков воздушно-механической пены с кратностью  $K = 8$ .

Водопенный насадок НВП-11/0,6 У1 (рис. 1б) используется совместно с ручным пожарным стволом СРК-50. Из пожарного ствола раствор воды и ПО поступает во внутреннее сечение основания насадка. При последовательном прохождении через внутренние сечения основания, сопла и корпуса (проточный тракт) обеспечивается кавитационный режим течения раствора воды и ПО. Через аэрационные отверстия корпуса осуществляется эжекция воздуха из окружающей среды в поток раствора воды и ПО. Дальнейшее прохождение насыщенного воздухом потока раствора воды и ПО через сетку обеспечивает генерирование однородной мелкодисперсной пены низкой кратности со значением кратности  $K = 12$ .

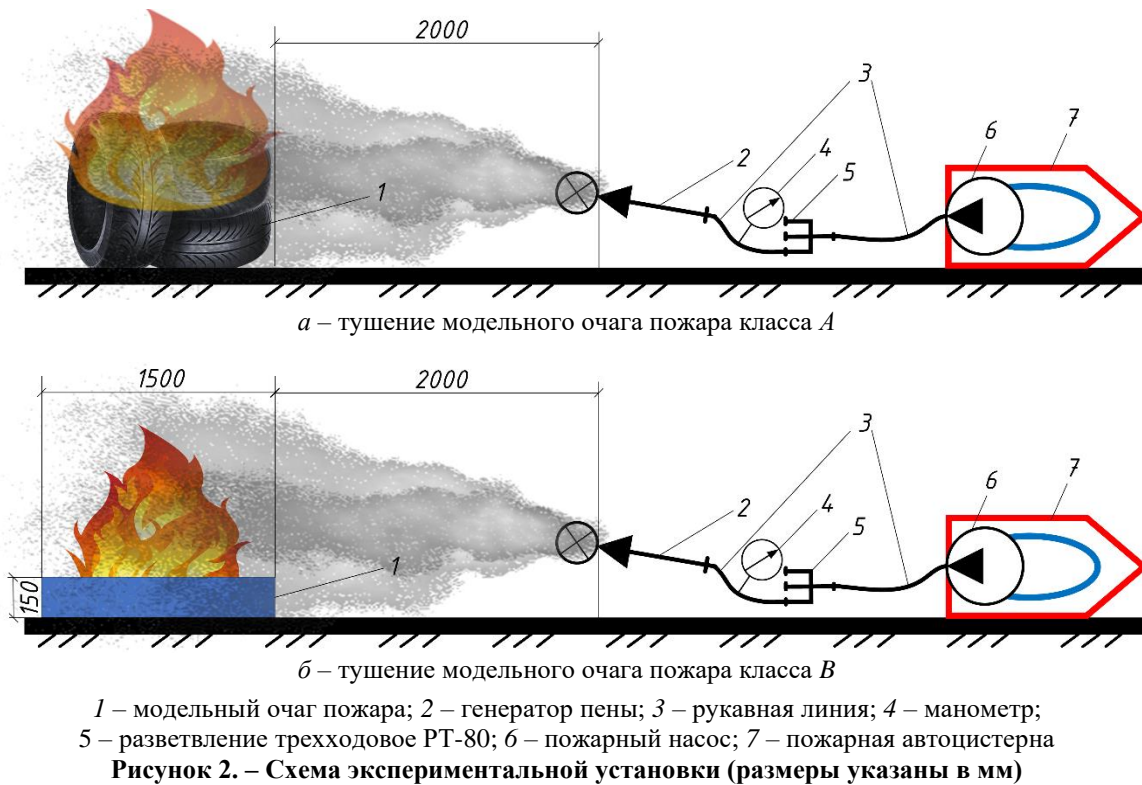
ВПН СПРУК 50/0,7 используется совместно с ручным пожарным стволом СПРУК 50/0,7. Из сопла пожарного ствола раствор воды и ПО поступает внутрь основания и корпуса насадка в виде распыленной струи. Через аэрационные отверстия основания осуществляется эжекция воздуха из окружающей среды в поток раствора. Дальнейшее прохождение насыщенного воздухом потока раствора через сетку обеспечивает генерирование пены низкой кратности с повышенными значениями кратности  $K = 20$ .

Из представленного описания следует, что все три устройства имеют некоторые сходства и различия. Основным принципом, используемым в каждом из генераторов пены, является эжектирование воздуха выходящим потоком огнетушащего вещества. С одной стороны, в СВП не используется сетка, по сравнению с двумя насадками. Это позволяет повышать дальность полета струи пены до 28 м при рабочем давлении, но, с другой стороны, кратность получаемой пены не превышает 8. Насадки НВП-11/0,6 У1 и ВПН СПРУК 50/0,7 отличаются друг от друга рабочим давлением, которое позволяет последнему генерировать пену кратностью до 20.

Тактико-технические характеристики представленных генераторов пены изучены достаточно хорошо, однако отсутствует информация об эффективности тушения пожара пеной, генерируемой при их использовании. В связи с этим проведены натурные испытания в модельных условиях, приближенных к реальному пожару. Для этого разработаны методики натурных испытаний и оценки эффективности тушения пеной, формируемой исследуемыми генераторами, в основу которых легли методики, представленные в работах [14; 15].

**Методики проведения натурных испытаний и оценки эффективности тушения пеной, формируемой генераторами пены.** Основная идея разработанных методик состоит в том, что все параметры испытаний (величина модельного очага пожара, расположение в пространстве генераторов пены, применяемое горючее вещество (топливо), вид и тип пенообразователя) остаются постоянными, а изменяется только лишь применяемый генератор пены. Данный подход позволяет исключить влияние факторов, не являющихся целью исследований, и позволяет сосредоточиться только на эксплуатационных характеристиках самого генератора пены. При этом для учета изменения интенсивности подачи пены далее введен показатель эффективности тушения  $E_t$ .

Для определения огнетушащей эффективности генераторов пены проведены сравнительные исследования эффективности тушения модельного очага пожара классов А и В. Для проведения экспериментальных исследований применялась установка, схема которой представлена на рисунке 2.



При выполнении исследований применяли экспериментальное оборудование в соответствии с таблицей 2.

**Таблица 2.** – Экспериментальное оборудование

Наименование оборудования	Характеристика
Пожарный насос НЦПН 40/100, расположенный на автоцистерне	максимальное давление 1500 кПа, номинальная производительность 40 л/с
Рукав пожарный напорный	длина – $20 \pm 1$ м; внутренний диаметр – 77 мм в количестве 1 шт. (для прокладки рукавной линии до разветвления); длина – $20 \pm 1$ м; внутренний диаметр – 66 мм в количестве до 1 шт. (для подключения СВП); длина – $20 \pm 1$ м; внутренний диаметр – 51 мм в количестве 1 шт. (для подключения НВП-11/0,6 У1 и ВПН СПРУК 50/0,7)
Разветвление трехходовое РТ-80	условный проход выходных патрубков: центрального – 77 мм, боковых – 51 мм
Автомобильные покрышки для создания модельного очага пожара класса <i>A</i>	внешний диаметр – $0,803 \pm 0,01$ м; ширина – $0,265 \pm 0,01$ м; масса – $20,5 \pm 0,1$ кг
Противень для создания модельного очага пожара класса <i>B</i>	длина – $1,5 \pm 0,001$ м; ширина – $1 \pm 0,001$ м; высота – $0,15 \pm 0,001$ м

Помимо экспериментального оборудования (табл. 2) для исследования использовали средства измерения, приведенные в таблице 3.

Таблица 3. – Средства измерений

Наименование	Диапазон измерений	Цена деления	Погрешность
Мерная емкость	0–2 л	0,005 л	$\pm 0,003$ л
Секундомер <i>Electronika RI-01</i>	0 ч 00 мин 00 с – 9 ч 59 мин 59,99 с	0,01 с	$\pm (9,6 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{изм. нач}} + 0,01 \text{ с})$
Манометр <i>МВПЗ-УМ-1,5-М20×1,5</i>	0–1000 кПа	5 кПа	$\pm 0,15 \%$ ( $\pm 1,5$ кПа)
Дальномер лазерный <i>GLM 80</i>	0,05–80 м 0–360°	1 мм; 0,05°	$\pm 0,01$ м; $\pm 0,2^\circ$ ;
Весы электронные серии <i>BVA211-5BA30</i> ( <i>Mettler-Toledo</i> )	0,2–30 кг	5 г	от 0,2 до 5 кг – $\pm 5$ г св. 5 до 20 кг – $\pm 10$ г св. 20 до 30 кг – $\pm 15$ г

*Примечание.* Средства измерений внесены в государственный реестр средств измерений Республики Беларусь<sup>2</sup> и на период проведения исследований имели действующие аттестаты, свидетельства о поверке и (или) калибровке. Условия проведения исследований соответствовали условиям эксплуатации измерительного оборудования.

Испытуемый генератор пены 2 удерживался в горизонтальном положении на высоте  $1,0 \pm 0,2$  м от земли и на расстоянии  $2,00 \pm 0,01$  м от модельного очага пожара 1 (измерялось с помощью лазерного дальномера). Данное расстояние измерялось от ближнего края борта противня (крайней покрышки в штабеле), примененного в качестве модельного очага пожара 1, до выходного сечения генератора пены 2 (рис. 2).

Для измерения давления жидкости во входном сечении генератора пены между рукавной линией 3 и разветвлением трехходовым 5 монтировался манометр 4. Гидравлические потери на участке рукавной линии 3 между генератором пены 2 и манометром 4 незначительны, и ими можно пренебречь. При испытаниях устанавливалось рабочее давление каждого генератора пены по показаниям манометра 4.

Для генерирования пены использовался рабочий 6 %-й раствор синтетического пенообразователя общего назначения Синтек-6НС. Раствор пенообразователя подводился к генератору пены по рукавной линии 3 от пожарной автоцистерны. Для видеофиксации процесса проведения испытаний видеочамера (Panasonic HC-X1000, разрешение видеосъемки  $1920 \times 1080$  пикселей) устанавливалась на расстоянии  $4,00 \pm 0,01$  м от модельного очага пожара и  $1,50 \pm 0,01$  м от земли.

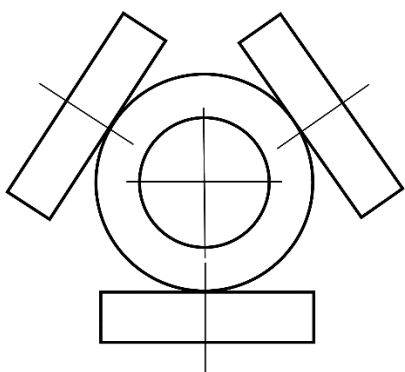


Рисунок 3. – Схема расположения автомобильных покрышек в условном очаге пожара (вид сверху)

Проведение испытаний начиналось с подготовки модельного очага пожара класса А. В качестве модельного очага пожара использовали штабель, состоящий из автомобильных покрышек 265/70R17 (внешний диаметр  $0,803 \pm 0,01$  м, ширина  $0,265 \pm 0,01$  м, масса  $20,5 \pm 0,1$  кг) в количестве 4 шт., при этом общая масса горючего материала составила около  $82,0 \pm 0,1$  кг. В центре штабеля располагали одну покрышку и дополнительно к ней приставляли по периметру еще 3 шт. (рис. 3).

В качестве модельного очага пожара класса В использовали прямоугольный противень, изготовленный из стали марки Ст.3 с номинальными размерами  $1500 \times 1000 \pm 1$  мм, высотой борта  $150 \pm 1$  мм и толщиной стенок  $2,0 \pm 0,2$  мм. В данный противень с помощью мерной емкости заливалось  $150,0 \pm 0,1$  л воды и сверху  $9,0 \pm 0,1$  л топлива. В качестве топлива применялась смесь углеводородов с температурой кипения в пределах  $80\text{--}120$  °С (гептан и изомеры – 71,0 %, метилциклогексан – 14,0 %, циклогексан –

<sup>2</sup> Государственный реестр средств измерений (стандартных образцов) Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.oei.by/grsi?GrsiSearch\[grsi\\_status\]=1](http://www.oei.by/grsi?GrsiSearch[grsi_status]=1). – Дата доступа: 11.08.2023.

8,0 %, другие – 7,0 %). Не позднее  $300 \pm 15$  с после наполнения противня топливо в нем поджигалось. Затем выдерживалось время свободного горения топлива: для модельного очага пожара класса *A* –  $t_{св.г} = 120 \pm 1$  с; для модельного очага пожара класса *B* –  $t_{св.г} = 30 \pm 1$  с.

После истечения времени свободного горения для каждого очага пожара запускался пожарный насос *б* и по рукавной линии *з* рабочий раствор пенообразователя подавался через генератор пены *2* на тушение модельного очага пожара *1*. После фиксации установившихся показаний манометра струю пены направляли на модельный очаг так, чтобы пена попадала в его центр. В процессе тушения с помощью секундомера фиксировалось время от начала подачи раствора до полного прекращения горения. Продолжительность тушения ограничивалась временем  $t_{max} = 600 \pm 1$  с для модельного очага пожара класса *A* и  $t_{max} = 240 \pm 1$  с для модельного очага пожара класса *B*, которое также определено заранее при предварительных экспериментах и соответствует моменту самопроизвольного затухания модельного очага пожара. Если тушение модельного очага пожара не наступало за данный промежуток времени, то испытание прекращалось.

Далее путем наблюдения определялось время повторного воспламенения модельного очага пожара в течение 10 мин, результат фиксировался. Оставшееся после испытания топливо вместе с водой сливалось в отдельную емкость, а сгоревшие шины удалялись. Несгоревшее топливо и шины при дальнейшем проведении испытаний не применялись.

По такому же алгоритму проводилось не менее трех испытаний для каждого генератора пены при тушении модельных очагов пожара классов *A* и *B*. За результат испытаний принималось среднее арифметическое результатов успешных определений времени тушения. Расхождение между результатами испытаний с доверительной вероятностью 0,95 допускалось не более 20 % от среднего значения.

Испытания проводились при следующих параметрах окружающей среды: температура 25,5–26,6 °С, влажность 65,0–74,0 %, скорость воздушного потока менее 3 м/с, атмосферное давление 746 мм рт. ст. Процесс тушения модельного очага пожара генераторами пены фиксировался с помощью видеокамеры (рис. 4, 5).

После проведения натуральных испытаний генераторов пены определялась поверхностная интенсивность подачи раствора пенообразователя  $I_{по}$  (л / (с · м<sup>2</sup>)) с помощью выражения:

$$I_{по} = Q/S_3, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход раствора пенообразователя, л/с;  $S_3$  – площадь модельного очага пожара, м<sup>2</sup> (для модельного очага пожара класса *A* площадь  $S_3 = 2$  м<sup>2</sup>, класса *B* –  $S_3 = 1,5$  м<sup>2</sup>).

Для количественной оценки огнетушащей эффективности пены, формируемой генераторами пены, рассчитывался показатель эффективности тушения  $E_t$  [15; 16]. Он объединяет два главных параметра тушения – удельный расход раствора пенообразователя  $V_{по}$  (л/м<sup>2</sup>) и время тушения  $t_{туш}$  (с). Показатель  $E_t$  позволяет оценить, какую площадь можно потушить 1 л раствора пенообразователя за единицу времени. Чем выше абсолютное значение показателя  $E_t$ , тем выше огнетушащий эффект. Показатель  $E_t$  (м<sup>2</sup> / (л · мин)) рассчитывается по следующей формуле:

$$E_t = (V_{по} \cdot t_{туш})^{-1}. \quad (2)$$

Так как  $V_{по} = I_{по} \cdot t_{туш}$ , то показатель эффективности тушения можно записать в следующем виде:

$$E_t = (I_{по} \cdot t_{туш}^2)^{-1}. \quad (2)$$

**Результаты натуральных испытаний.** В таблице 4 представлены результаты натуральных испытаний по описанным выше методикам. Поскольку генераторы пены имеют раз-

личный удельный расход ОТВ, для их сравнения рассчитан показатель эффективности тушения  $E_t$ , который также представлен в таблице 4.

**Таблица 4. – Результаты натуральных испытаний**

Модель	СВП	НВП-11/0,6 У1	ВПН СПРУК 50/0,7
Расход раствора ПО, л/мин	360	123	138
Время тушения $t_{\text{туш}}$ модельного очага пожара, с:			
класса А	12	22	7
класса В	14	8	7
Повторное воспламенение	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Показатель $E_t$ при тушении модельного очага пожара, $\text{м}^2 / (\text{л} \cdot \text{мин}) \cdot 10^2$ :			
класса А	13,89	12,09	106,48
класса В	7,65	68,6	79,86

Согласно проведенным натурным испытаниям лучший результат по тушению модельного очага пожара класса А (время тушения модельного очага пожара 7 с) показал насадок ВПН СПРУК 50/0,7. При использовании ствола СВП тушение было достигнуто за 12 с, а насадка НВП-11/0,6 У1 за 22 с, что на 71,4 % и 217,3 % соответственно дольше по сравнению с насадком ВПН СПРУК 50/0,7. При тушении модельного очага пожара класса В лучшее время 7 с также показал насадок ВПН СПРУК 50/0,7, а генераторы пены СВП и НВП-11/0,6 У1 потушили модельный очаг пожара за 14 с и 8 с соответственно, что на 100 % и 14,3 % дольше по сравнению с насадком ВПН СПРУК 50/0,7.

Конечно же, для оценки эффективности тушения нужно учитывать и расход раствора ПО. При этом совершенно очевидно, что для пенообразователей общего назначения одним из определяющих факторов успешного тушения пожара является кратность генерируемой из него пены: чем она выше, тем быстрее достигается огнетушащий эффект [14; 17; 18]. Так, насадок ВПН СПРУК 50/0,7 обладает наиболее высокой кратностью по сравнению с двумя другими испытуемыми генераторами пены (больше, чем у СВП и НВП-11/0,6 У1 на 150 % и 66,7 % соответственно), что объясняет меньшие затраты времени на тушение обоих модельных очагов пожара. Однако насадок НВП-11/0,6 У1 имеет на 50 % большую кратность по сравнению со стволом СВП, при этом время, затраченное им на тушение модельного очага пожара класса А, на 83,3 % больше. Это можно объяснить, сравнив расходы растворов ПО этих двух генераторов. Так, у насадка НВП-11/0,6 У1 расход раствора ПО составляет 2,1 л/с (123 л/мин), в то время как у ствола СВП этот показатель равен 6 л/с (360 л/мин), что почти в 3 раза больше. Это указывает на тот факт, что при тушении пожаров класса А огнетушащая эффективность средства тушения в большей степени определяется величиной его расхода ОТВ, а для пожаров класса В – кратностью генерируемой пены.

Здесь дополнительно необходимо разобрать механизм тушения пожара пенами низкой кратности [19]. Данный механизм предусматривает два этапа. На первом этапе происходит соприкосновение фронта потока ОТВ с частью факела пламени. В этом случае поток ОТВ взаимодействует только с небольшим (локальным) участком пламени, в результате чего происходит поглощение не только части тепла от факела на этом участке, но и практически охлаждение его до температуры, близкой к температуре кипения воды. Это вызывает прекращение горения непосредственно на фронте движения огнетушащей струи. Такой «локальный» механизм взаимодействия струи ОТВ с пламенем приводит к испарению большей или меньшей части струи. На втором этапе процесса тушения происходит «растекание» ОТВ по горячей поверхности слоем определенной толщины.



Рисунок 4. – Время тушения модельного очага пожара класса А генераторами пены, с

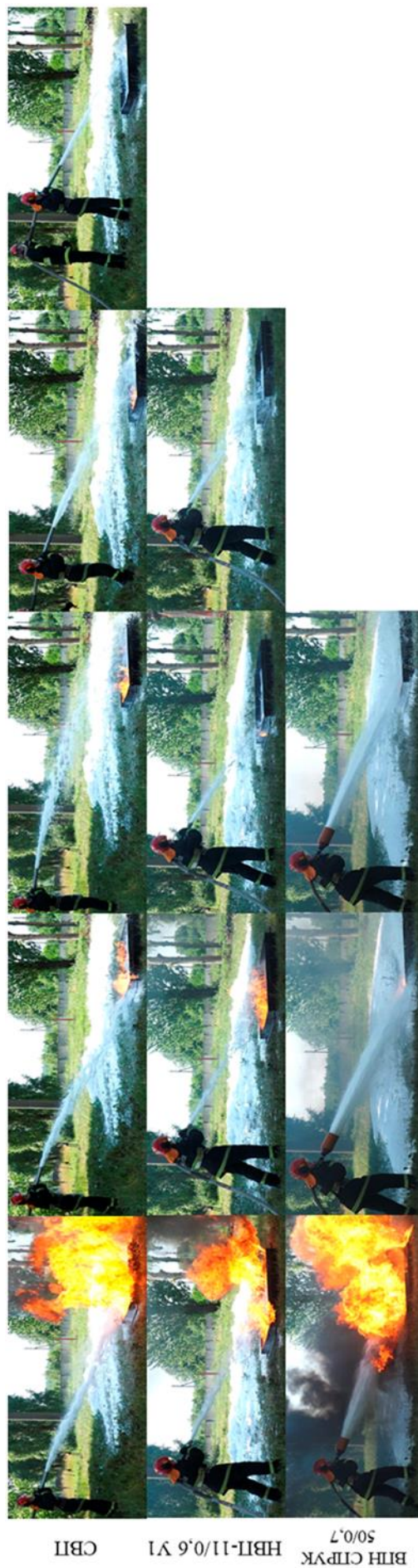


Рисунок 5. – Время тушения модельного очага пожара класса В генераторами пены, с



На твердой поверхности процесс растекания затруднен в принципе, а на поверхности горючей жидкости скорость покрытия ОТВ тем выше, чем выше кратность пены. Необходимо отметить, что механизм тушения пламени горючих жидкостей пеной низкой кратности сводится в основном ко второму этапу, когда определяющим является процесс растекания пены по горячей поверхности и тушение пламени достигается после растекания пены слоем определенной толщины, вплоть до соприкосновения с нагретой стенкой резервуара. Характерной особенностью начала процесса тушения пеной низкой кратности является резкое увеличение объема факела пламени (хорошо видно на рисунке 5), что объясняется наличием эжектируемого дополнительного потока кислорода воздуха [20–23].

Основываясь на полученных показателях эффективности тушения в таблице 4, можно заключить, что пена, формируемая насадком ВПН СПРУК 50/0,7, имеет в 7,5 и 10 раз большую огнетушащую эффективность по сравнению со стволом СВП и в 8,8 и 1,2 раза по сравнению с НВП-11/0,6 У1 при тушении модельного очага пожара классов А и В соответственно. Отсюда можно сделать вывод, что для тушения пожара с использованием насадка ВПН СПРУК 50/0,7 необходимо меньшее количество воды и пенообразователя нежели для тушения стволом СВП либо насадком НВП-11/0,6 У1, при этом огнетушащий эффект достигается быстрее. Также НВП-11/0,6 У1 при тушении модельного очага пожара класса В имеет более высокую (не менее чем в 9 раз) огнетушащую эффективность, чем ствол СВП, а при тушении пожаров класса А в связи с меньшими значениями расхода затрачивает меньше ОТВ (45 л у НВП-11/0,6 У1 против 72 л у СВП). Все это позволит сократить не только материальный ущерб от пожара и процесса пожаротушения (излишнее количество ОТВ повреждает строительные конструкции, оборудование, материалы и др.), но и экологический ущерб от применения пенообразователей.

### Заключение

Разработаны методики проведения натуральных испытаний генераторов пены при тушении модельных очагов пожара класса А и В. Данные методики позволяют с минимальными временными и материальными затратами смоделировать близкую к реальным условиям пожара ситуацию, испытать в этих условиях генераторы пены и получить исходные данные для дальнейшей оценки эффективности тушения пеной, формируемой ими.

Согласно разработанным методикам проведены натурные испытания ствола СВП, а также водопенного насадка НВП-11/0,6 У1 для ручного пожарного ствола СРК-50 и воздушно-пенного насадка для ручного пожарного ствола СПРУК 50/0,7. По методике оценки эффективности тушения пеной для каждого испытанного оросителя рассчитан показатель эффективности тушения  $E_t$ . Согласно полученным результатам пена, генерируемая ВПН СПРУК 50/0,7, обладает в 7,5 и 10 раз большей огнетушащей эффективностью по сравнению со стволом СВП и в 8,8 и 1,2 раза по сравнению с НВП-11/0,6 У1 при тушении модельных очагов пожара классов А и В соответственно, а НВП-11/0,6 У1 при тушении модельного очага пожара класса В имеет более высокую (не менее чем в 9 раз) огнетушащую эффективность, чем ствол СВП. На основании полученных результатов показано, что при тушении пожаров класса А огнетушащая эффективность средства тушения в большей степени определяется величиной расхода ОТВ, а для пожаров класса В – кратностью генерируемой пены, при этом чем выше кратность пены, тем быстрее достигается огнетушащий эффект.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Баратов, А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 кн. / А.Н. Баратов [и др.]. – М.: Химия, 1990. – Кн. 1 – 496 с.
2. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с.

3. Кавитационный водопенный насадок пожарного ствола: пат. полез. модель ВУ 10841 / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин, Д.Х. Чан. – Опубл. 30.10.2015.
4. Камлюк, А.Н. Исследование водопенных насадков пожарного ствола с целью повышения уровня пожарной безопасности / А.Н. Камлюк [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2014. – № 2 (36). – С. 113–120. – EDN: WCOMWR.
5. Камлюк, А.Н. Экспериментальные исследования опытных образцов водопенного насадка / А.Н. Камлюк [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 61–67. – EDN: UHHCDF.
6. Камлюк, А.Н. Численное моделирование движения огнетушащего вещества по проточному тракту водопенного насадка / А.Н. Камлюк [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 60–67. – EDN: VKXNTN.
7. Чан, Д.Х. Методика расчета основных геометрических параметров водопенного насадка на ствол пожарный ручной СРК-50 / Д.Х. Чан // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2016. – № 1 (11). – С. 41–49.
8. Чан, Д.Х. Исследование характеристик водопенных насадков при различных режимах подачи огнетушащего средства / Д.Х. Чан, В.Ю. Риванс, А.Н. Камлюк // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 2 (24). – С. 88–97. – EDN: WEZNQT.
9. Камлюк, А.Н. Ствол пожарный ручной универсальный комбинированный с расходом до 5 л/с и возможностью формирования воздушно-механической пены / А.Н. Камлюк, В.В. Пармон, А.А. Морозов // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 1 (40). – С. 76–85. – EDN: ZEUEPZ.
10. Камлюк, А.Н. Пеногенератор пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» / А.Н. Камлюк [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 335–342. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.335. – EDN: XWQNQT.
11. Камлюк, А.Н. Оптимизация геометрических параметров пеногенератора пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» / А.Н. Камлюк [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 470–476. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.470. – EDN: YPMHRR.
12. Морозов, А.А. Влияние места установки пеногенерирующей сетки пеногенератора пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» на кратность пены / А.А. Морозов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2018. – № 2 (44). – С. 130–136. – EDN: YPRKEZ.
13. Воздушно-пенный насадок пожарного ствола: пат. полез. модель ВУ 12065 / А.Н. Камлюк, В.В. Пармон, А.А. Морозов, А.В. Грачулин. – Опубл. 30.08.2019.
14. Камлюк, А.Н. Тушение пожаров пеногенерирующими системами со сжатым воздухом / А.Н. Камлюк, О.Д. Навроцкий, А.В. Грачулин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 44–53. – DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-1.44. – EDN: YINHPR.
15. 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.
16. Абдурагимов, И.М. Критерий тушения пожаров охлаждающими огнетушащими средствами / И.М. Абдурагимов // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. – 1982. – Т. 27, № 1. – С. 11–17.
17. Корольченко, Д.А. Огнетушащая эффективность пены низкой кратности / Д.А. Корольченко, А.Ф. Шароварников, Е.Н. Дегаев // Научное обозрение. – 2015. – № 8. – С. 114–120. – EDN: UCQRSB.
18. Хиль, Е.И. Экспериментальное определение минимального удельного расхода и оптимальной интенсивности подачи пенообразователя при тушении пламени нефтепродуктов / Е.И. Хиль [и др.] // Пожарная безопасность. – 2015. – № 4. – С. 76–81. – EDN: VCMJWX.
19. Корольченко, Д.А. Анализ процесса тушения пламени горючих жидкостей дисперсными огнетушащими веществами и пеной низкой кратности / Д.А. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 2. – С. 51–58. – DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.51-58. – EDN: VRCITR.

20. Корольченко, Д.А. Анализ двойственного механизма тушения пламени / Д.А. Корольченко // Техника и технология: новые перспективы развития. – 2015. – № XVIII. – С. 28–34. – EDN: UKKOYL.
21. Корольченко, Д.А. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами / Д.А. Корольченко, А.Ф. Шароварников // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 11. – С. 84–88. – EDN: TRPCID.
22. Корольченко, Д.А. Лабораторная методика определения изолирующих свойств пены на поверхности гептана / Д.А. Корольченко, А.Ф. Шароварников, Е.Н. Дегаев // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 4. – С. 72–76. EDN: SCXYUH.
23. Sharovarnikov, A.F. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings / A.F. Sharovarnikov, D.A. Korolchenko // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 475–476. – P. 1344–1350. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.

**Об эффективности тушения пожара воздушно-механической пеной  
низкой кратности, формируемой генераторами пены**

**On the effectiveness of fire extinguishing with low-multiplicity  
air-mechanical foam formed by foam generators**

***Камлюк Андрей Николаевич***

кандидат физико-математических наук,  
доцент

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», заместитель  
начальника университета по научной  
и инновационной деятельности

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: kan@ucp.by

SPIN-код: 8858-0296

***Andrey N. Kamlyuk***

PhD in Physics and Mathematics Sciences,  
Associate Professor

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Deputy Chief of the University  
on Scientific and Innovative Activity

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

***Морозов Артем Александрович***

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
ликвидации чрезвычайных ситуаций, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: morozow974@gmail.com

SPIN-код: 7482-7284

***Artem A. Morozov***

PhD in Technical Sciences

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: morozow974@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8079-2578

***Пивоваров Александр Вадимович***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
ликвидации чрезвычайных ситуаций,  
преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: sasha1500vo@list.ru

***Aleksander V. Pivovarov***

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: sasha1500vo@list.ru

## ON THE EFFECTIVENESS OF FIRE EXTINGUISHING WITH LOW-MULTIPLICITY AIR-MECHANICAL FOAM FORMED BY FOAM GENERATORS

Kamlyuk A.N., Morozov A.A., Pivovarov A.V.

*Purpose.* To develop methods and conduct full-scale tests of foam generators. To perform a comparative assessment of the effectiveness of extinguishing foam formed by each of the generators basing on test results.

*Methods.* The evaluation of the effectiveness of extinguishing with foam formed by foam generators was carried out experimentally, and the processing of the experimental data obtained was carried out using the method of estimation and expression of measurement uncertainty.

*Findings.* The methods of full-scale tests to determine the effectiveness of extinguishing foam formed by foam generators have been developed. The full-scale tests of three foam generators used in the Republic of Belarus have been carried out: air-foam barrel (hereinafter referred to as SVP), water-filled nozzle for the SRK-50 fire barrel (hereinafter referred to as NVP-11/0.6 U1) and air-foam nozzle for the SPRUK 50/0.7 fire barrel (hereinafter referred to as VPN SPRUK 50/0.7). To compare the effectiveness of extinguishing with foam, the  $E_t$  extinguishing efficiency indicator was used, taking into account the extinguishing time of the model fire source and the consumption of extinguishing agent. As a result of full-scale tests, it was found that the foam generated by the VPN SPRUK 50/0.7 has 7.5 and 10 times greater fire extinguishing efficiency compared to the SVP barrel and 8.8 and 1.2 times compared to the NVP-11/0.6 U1 when extinguishing a model hearth of classes A and B, respectively. Also, NVP-11/0.6 U1 when extinguishing Class B fires has a higher (at least 9 times higher) extinguishing efficiency than SVP.

*Application field of research.* The developed methods of field tests to determine the effectiveness of extinguishing foam generated by foam generators can be used in the development of domestic technical regulations in this area, as well as for the study of other foam generators in conditions close to a real fire.

*Keywords:* foam generator, foam multiplicity, air-foam nozzle, foam extinguishing, extinguishing efficiency, extinguishing time, fire extinguishing agent consumption.

(The date of submitting: September 5, 2023)

### REFERENCES

1. Baratov A.N., Korol'chenko A.Ya., Kravchuk G.N. et al. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya* [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishing]: reference edition in 2 books. Moscow: Khimiya, 1990. Book 1. 496 p. (rus)
2. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. *Kompressionnaya pena dlya nuzhd pozharnykh podrazdeleniy* [Compression foam for the needs of fire departments]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2019. 224 p. (rus)
3. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V., Tran Duc Hoan *Kavitatsionnyy vodopenny nasadok pozharnogo stvola* [Cavity water-foam nozzle for fire nozzle]: utility model patent BY 10841. Published Oktober 30, 2015. (rus)
4. Kamlyuk A.N., Maksimovich D.S., Tran Duc Hoan., Parmon V.V. *Issledovanie vodopennykh nasadkov pozharnogo stvola s tsel'yu povysheniya urovnya pozharnoy bezopasnosti* [Study of water and foam nozzles fire barrel in order to improve fire safety]. *Emergency situations: prevention and elimination*, 2014. No. 2 (36). Pp. 113–120. (rus). EDN: WCOMWR.
5. Kamlyuk A.N., Maksimovich D.S., Tran Duc Hoan, Grachulin A.V. *Eksperimental'nye issledovaniya opytnykh obraztsov vodopennogo nasadka* [Experimental research of prototypes of water-foam nozzle]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2015. No. 2 (22). Pp. 61–67. (rus) EDN: UHHCDF.
6. Kamlyuk A.N., Shirko A.V., Grachulin A.V., Nguyen Dong Anh, Tran Duc Hoan. *Chislennoe modelirovanie dvizheniya ognetushashchego veshchestva po protochnomu traktu vodopennogo nasadka* [Numerical modeling of the motion of the extinguishing agent in flow path of water-foam nozzle]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 1 (23). Pp. 60–67. (rus) EDN: VKXNTN.
7. Tran Duc Hoan. *Metodika rascheta osnovnykh geometricheskikh parametrov vodopennogo nasadka na stvol pozharnyy ruchnoy SRK-50* [Calculation method main geometrical parameters of water-foam

- nozzle on the SRK-50]. *Emergency situations: education and science*, 2016. Vol. 11, No. 1. Pp. 41–49. (rus)
8. Tran Duc Hoan, Rivans V.Yu., Kamlyuk A.N. Issledovanie kharakteristik vodopennykh nasadkov pri razlichnykh rezhimakh podachi ognetchashchego sredstva [Research of water-foam nozzles characteristics in various modes of extinguishing agent discharging]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 2 (24). Pp. 88–97. (rus). EDN: WEZNQT.
  9. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Morozov A.A. Stvol pozharney ruchnoy universal'nyy kombinirovanny s raskhodom do 5 l/s i vozmozhnost'yu formirovaniya vozdushno-mekhanicheskoy peny [Universal firefighter manual fire barrel combined with a flow rate of up to 5 l/s and the possibility of forming an air-mechanical foam]. *Scientific & educational problems of the civil protection*, 2019. No. 1 (40). Pp. 76–85. (rus). EDN: ZEUEPZ.
  10. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Striganova M.Yu., Morozov A.A., Kurochkin A.S. Penogenerator pozhnogo stvola SPRUK 50/0,7 «Viking» [Foam generator of the fire nozzle SPRUK 50/0,7 «Viking»]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2 No. 3. Pp. 335–342. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.335. EDN: XWQHQT.
  11. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Striganova M.Yu., Morozov A.A. Optimizatsiya geometricheskikh parametrov penogeneratora pozhnogo stvola SPRUK 50/0,7 «Viking» [Optimization of geometrical parameters of the fire removal penogenerator SPRUK 50/0.7 «Viking»]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2 No. 4. Pp. 470–476. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.470. – EDN: YPMHRR.
  12. Morozov A.A. Vliyanie mesta ustanovki penogeneriruyushchey setki penogeneratora pozhnogo stvola SPRUK 50/0,7 «Viking» na kratnost' peny [Influence of the place of installation of the foaming generating grid of the fire stem foam generator SPRUK 50/0.7 «Viking» on the better foam]. *Emergency situations: prevention and elimination*, 2018. Vol. 2 No. 44. Pp. 130–136. (rus) EDN: YPRKEZ.
  13. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Grachulin A.V., Morozov A.A. *Vozdushno-penny nasadok pozhnogo stvola* [Air-foam nozzle of the fire barrel]: utility model patent BY 12065. Published August 30, 2019. (rus)
  14. Kamlyuk A.N., Navrotsky O.D., Grachulin A.V. Tushenie pozharov penogeneriruyushchimi sistemaми so szhatym vozdukhom [Fire extinguishing by compressed air foam systems]. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1 No. 1. Pp. 44–53. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-1.44. EDN: YINHPR.
  15. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. Eksperimental'noe opredelenie effektivnosti tusheniya pozhara klassa B peny 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.
  16. Abduragimov I.M. Kriteriy tusheniya pozharov okhlazhdayushchimi ognetchashchimi sredstvami [Criterion for extinguishing fires with cooling extinguishing agents]. *Zhurnal Vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva*, 1982. Vol. 27, No. 1. Pp. 11–17. (rus)
  17. Korol'chenko D.A., Sharovarnikov A.F., Degaev E.N. Ognetchashchaya effektivnost' peny nizkoy kratnosti [Fire extinguishing effectiveness of low multiplicity foam]. *Nauchnoe obozrenie*, 2015. No. 8. Pp. 114–120. (rus). EDN: UCQRSB.
  18. Khil' E.I., Voevoda S.S., Sharovarnikov A.F., Makarova I.P. Eksperimental'noe opredelenie minimal'nogo udel'nogo raskhoda i optimal'noy intensivnosti podachi penoobrazovatelya pri tushenii plameni nefteproduktov [Experimental determination of minimum discharge intensity and optimum rate of foaming agent input during suppression of oil products flame]. *Fire Safety*, 2015. No. 4. Pp. 76–87. (rus). EDN: VCMJWX.
  19. Korol'chenko D.A. Analiz protsessa tusheniya plameni goryuchikh zhidkostey dispersnymi ognetchashchimi veshchestvami i peny nizkoy kratnosti [Analysis of the process of extinguishing of a flame of flammable liquids by disperse extinguishing agents and low expansion foam]. *Fire and Explosion Safety*, 2016. Vol. 25, No. 2. Pp. 51–58. (rus). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.51-58. EDN: VRCITR.
  20. Korol'chenko D.A. Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni [Analysis of the dual mechanism of flame extinguishing]. *Tekhnika i tekhnologiya: novye perspektivy razvitiya*, 2016. No. 18. Pp. 28–34. (rus). EDN: UKKOYL.

21. Korol'chenko D.A., Sharovarnikov A.F. Ognetchashchaya effektivnost' peny nizkoy kratnosti [Universality of mechanisms of fire suppression by various extinguishing agents]. *Fire and Explosion Safety*, 2014. Vol. 23 No. 11. Pp. 84–88. (rus). EDN: TRPCID.
22. Korol'chenko D.A., Sharovarnikov A.F., Degaev E.N. Laboratornaya metodika opredeleniya izoliruyushchikh svoystv peny na poverkhnosti heptana [Laboratory standard technique for insulating properties of foam on heptane surface]. *Fire and Explosion Safety*, 2014. Vol. 23, No. 4. Pp. 72–76. (rus). EDN: SCXYUH.
23. Sharovarnikov A.F., Korolchenko D.A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 2013. Vol. 475–476. Pp. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.