

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДАЧИ СТРУИ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ

Скорупич И.С., Грачулин А.В., Шинкоренко К.Е.

Цель. Определение оптимальных технических характеристик и способов применения отечественной установки генерирования компрессионной пены.

Методы. Гидравлические расчеты, экспериментальные исследования.

Результаты. Рассмотрены технические особенности и тактические возможности установок генерирования компрессионной пены (далее – УГКП). Экспериментальным путем определена дальность подачи струи компрессионной пены в зависимости от характеристик пены, диаметра насадка пожарного ствола и избыточного давления на выходе из него. Полученные в исследовании экспериментальные данные были использованы при разработке технических условий на УГКП – 2/8-50.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть применены при разработке методических рекомендаций по применению установок генерирования компрессионной пены для целей пожаротушения.

Ключевые слова: установка генерирования компрессионной пены, компрессионная пена, дальность подачи.

(Поступила в редакцию 21 февраля 2022 г.)

Введение

Мировая практика пожаротушения показывает, что при увеличивающейся сложности пожаров, заключающейся в возведении многоэтажных и высотных зданий, применении в различных производствах более сложных и энергоемких технологий возникает необходимость внедрения и использования передовых средств тушения пожаров, к которым относятся установки генерирования компрессионной пены (далее – УГКП). Их использование обосновано рядом ключевых преимуществ по сравнению с традиционными технологиями тушения пожаров воздушно-механическими пенами низкой кратности, к которым относятся [1–5]:

– многофункциональность, т.к. УГКП могут использоваться для подачи воды, раствора воды и пенообразователя, компрессионной пены, а также сжатого воздуха для работы пневматического аварийно-спасательного оборудования и инструмента;

– генерируемая установками компрессионная пена в отличие от воздушно-механической обладает повышенной адгезией и стойкостью, что позволяет покрывать горизонтальные и вертикальные поверхности, создавая тем самым защитный слой, препятствующий доступу кислорода и обеспечивающий экранирование от тепловой энергии;

– широкая область применения УГКП, которая включает возможность применения УГКП для тушения пожаров в высотных зданиях и подслоного тушения;

– вес рукавной линии составляет около 50 % веса стандартного рукава с водой либо раствором пенообразователя (смачивателя), что экономит силы спасателей-пожарных. Низкий вес рукава с компрессионной пеной позволяет ствольщику быстро маневрировать, выбирая наилучшую позицию для подачи огнетушащих веществ и не затрачивая при этом больших физических усилий. Данное качество особо востребовано при тушении широкого фронта пожаров, в том числе лесных;

– значительно сокращается количество воды, требуемое для тушения пожаров, и, как следствие, снижается косвенный ущерб от пролитой воды. Небольшое количество воды в растворе пенообразователя и быстрая ликвидация пламенного горения значительно снижают парообразование, что существенно улучшает видимость при тушении, повышает точность тушения и снижает риск ожоговых травм пожарного;

– дальность подачи пены, по сравнению с водой, не уменьшается и при одинаковой величине расхода даже выше, чем у воды. Это связано с пневматическим действием пенного потока на выходе из сопла и более низким коэффициентом трения пены в рукавных линиях;

– поданная на стенки и потолки пена остается на месте и продолжает абсорбировать тепло от пожара, пока вся вода из пены не испарится;

– высота подачи компрессионной пены по рукавной линии и сухотрубам может достигать 250 м при нормальном давлении 0,7–1,0 МПа. Данная возможность обусловлена значительной разницей в весе пенного и водяного столба.

Основная часть

В настоящее время на вооружении подразделений МЧС Республики Беларусь имеется ряд импортных УГКП (табл. 1), которые используются по аналогии с традиционной технологией тушения пожаров воздушно-механической пеной низкой кратности с применением воздушно-пенных пожарных стволов. Это обусловлено отсутствием обоснованных тактико-технических характеристик УГКП и методов применения систем для тушения пожаров, т.к. в зарубежной литературе подобная информация скрыта или представлена не в полном объеме. Данный факт не позволяет в полной мере раскрыть преимущества УГКП и использовать их подразделениями МЧС Беларуси максимально эффективно.

Таблица 1. – Характеристики УГКП

Модель	Производительность установки по пене, л/мин	Рабочее давление установок, МПа	Кратность генерируемой пены	Производительность компрессора, л/мин	Концентрация раствора, %
УГКП 2/8-50	1200	0,4–0,8	от 4	2000	0,1–10
HALE FoamLogix	113–2839	0,4–1	от 4	2000	0,1–10
OS 1200NE	1400	до 0,8	5–25	1200	0,2–2
NATISK 071-2ПВ	720	до 0,7	5–20	1600	1–6

Как известно, одним из ключевых параметров установок (устройств и агрегатов) предназначенных для подачи огнетушащих веществ в зону горения, является дальность подачи огнетушащих веществ. Знание этого параметра при использовании конкретной установки позволяет правильно выбирать позиции нахождения ствольщиков, располагаться на необходимом расстоянии от очага пожара, не приближаясь к нему без необходимости, что способствует обеспечению безопасности работников, осуществляющих тушение в зоне пожара. В связи с этим в процессе исследований было решено определить дальность подачи струи компрессионной пены в зависимости от режимов работы УГКП, диаметров насадок и избыточного давления перед стволом.

В рамках проведения исследований были рассмотрены существующие подходы к определению дальности подачи водных и пенных струй, а именно:

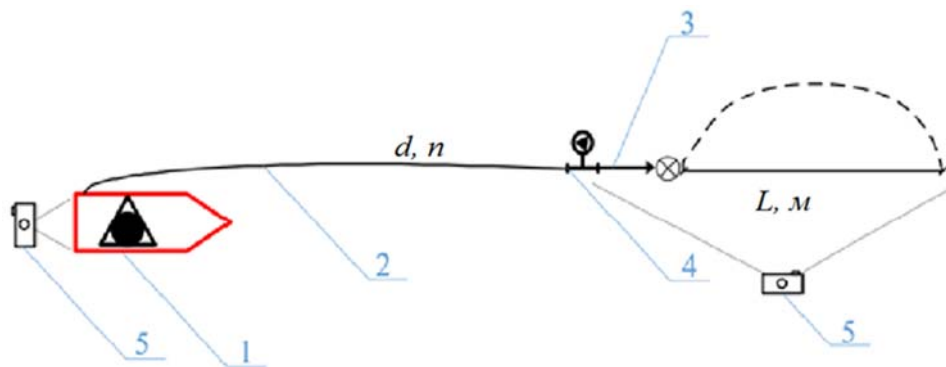
– методика Н.П. Гавырина, которая применялась при расчете струй для гидромониторной разработки грунтовых массивов при золотодобыче [6];

– методы баллистики (специализированное ПО «Баллистика»). Расчетные значения для РСК-50 и РС-70 соответствуют их техническим характеристикам [7–10].

Анализ результатов при решении данной задачи показал, что исследователям не удалось получить аналитическое уравнение движения струй, полностью отвечающее действительности, поэтому для расчета струй применяют эмпирические формулы. Полученные результаты свидетельствуют, что коэффициент трения в воздухе наклонной гидравлической струи изменяется по гиперболическому закону, что соответствует современным представлениям о характере изменения коэффициента сопротивления, встречающимся во многих литературных источниках [7].

Однако для оценки возможности использования данных методов для случая струи компрессионной пены необходимо проведение соответствующих экспериментальных исследований.

Описание экспериментальной установки. При проведении экспериментальных исследований по подаче компрессионной пены использовалась следующая схема размещения установки генерирования компрессионной пены и применяемых средств измерений (рис. 1). Параметры используемых в эксперименте средств измерений и устройств приведены в таблицах 2 и 3.



- 1 – автоцистерна, оборудованная системой FoamLogix 3.3;
 2 – рукавная линия (состоящая из $n = 2$ рукавов диаметром $d = 51$ мм); 3 – пожарный ствол;
 4 – манометр МП; 5 – видеочкамера; L – дальность подачи пены, м

Рисунок 1. – Схема размещения установки генерирования компрессионной пены, применяемых средств измерений и устройств для определения дальности подачи струи компрессионной пены

Таблица 2. – Устройства, использованные в эксперименте

Наименование устройства	Характеристики устройства
Пожарная автоцистерна, оборудованная УГКП (HALE FoamLogix 3.3)	Производительность пены – не менее 1200 л/мин
Рукав напорный, Ø 51 мм (2 шт.)	Длина 20 ± 1 м
Ствол пожарный (4 шт.)	Диаметры насадка: 13, 19 и 25 мм
Рукавная вставка с головками муфтовыми для подключения рукавов Ø 50 мм, Ø 60 мм	Длина 250 ± 50 мм
Фотовидеокамера (2 шт.)	–

Таблица 3. – Средства измерений, использованные в эксперименте

Наименование средств измерения	Диапазон измерения	Погрешность
Манометр МП	0–1 МПа	± 5 кПа
Термометр ртутный ТЛ-2, ТЛ-2М	от -30 до $+70$ °С	± 1 °С
Рулетка	0–30 м	± 1 мм
Штангенциркуль, длина губок не менее 50 мм	не менее 100 мм	$\pm 0,1$ мм
Барометр aneroid	80–106 кПа	± 2 кПа
Гигрометр-термометр цифровой	10–100 %	± 3 %

Испытания проводились при следующих условиях окружающей среды:

- температура окружающего воздуха, °С $+18...+25$;
- температура воды, °С $+15...+18$;
- атмосферное давление, кПа $91,6...102,9$;
- относительная влажность, % $58...80$;
- скорость ветра, м/с $0...1,5$.

Исходя из требований, предъявляемых к испытаниям пожарных стволов, для определения дальности струи пожарный ствол было принято установить под углом $\alpha = 30 \pm 1^\circ$ на высоте $h = 1,00 \pm 0,01$ м от выходного отверстия насадка до площадки (рис. 2).

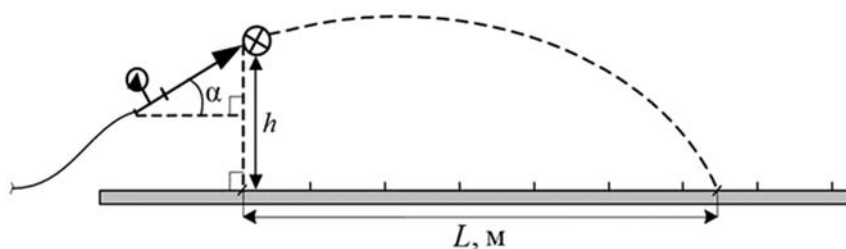


Рисунок 2. – Схема установки пожарного ствола

Также необходимо отметить, что результаты исследований по влиянию пенообразователя на свойства компрессионной пены позволяют утверждать отсутствие влияния вида пенообразователя на потери давления при движении компрессионной пены в рукавной линии [11]. Это, в свою очередь, дает возможность предполагать незначительное влияние марки и типа пенообразователя на баллистические характеристики компрессионной пены. В связи с этим экспериментальные исследования проводились с использованием одной марки пенообразователя – ОПС-0.4.

Таким образом, целью эксперимента было принято:

1. Определить дальность подачи струи компрессионной пены в зависимости:
 - от диаметра насадка;
 - режимов работы установки;
 - избыточного давления на выходе из ствола.
2. Определить возможность применения трехходового разветвления при подаче компрессионной пены.

Дальность струи было принято определять от проекции выходного отверстия стволов на испытательную площадку до места падения максимально крайних капель по линии подачи огнетушащего вещества с использованием предварительно установленных реперных точек, а также с видеофиксацией полученных значений для дальнейшего анализа.

Результаты и обсуждение. При реализации эксперимента было проведено три серии испытаний по каждой комбинации диаметра насадка, т.е. 13, 19, 25 мм и двух режимов работы установки. Стоит отметить, что исследуемая установка позволяет генерировать компрессионную пену двух типов: мокрую (с кратностью до 10) и сухую (с кратностью от 10 до 20), что предоставляет возможность выбора наиболее подходящего типа компрессионной пены для конкретной ситуации на пожаре. Мокрая компрессионная пена обладает более высоким охлаждающим эффектом и применяется непосредственно для тушения пожара. Сухая компрессионная пена обладает более высокой прилипающей способностью. Это позволяет наносить ее как на горизонтальные, так и на вертикальные поверхности, создавая защитный слой, который способствует прекращению горения, а также предотвращает воспламенение покрытых поверхностей.

Испытания проводились при постоянной концентрации пенообразователя в растворе (установка позволяет обеспечить дозирование с точностью до 0,05 %), для чего собрали и установили на ровной поверхности измерительную установку в соответствии с рисунком 1. Полученные результаты фиксировались видеокамерой.

Необходимо отметить, что при проверке первоначально выдвинутой гипотезы о достижении наибольшей дальности подачи компрессионной пены при угле наклона пожарного ствола 30° выявлено ее несоответствие действительности. На рисунке 4 слева подается ствол РСК-50 при угле наклона к горизонту 30° , справа – тот же ствол, направленный под углом 10° относительно линии горизонта, разница в дальности подачи составила 4,5 м при одинаковом расходе и избыточном давлении перед стволом. Исходя из этого, было решено изменить условия эксперимента и в дальнейшем установить пожарный ствол под углом 10° для обеспечения наибольшей дальности.



Рисунок 3. – Подача ствола РСК-50 при угле наклона к горизонту 30° и 10° соответственно

В результате эксперимента посредством анализа видеозаписей серий измерений, путем масштабирования реперных точек с соотносением по времени с показателями установки и манометра были получены следующие результаты (табл. 4), где L – дальность подачи пены, м; P – избыточное давление на выходе из ствола, кПа.

Таблица 4. – Результаты эксперимента

№ серии	Ствол диаметром 13 мм (сухая пена)						
1	P , кПа	105	120	140	160	180	–
	L , м	6	8,5	10	11,5	12	–
2	P , кПа	100	120	140	160	180	–
	L , м	7,5	8,5	10,5	12	13	–
3	P , кПа	100	120	140	160	180	–
	L , м	7	8	10	11	12	–
№ серии	Ствол диаметром 13 мм (мокрая пена)						
1	P , кПа	70	90	110	130	150	–
	L , м	10	10,5	13,5	15	15	–
2	P , кПа	70	90	110	130	150	–
	L , м	9,5	10	13	14,5	15	–
3	P , кПа	70	90	110	130	150	–
	L , м	9	10	12,5	15	15	–
№ серии	Ствол диаметром 19 мм (сухая пена)						
1	P , кПа	76	100	120	160	220	240
	L , м	7	10	11	14	16,5	16
2	P , кПа	76	100	120	160	220	240
	L , м	7,5	11	11	14	16	16
3	P , кПа	76	100	120	160	220	240
	L , м	7	10	11	14	17	17
№ серии	Ствол диаметром 19 мм (мокрая пена)						
1	P , кПа	78	100	120	160	200	220
	L , м	8	11	14,5	17	20	20
2	P , кПа	78	100	120	160	200	220
	L , м	7	10	13	16	20	20
3	P , кПа	78	100	120	160	200	220
	L , м	8	11	14	16	20	20
№ серии	Ствол диаметром 25 мм (сухая пена)						
1	P , кПа	132	160	200	240	310	330
	L , м	8,5	12	18	20	23,5	23,5
2	P , кПа	132	160	200	240	310	330
	L , м	7,5	13	18	20	23	23
3	P , кПа	132	160	200	240	310	330
	L , м	8	12,5	18	19	23	23
№ серии	Ствол диаметром 25 мм (мокрая пена)						
1	P , кПа	90	100	120	160	200	265
	L , м	9	13	19	24	26	26
2	P , кПа	90	100	120	160	200	265
	L , м	10	14	20	25	27	27
3	P , кПа	90	100	120	160	200	265
	L , м	11	14	21	25,5	27	27

После чего были проведены обработка результатов и выявление точек начала устойчивого формирования компрессионной пены, а также точек, при повышении рабочего давления в которых дальность не меняется. Были определены оптимальные режимы работы установки, в том числе при необходимости подачи компрессионной пены на максимальную дальность (рис. 4, 5).

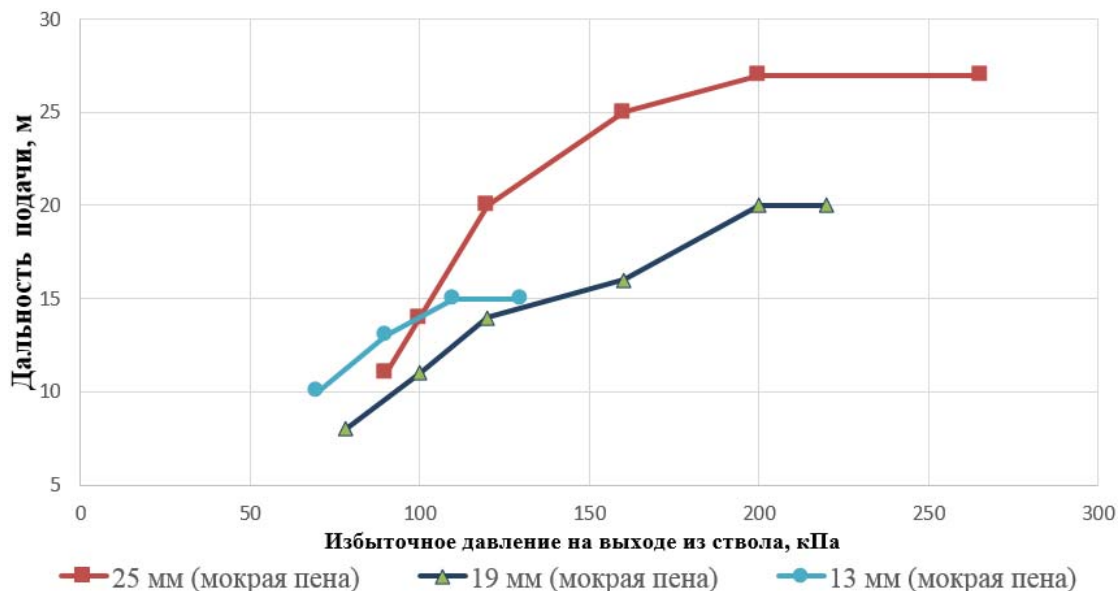


Рисунок 4. – Совмещенный график результатов подачи мокрой компрессионной пены стволом с выходным диаметром 13–25 мм

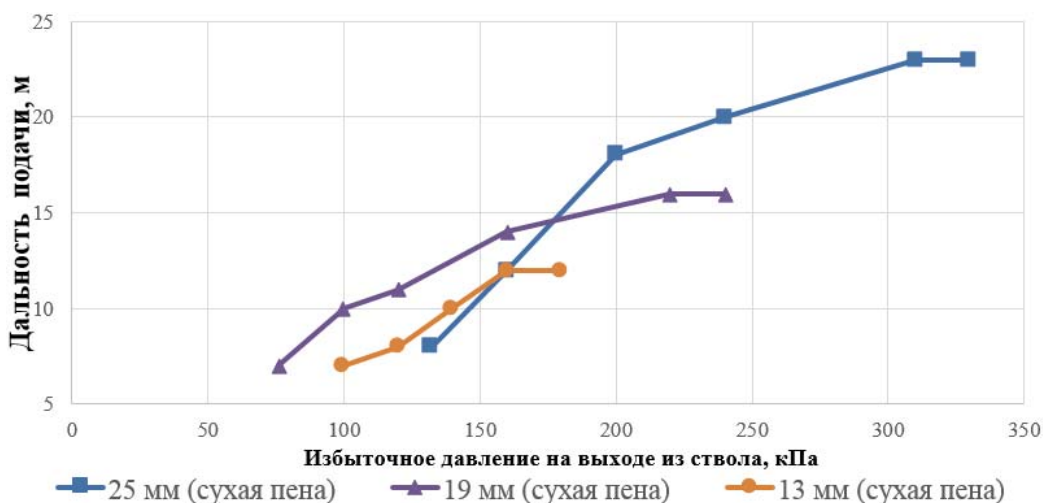


Рисунок 5. – Совмещенный график результатов подачи сухой компрессионной пены стволом с выходным диаметром 13–25 мм

Анализируя результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований (рис. 6), можно сделать вывод, что кроме угла подачи надо учитывать кратность компрессионной пены. Как видно на графике, для мокрой пены результаты приближены к расчетным значениям по воде. Но при этом для сухой пены расчет не соответствует, что указывает на необходимость более глубоких исследований.

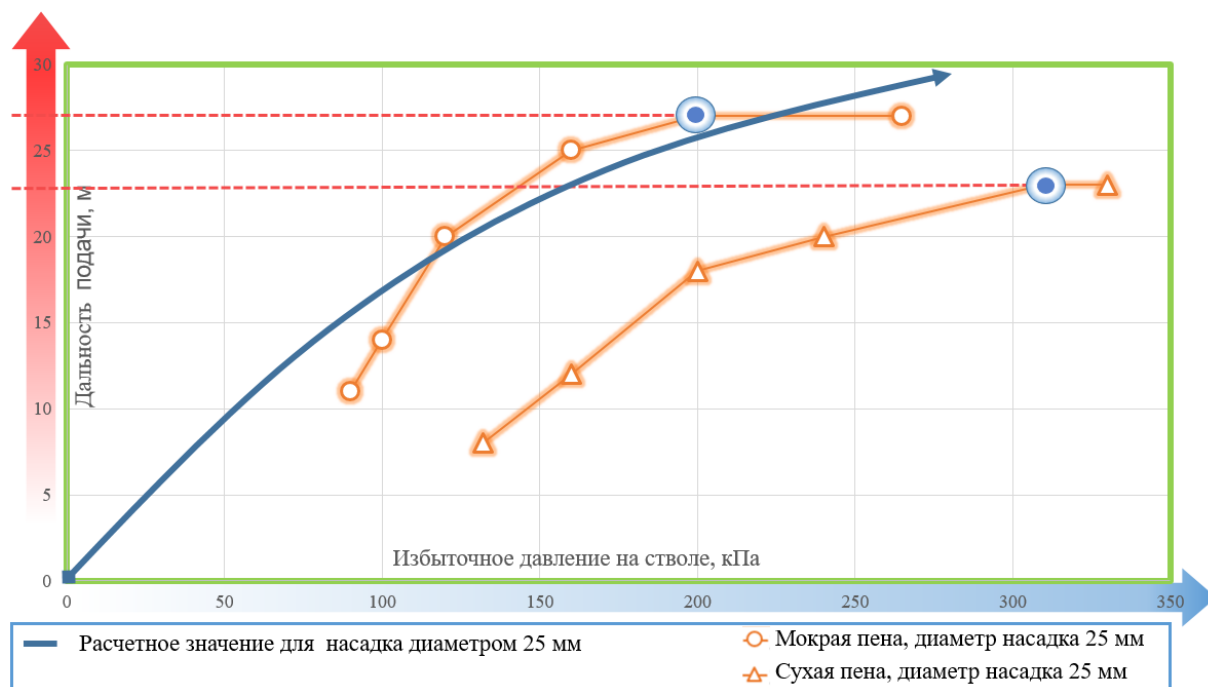


Рисунок 6. – Совмещенный график результатов подачи сухой и мокрой компрессионной пены стволом с выходным диаметром 25 мм

Установлено, что при подаче компрессионной пены через трехходовое разветвление РТ-80 не удалось создать устойчивый напор компрессионной пены для работы двух стволов РСК-50. Наблюдались перебои в формировании пенной струи по причине невысокой производительности имеющихся на вооружении УГКП.

Кроме того, дополнительно была установлена возможность комбинированной подачи воды и компрессионной пены по двум рукавным линиям от автоцистерны, оборудованной УГКП.

С практической точки зрения указанная техническая возможность данных систем может быть применена при ликвидации последствий ДТП, в том числе с наличием АХОВ, т.к. от одной автоцистерны, оборудованной УГКП, можно сформировать пенную подушку для ликвидации либо предупреждения возгорания разлива топлива с одновременной подачей перфорированной линии для локализации последствий утечки АХОВ. Данная возможность установок позволяет задействовать минимальные силы и средства для ликвидации последствий ЧС, что, в свою очередь, уменьшает влияние на спасателей опасных факторов.

При труднодоступных подъездах к многоэтажным застройкам одна автоцистерна позволяет осуществлять внутриквартирное тушение компрессионной пеной, а также обеспечивать защиту строительных конструкций водой либо дозаправку другой автоцистерны без прекращения подачи компрессионной пены. Указанное преимущество данного способа тушения позволяет минимизировать ущерб от огнетушащих веществ и обеспечить сохранение материальных ценностей, что соответствует современным представлениям о культуре тушения пожаров.

Заключение

В результате проведенных исследований были определены оптимальные режимы работы УГКП – параметры, при которых начинается устойчивое формирование компрессионной пены, а также параметры, при которых достигается максимальная дальность подачи струи компрессионной пены в зависимости от диаметра насадка пожарных стволов и типа применяемой пены.

Кроме того, было установлено, что автоцистерны, оборудованные УГКП, имеют возможность одновременной подачи воды и компрессионной пены по двум разным рукавным линиям, что, в свою очередь, расширяет тактический потенциал данных систем. Вместе с тем в экспериментальных исследованиях выявлено, что при подаче компрессионной пены через трехходовое разветвление РТ-80 не удается создать устойчивый напор компрессионной для работы двух стволов РСК-50, наблюдались перебои в формировании пенной струи, что обусловлено производительностью стоящих на вооружении пожарных подразделений УГКП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Carey, W.M. National class A foam research project technical report: Structural fire fighting-room burn tests phase II / W.M. Carey // National Fire Protection Research Foundation. – Quincy, Massachusetts, USA. – 1994.
2. Colletti, D.J. Class A foam for structure firefighting / D.J. Colletti // Fire Engineering. – 1992. – Vol. 145, No. 7. – Pp. 47–56.
3. Liebson, J. Introduction to class A foams and compressed air foam systems for the structural fire service / J. Liebson. – MA: International Society of Fire Service Instructors. – 1991. – 45 p.
4. Colletti, D.J. Compressed air foam systems and fire hose / D.J. Colletti // Fire Engineering. – 1996. – Vol. 149, No. 7. – Pp. 50–52. – EDN: CJFVMZ.
5. Murdock, J.I. Compressed air foam systems: A project pertaining to an adoption decision. (Executive-Development Research Paper) / J.I. Murdock. – Emmitsburg, MD: National Fire Academy. – 1997.
6. Гавырин, Н.П. Исследование работы гидромониторов: монография / Н.П. Гавырин. – М., 1939. – 244 с.
7. Здор, Г.Н. Уточнение зависимостей для построения огибающих кривых компактной и раздробленной гидравлических струй лафетных стволов пожарных роботов / Г.Н. Здор, А.В. Потеха // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2015. – № 2 (204). – С. 68–77. – EDN: YQPGKX.
8. Балаганский, И.А. Основы баллистики и аэродинамики: учеб. пособие / И.А. Балаганский. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 200 с.
9. Лысенко, Л.Н. Внешняя баллистика: учеб. пособие / Л.Н. Лысенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 328 с.
10. Потеха, А.В. Определение траектории наклонной гидравлической струи с учетом действия силы трения, возникающей на ее поверхности / А.В. Потеха, Г.Н. Здор // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2016. – Т. 6, № 2. – С. 88–97. – EDN: YPCHTH.
11. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с.

Экспериментальные исследования подачи струи компрессионной пены
Experimental investigation of compression foam jet supply

Скорупич Илья Сергеевич

Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации» государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра специальной подготовки, преподаватель
Адрес: Борисовский р-н, д. Светлая Роща, 1, 202135, Минская область, Беларусь
Email: skorupich97@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0523-7261

Ilya S. Skorupich

Branch «Institute of Retraining and Professional Development» of the State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Special Training, Lecturer
Address: Borisov district, Svetlaya Roscha, 1, 202135, Minsk region, Belarus
Email: skorupich97@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0523-7261

Грачулин Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра автоматических систем безопасности, старший преподаватель
Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: Grachulin_a@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3832-8258

Aleksandr V. Grachulin

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 Safety Systems, Senior Lecturer
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: Grachulin_a@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3832-8258

Шинкоренко Кирилл Евгеньевич

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: kirill_shinkorenko@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-4946-9339

Kirill E. Shinkorenko

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic Safety Systems, Lecturer
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: kirill_shinkorenko@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-4946-9339

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF COMPRESSION FOAM JET SUPPLY

Skorupich I.S., Grachulin A.V., Shinkorenko K.E.

Purpose. Determination of optimal technical characteristics and methods of application of the domestic compression foam generating unit.

Methods. Hydraulic calculations, experimental studies.

Findings. The technical features and tactical capabilities of compressed air foam systems (hereinafter referred to as CAFS) are considered. The range of the compression foam jet supply was determined experimentally, depending on the foam characteristics, the diameter of the nozzle of the fire barrel and the overpressure at the outlet from it. The experimental data obtained in the study were used in the development of technical specifications of CAFS – 2/8-50.

Application field of research. The results obtained can be used in developing methodological recommendations for the use of compressed air foam systems for fire extinguishing purposes.

Keywords: compressed air foam system, compression foam, feed range.

(The date of submitting: February 21, 2022)

REFERENCES

1. Carey W.M. *National class A foam research project technical report: Structural fire fighting-room burn tests phase II*. National Fire Protection Research Foundation. Quincy, Massachusetts, USA. 1994.
2. Colletti D.J. Class A foam for structure firefighting. *Fire Engineering*, 1992. Vol. 145, No. 7. Pp. 47–56.
3. Liebson J. *Introduction to class A foams and compressed air foam systems for the structural fire service*. MA: International Society of Fire Service Instructors, 1991. 45 p.
4. Colletti D.J. Compressed air foam systems and fire hose. *Fire Engineering*, 1996. Vol. 149, No. 7. Pp. 50–52. EDN: CJFVMZ.
5. Murdock, J.I. *Compressed air foam systems: A project pertaining to an adoption decision*. (Executive-Development Research Paper). Emmitsburg, MD: National Fire Academy. 1997.
6. Gavyrin N.P. *Issledovanie raboty gidromonitоров [Investigation of the operation of hydraulic monitors]*: monograph. Moscow, 1939. 244 p. (rus)
7. Zdor G.N., Potekha A.V. Utochnenie zavisimostey dlya postroeniya ogibayushchikh krivykh kompaktnoy i razdroblennoy gidravlicheskih struy lafetnykh stvolov pozharnykh robotov [Refinement of dependencies for constructing envelope curves of compact and fragmented hydraulic jets of carriage trunks of fire robots]. *Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Sciences*, 2015. No. 2 (204). Pp. 68–77. (rus). EDN: YQPGKX.
8. Balaganskiy I.A. *Osnovy ballistiki i aerodinamiki [Fundamentals of ballistics and aerodynamics]*: tutorial. Novosibirsk: NGTU, 2017. 200 p. (rus)
9. Lysenko L.N. *Vneshnyaya ballistika [External ballistics]*: tutorial. Moscow: Bauman University, 2018. 328 p. (rus)
10. Zdor G.N., Potekha A.V. Opredelenie traektorii naklonnoy gidravlicheskoj strui s uchetom deystviya sily treniya, vznikayushchey na ee poverkhnosti [Determination of the trajectory of an inclined hydraulic jet taking into account the action of the friction force arising on its surface]. *Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Sciences*, 2015. No. 2 (204). Pp. 88–97. (rus). EDN: YPCHTH.
11. 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)