

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-1.81>

УДК 614.842.615

## НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВУ И ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ УСТАНОВОК ГЕНЕРИРОВАНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ И МЕТОДИКА ИХ ИСПЫТАНИЙ

Навроцкий О.Д., Камлюк А.Н., Грачулин А.В., Лихоманов А.О.,  
Скорунич И.С., Гусаров И.С., Полочанин Н.С.

*Цель.* Сформулировать научно-обоснованные требования к устройству и техническим характеристикам установок генерирования компрессионной пены и разработать методику их испытаний.

*Методы.* Теоретический анализ, технический осмотр, натурные испытания.

*Результаты.* В результате проведенной научно-исследовательской работы совместно с ОАО «Управляющая компания холдинга "Минский моторный завод"» разработан и изготовлен экспериментальный образец установки генерирования компрессионной пены. Сформулированы научно-обоснованные требования к устройству и техническим характеристикам такой установки. Определено, что экспериментальный образец установки генерирования компрессионной пены обеспечивает работу в следующих основных режимах: подача воды на тушение пожара; подача раствора смачивателя на тушение пожара; подача компрессионной пены на тушение пожара.

*Область применения исследований.* Сформулированные научно-обоснованные требования к устройству и техническим характеристикам установки генерирования компрессионной пены и разработанная методика ее испытаний будут использованы в технических условиях при производстве на ОАО «Управляющая компания холдинга "Минский моторный завод"», а также других предприятиях.

*Ключевые слова:* установка генерирования компрессионной пены, тушение пожара, компрессионная пена, технические характеристики, пенообразователь.

(Поступила в редакцию 12 января 2021 г.)

### Введение

Наиболее распространенным средством тушения пожаров твердых веществ и материалов (пожаров класса А) является вода, т.к. она имеет высокие показатели теплоты парообразования, теплоемкости и низкую теплопроводность. Основным механизмом огнетушащего действия воды – охлаждение горючего вещества ниже температуры воспламенения. Кроме того, при поглощении тепла и переходе воды в пар он препятствует поступлению кислорода к горящему материалу.

Из-за высокого поверхностного натяжения вода обладает низкой смачивающей способностью, вследствие чего быстро стекает с горящих объектов, и значительная часть ее не участвует в процессе тушения. При использовании обычных пожарных стволов, формирующих компактную струю, эффективный расход воды при тушении пожаров класса А составляет не более 10–20 %. В связи с этим приходится увеличивать интенсивность подачи и расход воды в процессе тушения.

Возможности повышения огнетушащей эффективности воды могут быть связаны с обоснованным выбором оптимальной дисперсности распыленных струй воды, снижения поверхностного натяжения, повышения смачивающей способности. Этого можно достичь несколькими способами, в том числе использованием пенообразователей на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) для получения пены низкой кратности. За рубежом для тушения пожаров твердых веществ и материалов используют специальные пенообразователи (class A foam, пенообразователи класса WA<sup>1</sup>), рабочая концентрация которых составляет 0,3–1,0 %, что в 6–20 раз ниже концентрации обычных пенообразователей, используемых для тушения пожаров горючих и легковоспламеняющихся жидкостей.

<sup>1</sup> Государственный стандарт Республики Беларусь. Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016. – Введ. 12.07.16. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2016. – 18 с.

В настоящее время для получения воздушно-механической пены низкой кратности используют стволы воздушно-пенные, пенные оросители, стволы высокого давления с пенным насадком, генераторы пены низкой кратности, стволы многофункциональные ручные и лафетные с соответствующими приспособлениями [1]. Основным механизмом действия указанных приборов является эжекция атмосферного воздуха в поток водного раствора пенообразователя при нормальном давлении и последующее образование пены.

Альтернативным способом получения пены является принудительное введение воздуха в раствор пенообразователя с помощью компрессора. За рубежом такие системы называются *compressed air foam systems* или *CAFS* (в переводе с англ. – устройства генерирования компрессионной пены, сокращено УГКП) и в последнее время получили широкое распространение [2–9].

Современные УГКП представляют собой комбинированные устройства, состоящие из трех основных элементов: пожарного насоса, воздушного компрессора и системы дозирования пенообразователя. Пенообразователь, воздух и вода смешиваются непосредственно в системе. В результате образуется однородная пена высокого качества, которая подается по рукавам к месту пожара. Управляет процессом смешения специальное устройство – контроллер системы дозирования пенообразователя. С помощью контроллера задается концентрация пенообразователя, которая поддерживается в автоматическом режиме.

Анализ результатов исследований зарубежных авторов позволил установить, что технология тушения компрессионной пеной с помощью УГКП имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными технологиями тушения пожаров [2–9]:

- вес рукавной линии составляет около 50 % веса стандартного рукава с чистой водой либо раствором пенообразователя (смачивателя), что экономит силы пожарных. Низкий вес рукава с компрессионной пеной позволяет ствольщику быстро маневрировать, выбирая наилучшую позицию для атаки 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;

- при воздействии низких температур компрессионная пена промерзает по диаметру рукава на глубину 7–10 мм. Замерзший слой образует настовую корочку, обладающую отличным теплоизолирующим эффектом, в результате чего значительно увеличивается время на дальнейшее промерзание сердцевины рукава. Таким образом, рукав восстанавливает работоспособность без дополнительных действий. Достаточно открыть подачу компрессионной пены в обычном режиме, и замерзший слой пены разрушается и ликвидируется через открытый ручной ствол. Для того чтобы быстро восстановить работу полностью промерзшего рукава, необходимо деформировать структуру замерзшей пены путем протапывания рукава и дальнейшей подачи компрессионной пены через ручной ствол.

УГКП постепенно появляются на вооружении в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, где названы пеногенерирующими системами со сжатым воздухом (ПССВ) [10–12]. К сожалению, ряд недостатков, имеющихся у первых отечественных ПССВ (относительно большая масса и габариты, а также неоптимизированное по кратности генерируемой пены насосное оборудование) не позволили широко применять данное устройство в подразделениях по чрезвычайным ситуациям. По этой причине формулировка научно-обоснованных требований к устройству и техническим характеристикам УГКП, а также разработка методики их испытаний являются актуальными задачами.

### Основная часть

**Определение технических требований к УГКП.** Анализ известных конструкций УГКП, а также результаты исследований технических характеристик и испытаний таких установок, проведенных в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси, а также за рубежом [2–12], позволили сформулировать основные требования к разрабатываемому экспериментальному образцу УГКП:

1. В конструкции УГКП необходимо предусмотреть следующие основные элементы: двигатель внутреннего сгорания, электрогенератор, аккумулятор, пожарный одноступенчатый центробежный насос, воздушный компрессор, насос для пенообразователя, систему для забора воды. При этом в целях повышения мобильности опытной установки и возможности ее подключения к пожарным автоцистернам в полевых условиях (для заправки установки огнетушащими веществами) при проведении испытаний целесообразно смонтировать агрегаты опытного образца УГКП на базе прицепного шасси.

2. Экспериментальный образец УГКП необходимо комплектовать агрегатами малой мощности (насос, пеносмеситель, двигатель и т.д.). Это обусловлено функциональным назначением экспериментального образца, на котором планируется отработать технологию смешивания огнетушащих веществ и их подачи в очаг пожара. Изначальное изготовление УГКП с агрегатами повышенной мощности приведет к экономически необоснованным расходам на огнетушащие вещества и горюче-смазочные материалы. Кроме того, потребуется большее число персонала для обслуживания УГКП в ходе испытаний.

3. В конструкции разрабатываемого экспериментального образца УГКП необходимо использовать унифицированные конструктивные решения, которые можно будет применять при проектировании УГКП с расположением на пожарной автоцистерне с приводом всех агрегатов от двигателя автомобиля через коробку отбора мощности.

4. С учетом концепции универсальности установок УГКП, сформированной в результате опытной эксплуатации за рубежом, в экспериментальном образце УГКП необходимо предусмотреть отдельный выход сжатого воздуха из компрессора для привода пожарного аварийно-спасательного инструмента либо иных пневматических инструментов.

5. УГКП должна обеспечивать работу в следующих основных режимах:

- подачи воды;
- подачи раствора пенообразователя (смачивателя);
- подачи компрессионной пены;
- подачи сжатого воздуха для привода пневматического инструмента и оборудования.

6. УГКП должна включать следующие сборочные единицы, узлы и комплектующие:  
– базовое шасси – одноосный прицеп;  
– модуль с УГКП (включающий двигатель внутреннего сгорания, электрогенератор, аккумулятор, пожарный одноступенчатый центробежный насос, воздушный компрессор, насос для пенообразователя).

7. Основные параметры УГКП должны соответствовать приведенным в таблице 1 и обеспечиваться при температуре окружающего воздуха 293 К (+20 °С) и атмосферном давлении 0,1 МПа (760 мм рт. ст.).

8. УГКП на прицепном шасси должна иметь отсек для пожарно-технического вооружения (ПТВ) с объемом, достаточным для размещения:

- пожарные напорные рукава с внутренним диаметром 51 мм – 2 шт.;
- ручной пожарный ствол с присоединительной головкой диаметром 66 мм и диаметром насадка 19 мм – 1 шт.
- пожарная переходная головка с 51 на 66 мм – 1 шт.

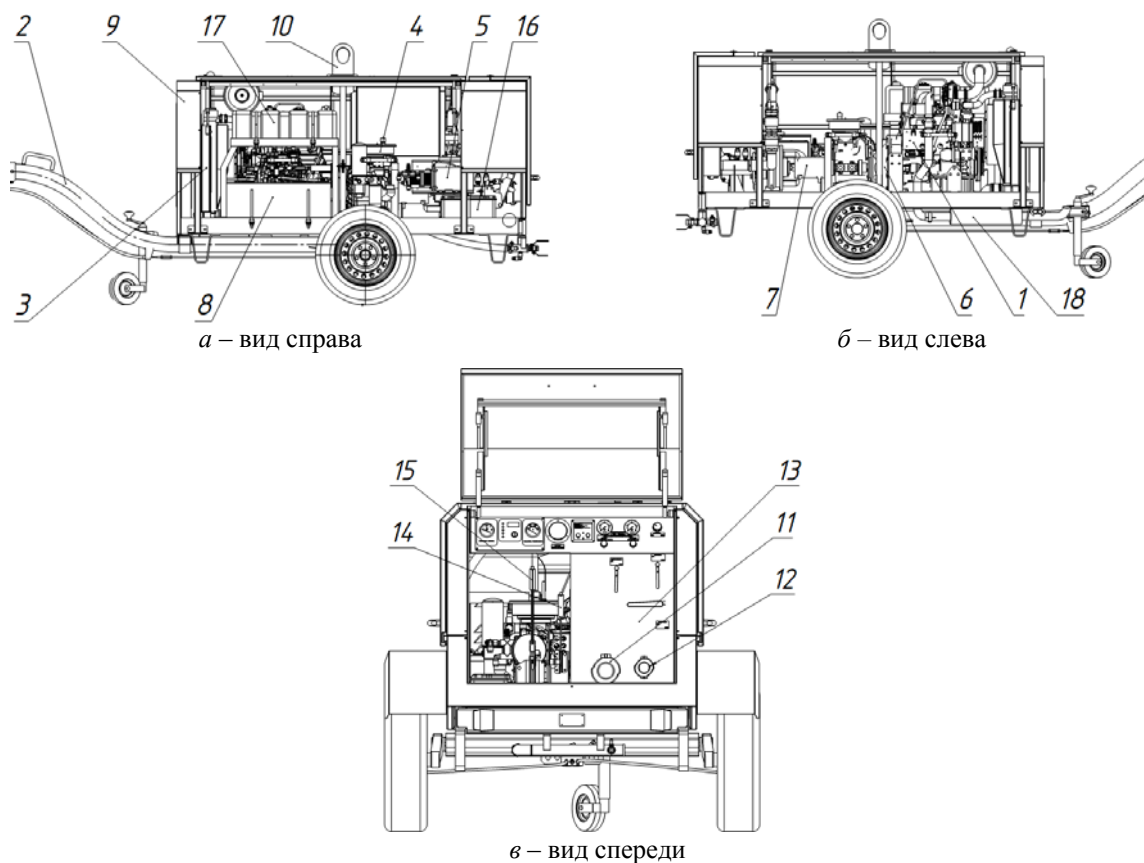
С учетом указанных требований в ходе опытно-конструкторских работ Университетом гражданской защиты МЧС Беларуси совместно с ОАО «Управляющая компания холдинга "Минский моторный завод"» был разработан экспериментальный образец УГКП 2/8-50 (П) ТУ ВУ 192695026.010-2020. Внешний вид УГКП приведен на рисунке 1, схема расположения основных узлов УГКП приведена на рисунке 2.

Таблица 1. – Требования к параметрам УГКП

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Номинальная производительность, не менее:	
1.1	компрессора (по воздуху), м <sup>3</sup> /мин	2
1.2	насоса (по воде), л/мин	600
1.3	насоса-дозатора (по пенообразователю), л/мин	4,5
2	Номинальное избыточное давление, не менее:	
2.1	компрессора, МПа	0,6–0,8
2.2	насоса, МПа	0,6
2.3	насоса-дозатора, МПа	2,0
3	Производительность установки по пене, л/м, не менее	1200
4	Рабочее (синхронизированное) давление установки, МПа	0,4–0,8
5	Кратность генерируемой пены, не менее	4
6	Номинальная геометрическая высота всасывания, м	1,5
7	Максимальная геометрическая высота всасывания, м, не менее	5
8	Время (длительность) всасывания с максимальной геометрической высоты всасывания, с, не более	40
9	Давление на входе в компрессор, МПа	0,1
10	Максимальное рабочее давление на входе в насос, МПа	0,6
11	Максимальное рабочее давление на выходе из насоса, МПа	1,0
12	Температура воздуха на выходе из компрессора (в нагнетательном патрубке), К (°С), не более	391 (118)
13	Расход масла компрессора (унос с воздухом), г/м <sup>3</sup> , не более	0,003
14	Условный диаметр всасывающего патрубка, мм	80
15	Количество напорных патрубков для подачи огнетушащего вещества (условный диаметр, мм)	1 (50)
16	Количество раздаточных вентилях сжатого воздуха	1
17	Номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин, не более	3000
18	Давление масла в системе смазки двигателя при эксплуатационной мощности, МПа	0,25–0,35
19	Температура жидкости в системе охлаждения двигателя, К (°С), не более	373 (100)
20	Удельный расход топлива на режиме эксплуатационной мощности, г/кВт·ч, не более	258
21	Уровень звука в рабочей зоне оператора, дБ, не более	95
22	Габаритные размеры, м, не более: длина (с тормозом наката) ширина высота	3100 (4000) 1650 1800
23	Эксплуатационная масса установки, кг, не более	1800



Рисунок 1. – Внешний вид УГКП 2/8-50



1 – двигатель MMZ-3LDT; 2 – шасси; 3 – блок охлаждения; 4 – винтовой компрессорный модуль EVO3-NK; 5 – дозировочная система пены АДС-6; 6 – сцепление в сборе; 7 – центробежный насос 1KM80-50-200; 8 – бак топливный; 9 – кожух; 10 – стойка подъема; 11 – всасывающий патрубок центробежного насоса; 12 – напорный патрубок центробежного насоса; 13 – пульт управления УГКП; 14 – рычаг управления оборотами двигателя; 15 – рычаг включения сцепления; 16 – батарея аккумуляторная; 17 – бак для пенообразователя; 18 – труба выхлопная с глушителем

Рисунок 2. – Основные узлы УГКП 2/8-50

**Методика испытаний УГКП.** При выполнении измерений рекомендуется применять средства измерений, устройства и вещества, приведенные в таблице 2. Допускается применение другого оборудования и приборов аналогичного типа и класса. Измерения при проведении испытаний УГКП проводят методами непосредственных и косвенных измерений.

Таблица 2. – Применяемые средства измерений, устройства и вещества

Наименование средств измерения	Наименования измеряемых физических величин	Класс точности, погрешность
Барометр aneroid	80–106 кПа	±2 кПа
Гигрометр-термометр цифровой	10–100 %	±3 %
Термометр ртутный	-30 ± 70 °С	2
Весы	0,4–15,0 т на платформу	±20 кг
Весы	0–500 кг	±4 кг
Секундомер	0–30 мин	2
Рулетка	0–10000 мм	3
Линейка металлическая	0–1 м	2
Анемометр крыльчатый	0,3–5,0 м/с	± (0,1 + 0,05 × V <sub>изм</sub> ) м/с
Расходомер электромагнитный	1,25–250,00 м³/ч	±1 %
Динамометр	0–980 Н	±5 Н
Емкость	0,20 ± 0,01 м³	–
Мерный цилиндр ГОСТ 1770	0,1–2,0 дм³	–
Огнетушащий пенообразующий состав ОПС-0,4 по ТУ ВУ 101114857.061-2007	–	–
Ручной пожарный ствол с присоединительной головкой диаметром 66 мм и диаметром насадка 19 мм по СТБ 11.13.14	–	–

При выполнении измерений и испытаний должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С 0...+30;
- температура воды, °С 10...+25;
- относительная влажность воздуха, % 40...95;
- атмосферное давление, кПа 84...100;
- скорость ветра, м/с 0...5.

Методика испытаний УГКП включает следующие этапы:

1. Проверка полной массы.
2. Проверка специальных агрегатов подачи огнетушащих средств:
  - 2.1. Проверка параметров емкости (бака) для пенообразователя.
  - 2.2. Проверка параметров насосной установки:
    - проверка геометрической высоты всасывания;
    - определение интенсивности подачи воды;
    - проверка производительности подачи насоса-дозатора пенообразователя;
    - проверка насоса-дозатора пенообразователя в автоматическом режиме;
    - определение подачи пены;
    - определение кратности пены.

Проверку полной массы проводят с помощью весов. При испытаниях УГКП определяются полная масса и распределение полной массы через шины правой и левой колеи. Проверка массы (взвешивание) производится на весах, установленных на ровной горизонтальной площадке, при неработающем двигателе, закрытых дверях отсеков. Полная масса (с полной заправкой топливом и комплектацией) должна соответствовать п. 23 таблицы 1, а допустимое отклонение распределения нагрузки на колеса правого и левого бортов от фактической полной массы не должно превышать 3 %.

При определении вместимости бака прицеп необходимо установить на ровную поверхность, полностью слить пенообразователь из емкости. Проверка вместимости бака для пенообразователя проводится путем его заполнения с помощью мерного сосуда. Для этого пенообразователь заливается в мерный сосуд и затем из мерного сосуда переливается в емкость. Операция повторяется до полного заполнения бака (до начала перелива через заливное отверстие). Вместимость емкости принимается равной объему пенообразователя, залитого с помощью мерного сосуда. Вместимость бака для пенообразователя должна быть не менее 40 л.

Проверка геометрической высоты всасывания с помощью УГКП в номинальном режиме осуществляется с помощью заглубленной емкости (колодез), секундомера и рулетки в следующем порядке. Устанавливают УГКП рядом с заглубленной емкостью. Подключают ко всасывающей линии УГКП напорно-всасывающий рукав (рукава). На конце рукава устанавливают всасывающую сетку с обратным клапаном. Конец рукава с сеткой погружают в заглубленную емкость. Измеряют геометрическую высоту от всасывающего патрубка УГКП до поверхности воды в емкости. Геометрическая высота должна быть 4,8–5,0 м. Запускают двигатель привода УГКП, устанавливают частоту вращения вала двигателя 2700–3000 об/мин, с помощью сцепления приводят в действие пожарный насос и компрессор. С помощью сжатого воздуха и эжекционного газоструйного насоса засасывают воду в полость пожарного насоса. После заполнения пожарного насоса вода под давлением выбрасывается из подающего напорного патрубка УГКП. Время начала подачи воды из напорного патрубка должно быть не более 40 сек. с момента включения газоструйного насоса.

Определение подачи воды с помощью УГКП в номинальном режиме осуществляется с помощью емкости, манометра и секундомера в следующем порядке. Подключают к подающему напорному патрубку УГКП рукавную линию, состоящую из одного пожарного рукава диаметром 51 мм длиной  $20 \pm 1$  м. На конце рукавной линии ствол не устанавливают, воду подают в канализацию. Забор воды осуществляют из мерной емкости объемом не менее 1000 л с помощью напорно-всасывающего рукава. Запускают двигатель привода УГКП, устанавливают давление на насосе 0,6 МПа и затем приступают к подаче воды в рукавную линию. Подачу воды производят в течение  $60 \pm 5$  с. Измеряют объем поданной воды. Подача воды рассчитывается следующим образом:

$$Q_B = V_B / t_B, \quad (1)$$

где  $Q_B$  – подача воды насосной установкой, л/мин;  $V_B$  – объем воды, забранной из мерной емкости, л;  $t_B$  – время забора воды из емкости, мин.

Насос-дозатор УГКП должен обеспечивать концентрацию пенообразователя в растворе в диапазоне от 0,1 до 1,0 об. %, %. Проверка производительности насоса-дозатора пенообразователя в ручном режиме при частоте вращения вала двигателя 2700–3000 об/мин осуществляется с помощью мерной емкости для пенообразователя и секундомера в следующем порядке. Запускают двигатель привода УГКП. Включают насос-дозатор пенообразователя для работы в ручном режиме, индикатор должен светиться оранжевым цветом. С помощью рукоятки устанавливают максимальную подачу пенообразователя. Из напорного патрубка УГКП подается пенообразователь. После установления равномерного потока пенообразователя включаем секундомер и собираем пенообразователь в мерную емкость. Подача пенообразователя производится в течение  $60 \pm 5$  с. Подача пенообразователя рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{п}} = V_{\text{п}}/t_{\text{п}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – подача пенообразователя, л/мин;  $V_{\text{п}}$  – объем пенообразователя в мерной емкости, л;  $t_{\text{п}}$  – время подачи пенообразователя, мин.

Проверка насоса-дозатора пенообразователя в автоматическом режиме осуществляется с помощью мерной емкости для воды объемом не менее 1000 л и мерного цилиндра для пенообразователя. Заполняют бак для пенообразователя до начала перелива через заливное отверстие. Подключают к подающему напорному патрубку УГКП рукавную линию, состоящую из одного пожарного рукава диаметром 51 мм длиной  $20 \pm 1$  м. На конце рукавной линии устанавливают ручной пожарный ствол с присоединительной головкой диаметром 66 мм и диаметром насадка 19 мм, воду подают в канализацию. Забор воды осуществляют из мерной емкости объемом не менее 1000 л с помощью напорно-всасывающего рукава. Перекрывают кран подачи воды в подающий напорный патрубок. Запускают двигатель привода УГКП, устанавливают давление на насосе 0,6 МПа. Включают насос-дозатор пенообразователя для работы в автоматическом режиме, индикатор должен светиться зеленым цветом. С помощью рукоятки устанавливают подачу пенообразователя на 1 %. Затем приступают к подаче пены в рукавную линию, для чего открывают кран на подающем напорном патрубке. Подачу пены производят в течение  $60 \pm 5$  с. Измеряют объем израсходованной воды и пенообразователя. Объем поданного пенообразователя определяют путем заполнения бака для пенообразователя с помощью мерного сосуда до начала перелива. Определяют концентрацию пенообразователя по формуле:

$$C = V_{\text{п}}/V_{\text{в}}, \quad (3)$$

где  $C$  – концентрация пенообразователя, об. %,  $V_{\text{п}}$  – объем израсходованного пенообразователя, л;  $V_{\text{в}}$  – объем израсходованной воды, л.

Определение производительности УГКП по пене в номинальном режиме осуществляется с помощью мерной емкости и секундомера. Подключают к подающему напорному патрубку УГКП рукавную линию, состоящую из двух пожарных рукавов диаметром 51 мм длиной  $20 \pm 1$  м. На конце рукавной линии устанавливают ствол. Забор воды осуществляют из емкости объемом не менее  $1 \text{ м}^3$  с помощью напорно-всасывающего рукава. Запускают двигатель привода УГКП, устанавливают давление на насосе 0,6 МПа. Включают насос-дозатор пенообразователя для работы в автоматическом режиме, индикатор должен светиться зеленым цветом. С помощью рукоятки устанавливают подачу пенообразователя на 1 %. Затем приступают к подаче воды в рукавную линию, для чего открывают кран на подающем напорном патрубке. Далее включают подачу сжатого воздуха от компрессора УГКП. Через 10–20 с от начала установившегося режима работы установки приступают к заполнению мерной емкости пеной. Подача рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{пена}} = V/t, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{пена}}$  – подача насосной установки по пене, л/мин;  $V$  – объем мерной емкости, л;  $t$  – время заполнения мерной емкости пеной, мин.

Определение кратности пены, получаемой с помощью УГКП, в номинальном режиме осуществляется с помощью мерной емкости и весов. Подключают к подающему напорному патрубку УГКП рукавную линию, состоящую из двух пожарных рукавов диаметром 51 мм длиной  $20 \pm 1$  м. На конце рукавной линии устанавливают ствол. Забор воды осуществляют из емкости объемом не менее  $1 \text{ м}^3$  с помощью напорно-всасывающего рукава. Запускают

двигатель привода УГКП, устанавливают давление на насосе 0,6 МПа. Включают насос-дозатор пенообразователя для работы в автоматическом режиме, при этом индикатор должен светиться зеленым цветом. С помощью рукоятки устанавливают подачу пенообразователя на 1 %. Затем приступают к подаче воды в рукавную линию, для чего открывают кран на подающем напорном патрубке. Далее включают подачу сжатого воздуха от компрессора УГКП. Через 10–20 с от начала установившегося режима работы установки приступают к заполнению мерной емкости пеной. После определяют массу емкости, заполненной пеной. Кратность пены  $K$  рассчитывают по формуле:

$$K = V_{\text{пена}} / V_{\text{П}}, \quad (5)$$

где  $V_{\text{пена}}$  – объем пены,  $\text{дм}^3$ ;  $V_{\text{П}}$  – объем поданного раствора пенообразователя,  $\text{дм}^3$ .

В соответствии с п. 5 таблицы 1 кратность пены должна быть не менее 4. Проводят не менее трех измерений. За результат принимают среднее арифметическое результатов трех испытаний.

Проверку геометрических размеров и параметров проходимости прицепа проводят с помощью рулетки, линейки. При испытаниях определяются следующие размерные параметры:

- габаритные размеры прицепа (длина, ширина, высота);
- дорожный просвет (расстояние между опорной поверхностью и самой нижней точкой центральной части автомобиля).

Значения измеряемых размерных параметров должны соответствовать указанным в п. 22 таблицы 1, при этом дорожный просвет должен быть не менее 200 мм.

### Заключение

На основе анализа известных конструкций УГКП и результатов исследований технических характеристик и испытаний таких установок, проведенных в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси, а также за рубежом [2–12], сформулированы основные требования к устройству и техническим характеристикам УГКП и разработана методика их испытаний. В соответствии с данной методикой проведены испытания экспериментального образца УГКП 2/8-50, разработанного в ходе опытно-конструкторских работ Университетом гражданской защиты МЧС Беларуси совместно с ОАО «Управляющая компания холдинга "Минский моторный завод"».

Испытания УГКП проводились на территории Университета гражданской защиты МЧС Беларуси при следующих условиях окружающей среды:

- температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$  +18...+25;
- температура воды,  $^{\circ}\text{C}$  +15...+18;
- атмосферное давление, кПа 90,7...101,8;
- относительная влажность, % 55...85;
- скорость ветра, м/с 0...1,5.

При проведении испытаний выявлены следующие особенности УГКП 2/8-50, которые рекомендуется учитывать при совершенствовании конструкции:

- установить дополнительный манометр после перекидного вентиля для измерения давления воды в рукавной линии;
- использовать для комплектации УГКП пожарный насос с номинальным избыточным давлением 0,8 МПа при частоте вращения вала двигателя 2700–3000 об/мин;
- установить во всасывающую полость насоса вакуумметр для контроля разрежения, создаваемого эжекционным газоструйным насосом;
- обеспечить синхронизацию давлений воды и воздуха во всех диапазонах;
- доработать функцию забора пенообразователя из посторонней емкости;
- учитывать, что промывка насоса-дозатора подачей воды от пожарного насоса приводит к попаданию воды в бак пенообразователя;
- установить освещение в отсеке управления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с.



2. 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.
3. Colletti, D.J. Class A foam for structure firefighting / D.J. Colletti // Fire Engineering. – 1992. – Vol. 145, No. 7. – P. 47–56.
4. 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.
5. Colletti, D.J. Compressed air foam systems and fire hose / D.J. Colletti // Fire Engineering. – 1996. – Vol. 149. – P. 50–52.
6. 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.
7. Taylor, R.G. Technical Report 98: Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions / R.G. Taylor. – Morristown, New Jersey, 1998. – P. 75–112.
8. Colletti, D.J. Testing CAFS in live burns / D.J. Colletti // Fire Engineering. – 1994. – Vol. 147. – P. 74–76.
9. Fornell, D.P. Fire stream management handbook / D.P. Fornell. – Fire Engineering Books, 1991. – 448 p.
10. Навроцкий, О.Д. Пеногенерирующие системы со сжатым воздухом – средство пенного пожаротушения нового поколения / О.Д. Навроцкий, Ю.В. Заневская, В.К. Емельянов, А.Н. Камлюк, И.В. Карпенчук, А.В. Грачулин // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2012. – № 1 (15). – С. 22–31.
11. 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.
12. Камлюк, А.Н. Особенности применения пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 168–175. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.168.

**Научно-обоснованные требования к устройству и техническим характеристикам установок генерирования компрессионной пены и методика их испытаний**

**Science-based requirements for the design and technical characteristics of the compressed air foam generating systems and their testing technique**

**Навроцкий Олег Дмитриевич**

кандидат технических наук

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

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

e-mail: onav@tut.by

ORCID: 0000-0002-4137-2519

**Oleg D. Navrotskiy**

PhD in Technical Sciences

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

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

e-mail: onav@tut.by

ORCID: 0000-0002-4137-2519

**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

e-mail: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

**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

e-mail: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

**Грачулин Александр Владимирович**

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», ученый секретарь Совета университета

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

e-mail: Grachulin@ucp.by

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», Academic Secretary of the University

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

e-mail: Grachulin@ucp.by

ORCID: 0000-0003-3832-8258

**Лихоманов Алексей Олегович**

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

e-mail: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

**Aleksey O. Likhomanov**

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

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

e-mail: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

**Скорупич Илья Сергеевич**

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», факультет подготовки  
руководящих кадров, магистрант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: skorupich97@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-0523-7261

**Ilya S. Skorupich**

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Administration Training Faculty,  
Graduate Student

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: skorupich97@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-0523-7261

**Гусаров Игорь Сергеевич**

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», факультет  
предупреждения и ликвидации  
чрезвычайных ситуаций, курсант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: igor.gusarov.2000@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-0665-8212

**Igor' S. Gusarov**

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Faculty of Emergency Prevention  
and Elimination, cadet

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: igor.gusarov.2000@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-0665-8212

**Полочанин Никита Сергеевич**

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», факультет  
предупреждения и ликвидации  
чрезвычайных ситуаций, курсант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: nik.polochanin@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-6066-4683

**Nikita S. Polochanin**

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Faculty of Emergency Prevention  
and Elimination, cadet

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: nik.polochanin@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-6066-4683

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-1.81>

## SCIENCE-BASED REQUIREMENTS FOR THE DESIGN AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE COMPRESSED AIR FOAM GENERATING SYSTEMS AND THEIR TESTING TECHNIQUE

Navrotskiy O.D., Kamlyuk A.N., Grachulin A.V., Likhomanov A.O., Skorupich I.S.,  
Gusarov I.S., Polochanin N.S.

*Purpose.* To formulate science-based requirements for the design and technical characteristics of the compressed air foam generating systems and develop their testing technique.

*Methods.* Theoretical analysis, technical inspection, field tests.

*Findings.* As a result of the research work carried out jointly with the Open Joint Stock Company «MINSK MOTOR PLANT» Holding Managing Company an experimental model of the compressed air foam generating system was developed and manufactured. Science-based requirements for the design and technical characteristics for this system have been formulated. It has been established that the experimental model of the compressed air foam generating system provides operation in the following basic modes: water supply for fire extinguishing; delivery of the wetting agent solution for fire extinguishing; compressed air foam supply for fire extinguishing; compressed air supply for operation of pneumatic rescue tools and equipment.

*Application field of research.* The formulated science-based requirements for the design and technical characteristics of the compressed air foam generating system and the developed testing technique will be used in technical specifications during production at the OJSC «MINSK MOTOR PLANT» Holding Managing Company as well as other enterprises.

*Keywords:* compressed air foam generating system, fire extinguishing, compressed air foam, technical characteristics, foaming agent.

(The date of submitting: January 12, 2021)

### REFERENCES

1. 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)
2. 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.
3. Colletti D.J. Class A foam for structure firefighting. *Fire Engineering*, 1992. Vol. 145, No. 7. Pp. 47–56.
4. 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.
5. Colletti D.J. Compressed air foam systems and fire hose. *Fire Engineering*, 1996. Vol. 149. Pp. 50–52.
6. Murdock J.I. Compressed air foam systems: A project pertaining to an adoption decision. (Executive Development Research Paper). Emmitsburg, MD: National Fire Academy. 1997.
7. Taylor R.G. Technical Report 98: Compressed air foam systems in limited staffing conditions. Morristown, New Jersey, 1998. Pp. 75–112.
8. Colletti D.J. Testing CAFS in live burns. *Fire Engineering*, 1994. Vol. 147. Pp. 74–76.
9. Fornell D.P. *Fire stream management handbook*. Fire Engineering, 1991. 448 p.
10. Navrotskiy 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 [Foam generating systems with compressed air – new generation foam fire extinguishing agent]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2012. Vol. 15, No. 1. Pp. 22–31. (rus)
11. Kamlyuk A.N., Navrotskiy O.D., Grachulin A.V. Tushenie pozharov penogeneriruyushchimi sistemami 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.
12. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. Osobennosti primeneniya penogeneriruyushchikh sistem so szhatym vozdukhom dlya tusheniya pozharov [Particularities of extinguishing by compressed air foam systems]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 2. Pp. 168–175. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.168.