

УДК 614.842.615

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНОГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ СО СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Камлюк А.Н., Грачулин А.В.

Проведен анализ результатов экспериментальных исследований пеногенирующих систем со сжатым воздухом, приведен пример использования инженерной методики гидравлического расчета рукавных линий при движении компрессионной пены. По результатам теоретических и экспериментальных исследований сформулированы особенности применения пеногенирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров, которые учитывают отличие их тактико-технических характеристик от традиционных технологий пенного пожаротушения. Это позволило определить область применения пеногенирующих систем со сжатым воздухом.

Ключевые слова: пеногенирующая система со сжатым воздухом; тушение пожаров; компрессионная пена; инженерная методика расчета.

(Поступила в редакцию 14 февраля 2018 г.)

Введение. Воздушно-механические пены представляют собой дисперсные системы, состоящие из пузырьков воздуха, окруженных пленками жидкости [1]. Для их получения в поток раствора воды с пенообразователем (ПО) на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) вводится воздух (инертный газ) посредством использования специальных эжектирующих устройств (генераторов), воздушных компрессоров и (или) баллонов со сжатым воздухом (инертным газом). Различают воздушно-механические пены низкой кратности (4–20), средней кратности (20–200) и высокой кратности (более 200), причем под кратностью понимается отношение объема пены к объему раствора воды и ПО, содержащегося в ней. Воздушно-механические пены широко используются при тушении пожаров класса А (твердые вещества) и класса В (жидкие вещества). Пены средней и высокой кратности, как правило, применяются для тушения крупных пожаров методом заполнения соответствующего пространства (объемное пожаротушение) или создания пенной подушки (пенная атака). Однако из-за легкости пен средней и высокой кратности по отношению к воде и пене низкой кратности дальность подачи данных пен невелика, что обуславливает их широкое применение лишь в автоматических установках пожаротушения и ограничивает использование пожарными подразделениями, которые для тушения пожаров широко применяют воздушно-механические пены низкой кратности.

К достоинствам воздушно-механических пен низкой кратности следует отнести:

- сокращение расхода воды на пожаротушение (наличие воздуха в составе пены увеличивает общий объем огнетушащего вещества);
- возможность тушения пожаров на больших площадях (пена растекается по поверхности горючего материала);
- возможность тушения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей;
- повышенную в сравнении с водой смачивающую способность.

В настоящее время существует широкий ряд технологий тушения пожаров воздушно-механическими пенами низкой кратности. К традиционным технологиям относится использование воздушно-пенных стволов, ручных и лафетных комбинированных стволов с пенными насадками, автоматических установок пенного пожаротушения, а также систем подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Более современные и альтернативные – системы подачи компрессионной пены, так называемые пеногенирующие системы со сжатым воздухом (ПССВ). Такая пена формируется вследствие принудительного введения воздуха (инертного газа) под давлением в поток раствора воды и ПО. Данная технология широко применяется за рубежом, однако на территории СНГ она только внедряется, поэтому на текущий момент системы подачи компрессионной пены менее распространены в сравнении с традиционными. В практике пожаротушения подача компрессионной пены осуществляется стационарными автоматическими установками и от пожарных автомобилей, оборудованных соответствующими системами. Последние представляют большой интерес из-за широкой области применения.

Основными структурными элементами ПССВ являются центробежный насос, источник воды (цистерна), источник ПО (бак для ПО), воздушный компрессор (баллоны со сжатым инертным газом), система дозирования ПО на выходе из центробежного насоса, смешительная камера (может использоваться непосредственно рукавная линия) и система контроля дозирования воды, сжатого воздуха и ПО в требуемых пропорциях. В отличие от стандартных насосных установок в ПССВ по рукавной линии подается газожидкостная смесь (компрессионная пена).

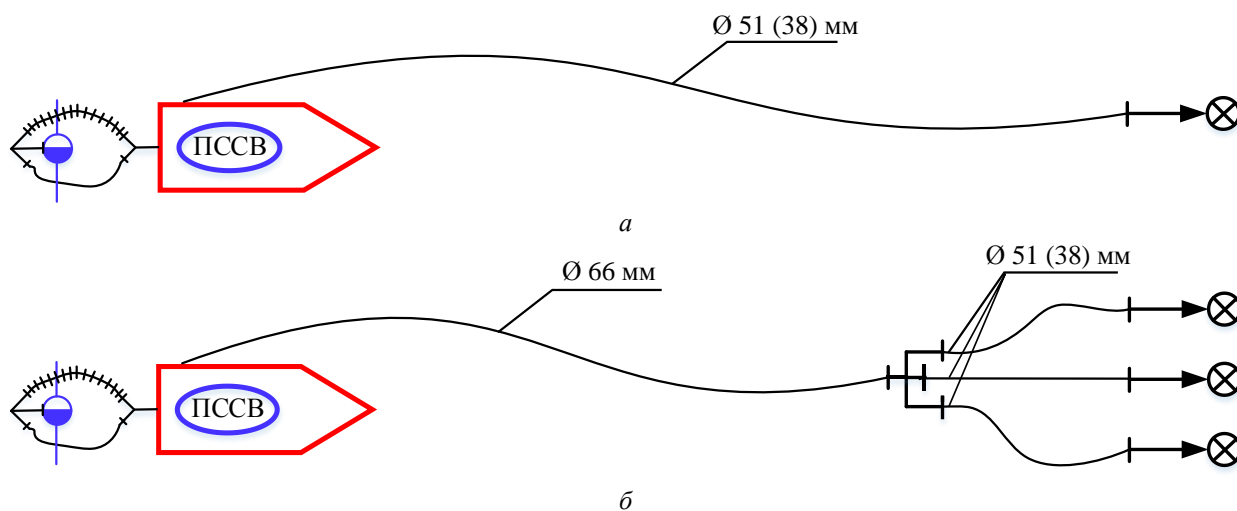
Результаты проведенных ранее исследований показывают, что ПССВ имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными технологиями пожаротушения: экономичность, многофункциональность, высокая эффективность [2–5]. ПССВ может быть использована для тушения пожаров в высотных зданиях (высотой до 400 м) [6, 7] и в резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов методом введения компрессионной пены в слой горючей жидкости (подслоное тушение) [8, 9].

В Республике Беларусь на вооружении пожарных подразделений имеется ряд импортных ПССВ, однако они не получили широкого распространения из-за высокой стоимости, отсутствия обоснованных тактико-технических характеристик и методов их применения для тушения пожара. ПССВ используются по аналогии с традиционной технологией тушения пожаров воздушно-механической пеной низкой кратности с применением воздушно-пенных пожарных стволов. Очевидно, что существующая методика гидравлического расчета рукавных линий неприменима в случае движения компрессионной пены. Это не позволяет в полной мере раскрыть преимущества ПССВ и использовать их максимально эффективно, что делает задачи по определению отличительных особенностей применения ПССВ для тушения пожаров весьма актуальными. В связи с вышесказанным авторами проведены натурные испытания ПССВ по определению огнетушащей эффективности с использованием условного очага пожара класса А, возможности подачи компрессионной пены на верхние этажи высотных зданий, а также использования ПССВ в условиях низких температур [10]. Разработана инженерная методика гидравлического расчета рукавных линий ПССВ [11]. Результаты анализа проведенных исследований, а также анализа конструктивных особенностей ПССВ и зарубежного опыта применения систем позволили сформулировать отличительные особенности применения ПССВ для тушения пожаров.

Основная часть. Главным отличием ПССВ от традиционных технологий пенного пожаротушения является то, что вода, воздух и ПО смешиваются непосредственно в рукавной линии и по ней к очагу пожара подается не жидкий раствор воды и ПО, а компрессионная пена (газожидкостная смесь). Кратность получаемой ПССВ компрессионной пены регулируется изменением соотношения вода–ПО–воздух (расхода каждого из компонентов компрессионной пены). В свою очередь, в традиционных технологиях пенного пожаротушения подача пены воздушно-пенными стволами возможна только с фиксированным значением кратности. ПССВ 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 пожаров. Сухая компрессионная пена обладает высокой прилипающей способностью. Это позволяет наносить ее как на горизонтальные, так и на вертикальные поверхности, создавая тем самым защитный слой, который способствует прекращению горения, а также предотвращает воспламенение покрытых поверхностей.

Доставка компрессионной пены от ПССВ к месту пожара осуществляется по рукавным линиям, при этом для рабочих рукавных линий рекомендуется использовать пожарные напорные рукава с внутренним диаметром 38 или 51 мм, а для магистральных – с внутренним диаметром 66 мм (рис. 1). Как показывают результаты исследований, вес рукавной линии, заполненной компрессионной пеной, в 2 раза меньше веса рукавной линии, заполненной водой. Это предоставляет ствольщику возможность оперативно менять позицию при необходимости тушения широкого фронта пожара.

Одной из основных тактико-технических характеристик ПССВ является предельная дальность подачи компрессионной пены. Для определения ее значения можно использовать разработанную инженерную методику гидравлического расчета рукавных линий ПССВ [11]. В качестве примера гидравлического расчета рукавной линии рассмотрен образец отечественной ПССВ 4/7-50. В соответствии с техническими характеристиками выбранной ПССВ определены исходные данные для расчета (табл. 1).



a – подача одного ручного ствола; *б* – подача 3 ручных стволов
Рисунок 1. – Схемы боевого развертывания от ПССВ

Таблица 1. – Исходные данные для гидравлического расчета

Наименование параметра	Значение
Объемный расход воздуха при атмосферном давлении – $Q_{\text{возд}}$, $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	20
Объемный расход раствора воды и ПО – Q_2 , $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	1–5
Диаметр рукавной линии – D , 10^{-3} м	51
Плотность раствора воды и ПО – ρ_2 , $\text{кг}/\text{м}^3$	998
Избыточное давление на входе в рукавную линию – $p_{\text{изб}}$, Па	1 000 000
Атмосферное давление – $p_{\text{атм}}$, Па	101 325
Избыточное давление перед пожарным стволом – $p_{\text{ств}}$, Па	200 000

При определении предельной дальности подачи компрессионной пены от ПССВ рассматриваются два варианта: подача мокрой компрессионной пены (расход раствора воды и ПО равен 5 л/с) и сухой компрессионной пены (расход раствора воды и ПО равен 1 л/с).

Гидравлический расчет рукавной линии при подаче мокрой компрессионной пены. Газосодержание компрессионной пены в начале рукавной линии определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{Q_{\text{возд}} \cdot p_{\text{атм}}}{Q_{\text{возд}} \cdot p_{\text{атм}} + Q_2 \cdot (p_{\text{атм}} + p_{\text{изб}})} = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 101325 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot (101325 + 10^6)} = 0,27.$$

Тогда приведенный коэффициент гидравлического трения равен

$$\lambda_{\text{прив}} = 18 \cdot 10^{-6} e^{12\varphi} + 0,032 = 18 \cdot 10^{-6} e^{12 \cdot 0,27} + 0,032 = 0,0325.$$

Удельные потери давления в рукавной линии в этом случае составят

$$\Delta p_{\text{уд}} = \frac{8\rho_2}{\pi^2 D^5} \lambda_{\text{прив}} Q_2^2 = \frac{8 \cdot 998}{3,14^2 \cdot 0,051^5} 0,0325 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 = 1907 \text{ Па}/\text{м}.$$

Максимальные потери давления в рукавной линии, в свою очередь,

$$\Delta p = p_{\text{изб}} - p_{\text{ств}} = 1000000 - 200000 = 800000 \text{ Па}.$$

Тогда предельная дальность подачи мокрой компрессионной пены от ПССВ будет

$$l = \frac{\Delta p}{p_{\text{уд}}} = \frac{800000}{1907} = 420 \text{ м}.$$

С учетом стандартной длины напорных пожарных рукавов (20 м) определяется максимальное количество рукавов в линии:

$$n = \frac{l}{20} = \frac{420}{20} = 21.$$

Таким образом, от ПССВ 4/7-50 можно подать мокрую компрессионную пену по горизонтальной рукавной линии с внутренним диаметром 51 мм длиной до 420 м, состоящей из 21 пожарного рукава соответствующего диаметра.

Гидравлический расчет рукавной линии при подаче сухой компрессионной пены. Газо-содержание компрессионной пены в начале рукавной линии определяется по формуле

$$\varphi = \frac{Q_{\text{возд}} \cdot p_{\text{атм}}}{Q_{\text{возд}} \cdot p_{\text{атм}} + Q_2 \cdot (p_{\text{атм}} + p_{\text{изб}})} = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 101325 + 10^{-3} \cdot (101325 + 10^6)} = 0,65.$$

Здесь приведенный коэффициент гидравлического трения равен

$$\lambda_{\text{прив}} = 18 \cdot 10^{-6} e^{12\varphi} + 0,032 = 18 \cdot 10^{-6} e^{12 \cdot 0,65} + 0,032 = 0,0759,$$

а удельные потери давления в рукавной линии соответственно

$$\Delta p_{\text{уд}} = \frac{8\rho_2}{\pi^2 D^5} \lambda_{\text{прив}} Q_2^2 = \frac{8 \cdot 998}{3,14^2 \cdot 0,051^5} 0,0759 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2 = 178 \text{ Па/м.}$$

Максимальные потери давления в рукавной линии, как и в предыдущем случае

$$\Delta p = p_{\text{изб}} - p_{\text{ств}} = 1000000 - 200000 = 800000 \text{ Па.}$$

Тогда предельная дальность подачи сухой компрессионной пены от ПССВ составит

$$l = \frac{\Delta p}{p_{\text{уд}}} = \frac{800000}{178} = 4494 \text{ м.}$$

С учетом стандартной длины напорных пожарных рукавов (20 м) определяется максимальное количество рукавов в линии:

$$n = \frac{l}{20} = \frac{4494}{20} = 224.$$

Таким образом, от ПССВ 4/7-50 можно подать сухую компрессионную пену по горизонтальной рукавной линии с внутренним диаметром 51 мм длиной до 4494 м, состоящей из 224 пожарных рукавов соответствующего диаметра.

Сопоставление результатов проведенных расчетов указывает на значительное увеличение предельной дальности подачи компрессионной пены во втором случае. Однако необходимо учитывать, что при подаче компрессионной пены на значительные расстояния газо-содержание потока по длине рукавной линии будет возрастать. Это приведет к изменению параметров газожидкостного потока (скорость, плотность), что может привести к расслоению потока (изменению структуры потока с вспененной на пробковую или расслоенную) и, как следствие, прекращению подачи компрессионной пены. Таким образом, определение предельной дальности подачи компрессионной пены требует дополнительных исследований влияния параметров газожидкостного потока на его структуру.

Для тушения пожаров на вышележащих этажах высотных зданий магистральные рукавные линии должны прокладываться с установкой двух разветвлений (рис. 2): одного – в начале вертикальной магистральной линии (№ 1), второго – на один этаж ниже этажа пожара (№ 2).

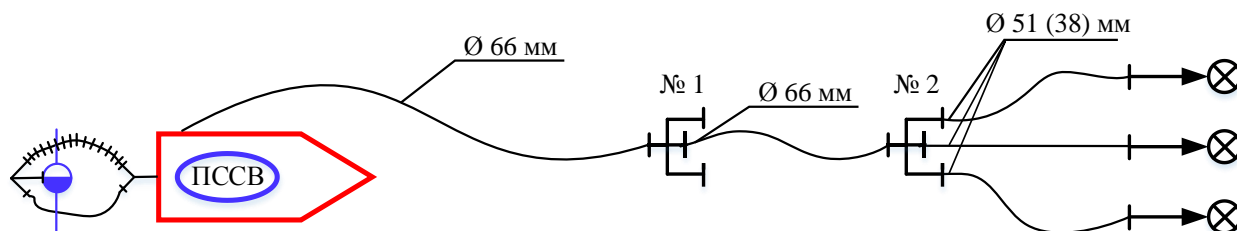


Рисунок 2. – Подача 3 ручных стволов от ПССВ на высоту до 100 м

В соответствии с результатами натурных испытаний ПССВ [10] предельная высота подачи компрессионной пены по рукавной линии и сухотрубам при давлении на насосной установке 700–1000 кПа составляет: для мокрой – 75 м, для сухой – 100 м. Причем при использовании рукавной линии с внутренним диаметром 51 мм удельные потери давления по высоте составляют: для мокрой – 5,6÷6,7 кПа/м, а для сухой – 4,0÷6,4 кПа/м.

При подаче компрессионной пены на высоту с использованием перекрывных ручных пожарных стволов обнаружено, что закрытие ствола на время более минуты приводит к образованию в магистральной (вертикальной) рукавной линии воздушной пробки. Это является следствием действия на компоненты компрессионной пены сил тяжести, что приводит к стеканию жидкой фазы в нижнюю часть вертикальной рукавной линии и подъему газовой фазы. При последующем открытии ствола первоначально из него будет осуществляться подача воздуха, сопровождающаяся сильными рывками ствола. Через промежуток времени 1–2 мин (в зависимости от длины рукавной линии) поток нормализуется и из ствола пойдет компрессионная пена.

Для подачи компрессионной пены рекомендуется использовать пожарные стволы, формирующие компактную струю огнетушащего вещества. Подача компрессионной пены распыленной струей приводит к уменьшению ее кратности и, как следствие, понижению эффективности пожаротушения.

Во время экспериментальных исследований [10] обнаружено, что при достижении некоторого минимального значения концентрации ПО в воде прекращается подача компрессионной пены от ПССВ, что в условиях тушения пожара недопустимо. В связи с этим были определены минимально допустимые концентрации содержания ПО в воде для получения компрессионной пены с применением ПССВ: ОПС-0.4 – 0,4 %, Синтек-6НС и «Барьер-пленкообразующий» 6НС – 2 %.

Помимо того при проведении экспериментальных исследований было определено, что при значении избыточного давления перед пожарным стволом в диапазоне 100–200 кПа дальность подачи струи составляет порядка 25–30 м. Это является следствием ускорения потока компрессионной пены на выходе из насадка пожарного ствола из-за расширения воздуха. При таком значении давления для работы с пожарным стволом достаточно одного человека (ствольщика), а значение дальности подачи струи соответствует нормативной глубине тушения фронта пламени. Для сравнения можно отметить, что рабочее давление раствора воды и ПО перед воздушно-пенными стволами должно быть 600 кПа, вследствие чего для работы с каждым стволом предусматриваются два человека.

В результате сравнительных исследований [10] тушения условного очага пожара класса А компрессионной пеной и воздушно-механической пеной низкой кратности, полученной с использованием ручного воздушно-пенного ствола СВП-2, на тушение компрессионной пеной потребовалось в 2 раза меньше времени и расходовано в 2 раза меньше воды и в 5 раз меньше ПО, чем при использовании ствола СВП-2. Это позволяет говорить о превосходящей огнетушащей эффективности ПССВ над традиционными технологиями тушения пеной низкой кратности.

Отдельно стоит отметить, что значение концентрации ПО при подаче на тушение условного очага пожара компрессионной пены не оказывает влияния на время тушения пожара и требуемое количество воды. Это позволяет без уменьшения эффективности тушения пожаров ПССВ использовать для подачи компрессионной пены минимально допустимое значение концентрации для конкретного ПО.

Результаты натурных испытаний ПССВ при температуре окружающей среды -20 °С показали, что в условиях низких температур компрессионная пена в рукавной линии промерзает, но не создает ледяных пробок и не наносит повреждений пожарным рукавам. Для восстановления работоспособности рукавной линии достаточно возобновить подачу компрессионной пены от ПССВ в обычном режиме. Замерзший слой компрессионной пены разрушится и выйдет из рукавной линии через открытый ручной ствол. Для более оперативного восстановления работоспособности рукавной линии, проложенной на земле, необходимо деформировать структуру замерзшей компрессионной пены путем предварительного протаптывания рукавной линии и дальнейшей подачи компрессионной пены.

Заключение. По результатам анализа теоретических и экспериментальных исследований сформулированы отличительные особенности применения ПССВ для тушения пожаров, которые учитывают отличие тактико-технических характеристик ПССВ от традиционных технологий пенного пожаротушения, что позволило определить область применения ПССВ:

- тушение пожаров в зданиях высотой до 100 м;
- тушение пожаров в резервуарах подслоным способом;
- тушение пожаров при недостатке воды;

– тушение пожаров на иных объектах, где исходя из складывающейся обстановки необходимо применение пены низкой кратности, в том числе для нанесения защитного (экранирующего) слоя.

Наиболее целесообразно использовать ПССВ при необходимости подачи огнетушащего вещества на высоту до 100 м, а также при недостатке воды и в случаях, когда применение воды способно нанести крупный косвенный ущерб.

Применение ПССВ для тушения пожаров с учетом указанных отличительных особенностей позволит в полной мере раскрыть преимущества ПССВ и использовать их пожарными подразделениями МЧС Республики Беларусь максимально эффективно.

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. Навроцкий, О.Д. Исследование параметров пены, подаваемой с помощью пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / О. Д. Навроцкий [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 2 (30). – С. 125–132.
3. Навроцкий, О.Д. Пеногенерирующие системы со сжатым воздухом – средство пенного пожаротушения нового поколения / О. Д. Навроцкий [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2012. – № 1 (15). – С. 22–31.
4. Taylor, R.G. Technical Report 98: Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions / R. G. Taylor. – Morristown Fire Bureau – Morristown, New Jersey. – 1998. – Pp. 75–112.
5. Бурдин, А.М. Установки пожаротушения с использованием компрессионной пены. Технологические особенности и преимущества / Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXVII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию МЧС России. В 3 ч. – М.: ВНИИПО, 2015. – Ч. 2. – С. 274–286.
6. Махачей, П.С. Возможность использования пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданиях / П.С. Махачей [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тезисов докладов VI междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8–9 июня. 2011 г.: в 2 т. / М-во чрезв. ситуаций Респ. Беларусь; редкол.: А. Ю. Лупей [и др.] – Минск, 2011. – Т. 2 – С. 45–48.
7. Record height with sky CAFS. [Electronic resource] // Rosenbauer. – Mode of access: <http://rosenbauer.t3.world-direct.at/en/landing-pages-newsletter/2010-08-newsletter-rbi/record-height-with-sky-cafs>. – Date of access: 05.01.2015.
8. Малашенко, С.М. Устройство врезки в продуктопровод для подачи воздушно-механической огнетушащей пены в горящий резервуар / С.М. Малашенко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2 (32). – С. 148–156.
9. Корольченко, Д.А. Анализ огнетушащей эффективности пен низкой кратности, полученных из фторсодержащих и углеводородных пенообразователей / Д.А. Корольченко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2 (32). – С. 148–156.
10. 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. – № 1 (1). – С. 44–53.
11. Камлюк, А.Н. Инженерная методика гидравлического расчета прорезиненных рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин // Вестник фонда фундаментальных исследований. – 2017. – № 1. – С. 51–62.

PARTICULARITIES OF EXTINGUISHING BY COMPRESSED AIR FOAM SYSTEMS

Andrei Kamluk, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Aliaksandr Grachulin, PhD in Technical Sciences

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The paper is devoted to the justification of the tactical and technical characteristics and application methods of compressed air foam systems to extinguish fires.

Methods. Analysis of the results of experimental studies of compressed air foam systems and the results of calculations of the engineering method of hydraulic calculation of rubber hose lines of compressed air foam.

Findings. Extinguishing of conditional hearth Class A fire by compression foam required 2 times less time and extinguishing substances than with using the barrel SVP-2.

There is the possibility of supplying compression foam to 18, 25 and 32 floors of high-rise buildings. The pressure drop along the length of hose line when applying dry compression foam were lower than when applying wet compression foam. Use of compressed air foam at low temperatures in hose line does not create ice plugs and does not cause damage to fire hose.

Application field of research. The research results can be used in fire rescue departments for fire-fighting by compressed air foam system.

Conclusions. The analysis defines the distinctive features which differ compressed air foam systems from traditional foam fire extinguishing technologies in tactical and technical characteristics.

The field of application of foam generating systems with compressed air is defined.

Keywords: compressed air foam system; fire extinguishing; compressed air foam; engineering calculation technique.

(The date of submitting: February 14, 2018)

REFERENCES

1. Baratov A.N. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya* [Fire and explosion hazard substances and materials and their means of extinguishing]. Reference book: in 2 books. M.: Khimiya, 1990. Book 1. 496 p. (rus)
2. Navrotsky O.D., Zanevskaya Yu.V., Karpenchuk I.V., Emel'yanov V.K., Grachulin A.V. Issledovanie parametrov peny, podavaemoy s pomoshch'yu penogeneriruyushchikh sistem so szhatym vozdukhom [Research foam parameters supplied by compressed air foam systems]. *Chrezvychnyye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*. 2011. No. 2 (30). Pp. 125–132. (rus)
3. Navrotsky O.D., Zanevskaya Yu.V., Emel'yanov V.K., Kamlyuk A.N., Karpenchuk I.V., Grachulin A.V. Penogeneriruyushchie sistemy so szhatym vozdukhom – sredstvo pennogo pozharotusheniya novogo pokoleniya [Compressed air foam systems – tool a new generation of foam extinguishing]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2012. No. 1 (15). Pp. 22–31. (rus)
4. Taylor R.G. Technical Report 98: Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions. *Morristown Fire Bureau*. Morristown, New Jersey. 1998. Pp. 75–112.
5. Burdin A.M. Ustanovki pozharotusheniya s ispol'zovaniem kompressionnoy peny. Tekhnologicheskie osobennosti i preimushchestva [Extinguishing installations with compression foam. Technological features and advantages]. / *Aktual'nye problemy pozharoy bezopasnosti: materialy XXVII Mezhdunar. nauch.-prakt. Konf., posvyashchennoy 25-letiyu MChS Rossii* [Actual fire safety problems: materials XXVII Intern. scientific-practical. Conf., Dedicated to the 25th anniversary of the Russian Emergencies Ministry]. In 3 parts. M.: VNIPO, 2015. Part 2. Pp. 274–286. (rus)
6. Makhakhey P.S. Vozmozhnost' ispol'zovaniya penogeneriruyushchikh sistem so szhatym vozdukhom dlya tusheniya pozharov v zdaniyakh povyshennoy etazhnosti i vysotnykh zdaniyakh [The possibility of using compressed air foam systems to extinguish fires in high-rise buildings] *Chrezvychnyye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya: Sbornik tezisov dokladov VI mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Emergency situations: prevention and elimination: A book of abstracts VI Intern. scientific-practical. Conf.] In 2 parts. M-vo chrezv. situatsiy Resp. Belarus'. Minsk, 2011. Part 2. Pp. 45-48. (rus)
7. *Record height with sky CAFS. Rosenbauer*, available at: <http://rosenbauer.t3.world-direct.at/en/landing-pages-newsletter/2010-08-newsletter-rbi/record-height-with-sky-cafs> (accessed: January 05, 2015).

8. Malashenko S.M. Ustroystvo vrezki v produktoprovod dlya podachi vozdušno-mekhanicheskoy ogetushashchey peny v goryashchiy rezervuar [Device of prick into product pipeline for supplying air-mechanical foam extinguishing on a burning tank]. *Chrezvychnyye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*. 2012. No. 2 (32). Pp. 148–156. (rus)
9. Korolchenko D. Analysis of extinguishing efficiency of low expansion foam produced from fluorine containing and hydrocarbonic foam compounds. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2016. No. 3. Pp. 37–43. (rus)
10. Kamlyuk A.N., Navrotsky O.D., Grachulin A.V. Tushenie pozharov penogeneriruyushchimi sistemami so szhatym vozdukhom [Fire extinguishing by compressed air foam systems]. *Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchity MChS Belarusi*. 2017. No. 1 (1). Pp. 44–53. (rus)
11. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. Inzhenernaya metodika gidravlicheskogo rascheta prorezinennykh rukavnykh liniy penogeneriruyushchikh sistem so szhatym vozdukhom [Engineering method of hydraulic calculation of rubber hose lines of compressed air foam system]. *Vestnik fonda fundamental'nykh issledovaniy*. 2017. No. 1. Pp. 51–62. (rus)