

УДК 614.843.4

ПЕНОГЕНЕРАТОР ПОЖАРНОГО СТВОЛА СПРУК 50/0,7 «ВИКИНГ»**Камлюк А.Н., Пармон В.В., Стриганова М.Ю., Морозов А.А., Курочкин А.С.**

Приведены результаты экспериментальных исследований пеногенератора СПРУК 50/0,7 «Викинг» с различным размером ячеек сетки. Представлена испытательная установка, ее характеристики, условия проведения экспериментов. По результатам получены зависимости кратности пены от расхода огнетушащего вещества и характеристик сетки, дано заключение и подготовлены изменения в конструкторскую документацию.

Ключевые слова: пеногенератор, пена низкой кратности, сетка, стенд, дальность пенной струи, кратность пены.

(Поступила в редакцию 20 апреля 2018 г.)

Введение. Опасность пожара, особенно в современной промышленности, чрезвычайно велика. Это обусловлено появлением большого количества новых веществ и материалов, созданных искусственно с помощью достижений химии и физики, широким использованием большого количества нефти, нефтепродуктов и других горючих жидкостей, горючих газов, внедрением в производство энергоемких и сложных технологических процессов, нередко протекающих под большим давлением и с высокими температурами. Для тушения подобных веществ зачастую применение воды не дает положительного результата. В этом случае необходимо применять воздушно-механические пены.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности ручных пожарных стволов является использование в них твердофазных источников поверхностно-активных веществ и водопенных насадков или пеногенераторов, применяемых для подачи воды и пены низкой и средней кратности. Так, в Республике Беларусь для получения воздушно-механической пены широко применяют пожарные стволы воздушно-пенные и стволы воздушно-пенные эжекционные, а также генераторы пены средней кратности. Данные устройства подачи огнетушащих веществ не обладают универсальностью, т. е. неприменимы для подачи воды. Поэтому при необходимости смены вида огнетушащего вещества затрачивается время на смену прибора подачи, что зачастую приводит к увеличению площади пожара.

В 2018 г. на вооружение белорусских спасателей поступил ствол пожарный ручной универсальный комбинированный СПРУК 50/0,7 «Викинг» [1]. Согласно паспортным данным он обладает следующими гидродинамическими параметрами: дальность сплошной струи – 38 м; дальность распыленной струи – 20 м; возможность создания защитного экрана диаметром 4 м; регулируемый расход – до 5,7 л/с; рабочее давление – 0,7 МПа. Кроме того, его конструкция предусматривает возможность использования пеногенератора для получения воздушно-механической пены низкой кратности.

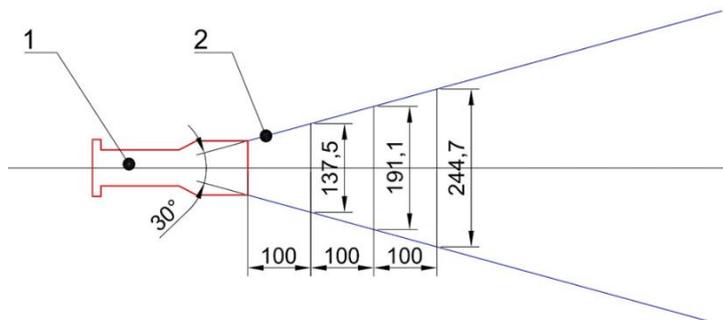
В настоящее время пеногенератор не входит в комплектацию пожарного ствола из-за того, что не были изучены его основные характеристики.

В данной работе будут впервые представлены результаты по разработке и исследованию пеногенератора на пожарный ствол СПРУК 50/0,7 «Викинг».

Описание опытного образца пеногенератора. Основными геометрическими параметрами пеногенератора является его длина и диаметр выходного раструба. При этом ствол с установленным пеногенератором должен иметь определенные тактико-технические характеристики: дальность пенной струи и кратность пены.

Согласно СТБ 11.13.14-2009 [2] дальность пенной струи из стволов с диаметром условного прохода соединительной головки 50 мм составляет не менее 18 м. Исходя из этого необходимо выбирать такой угол факела распыленной струи раствора пенообразователя, при котором ее дальность будет составлять не менее 18 м. Согласно руководству по эксплуатации [1] максимальная дальность распыленной струи СПРУК 50/0,7 «Викинг» достигается при максимальном расходе и угле распыла 30° и составляет 20 м. На рисунке 1 представлены возможные диаметры пеногенератора в зависимости от его длины.

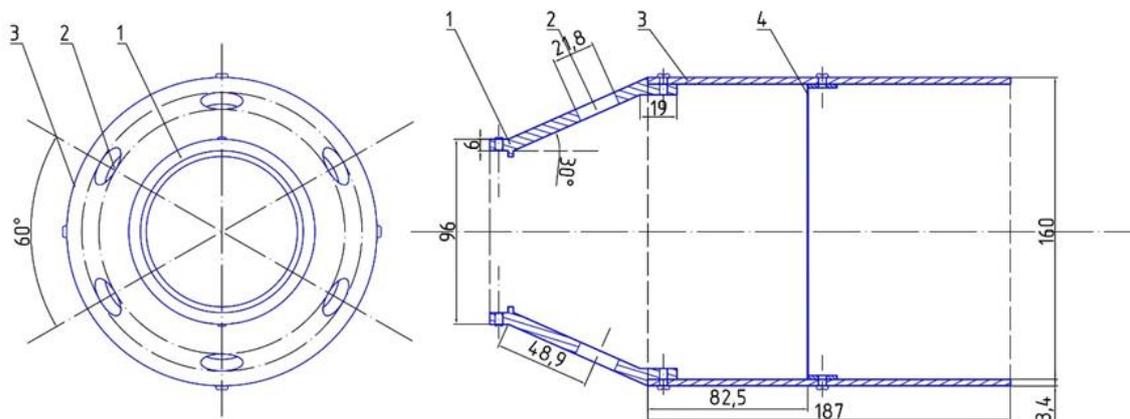
Для удобства работы спасателя-пожарного длину пеногенератора необходимо принимать не более 200 мм. Исходя из параметров распыла струи диаметр пеногенератора принят равным 160 мм, при этом его длина составила 187 мм.



1 – ствол СПРУК 50/0,7 «Викинг»; 2 – раствор пенообразователя

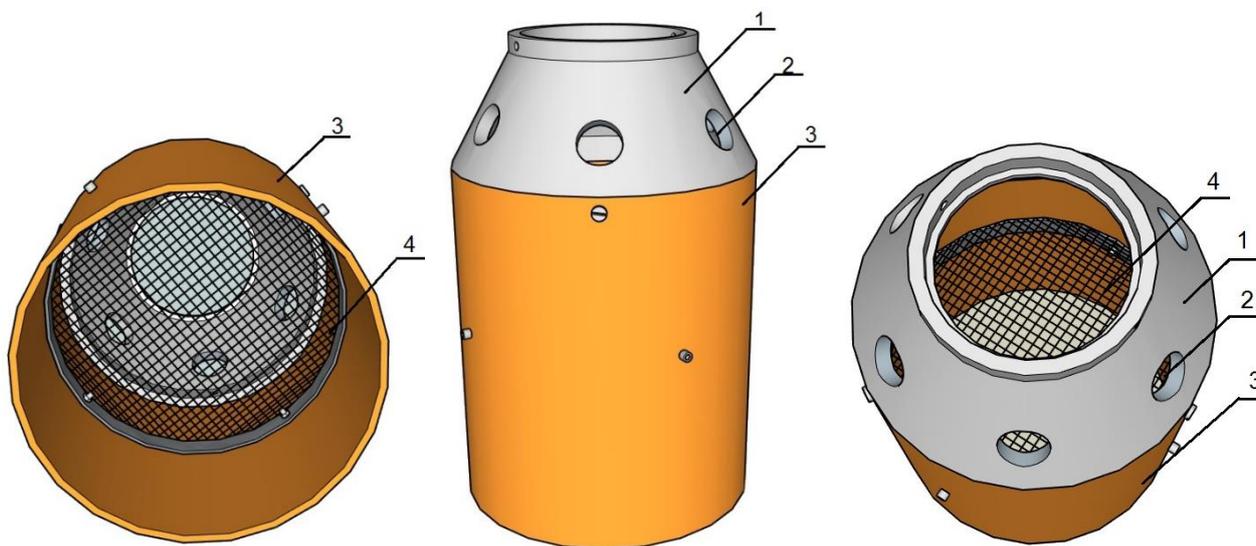
Рисунок 1. – Определение диаметра пеногенератора в зависимости от его длины

Схема и трехмерная модель полученного пеногенератора представлены на рисунках 2 и 3.



1 – крепежная система; 2 – аэрационное отверстие; 3 – раструб; 4 – пеногенирующая сетка

Рисунок 2. – Схема пеногенератора



1 – крепежная система; 2 – аэрационное отверстие; 3 – раструб; 4 – пеногенирующая сетка

Рисунок 3. – Трехмерная модель пеногенератора

При разработке конструкции пеногенератора учтены результаты исследований влияния предварительного газонасыщения пенообразующего раствора [3] и металлической сетки, установленной в раструбе [4], на кратность получаемой воздушно-механической пены.

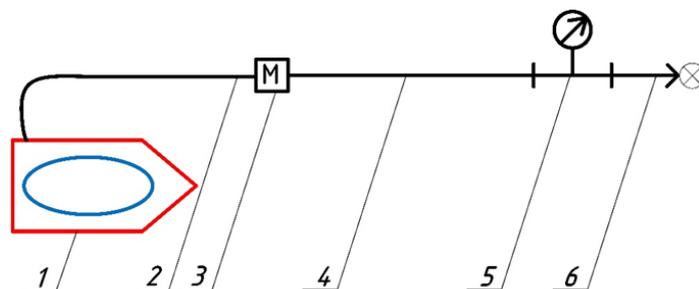
Методика проведения экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования были проведены на базе Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. В ходе их проведения были рассмотрены 7 опытных образцов пеногенератора, отличающиеся друг от друга размером ячейки пеногенирующей сетки (рис. 4).



a – размер ячейки 0,5x0,5 мм; *б* – размер ячейки 0,7x0,7 мм; *в* – размер ячейки 1,0x1,0 мм;
г – размер ячейки 2,0x2,0 мм; *д* – размер ячейки 3,2x3,2 мм; *е* – размер ячейки 4,0x4,0 мм;
ж – размер ячейки 5,0x5,0 мм

Рисунок 4. – Пеногенерирующие сетки

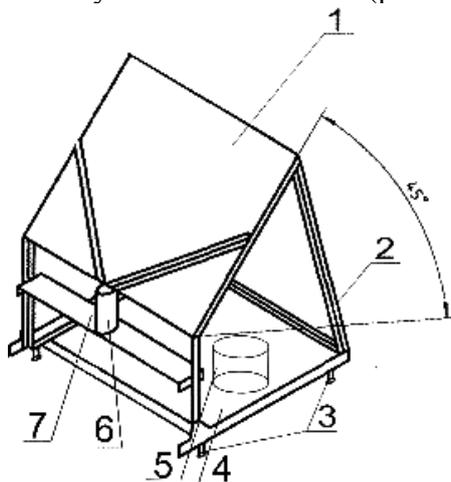
Для проведения исследований ручной пожарной ствол СПРУК 50/0,7 «Викинг» с надетым пеногенератором присоединяли к рукавной линии и пожарной автоцистерне АЦ 5,0-40/4 по схеме, представленной на рисунке 5.



1 – пожарная автоцистерна; *2* – напорный пожарный рукав ($d = 51$ мм, $l = 4$ м);
3 – расходомер электромагнитный РЭМ-02; *4* – напорный пожарный рукав ($d = 51$ мм, $l = 20$ м);
5 – вставка с манометром МП 160 МЧ–1.0 МПа; *6* – СПРУК 50/0,7 «Викинг» с пеногенератором

Рисунок 5. – Схема подключения ствола к пожарной автоцистерне

Исследования по определению кратности пены проводили для каждого из опытных образцов пеногенератора при значении давления 700 ± 20 кПа. Для этого использовали стенд для определения кратности и устойчивости пены (рис. 6) [5].



1 – приемник пены; 2 – каркас; 3 – ножки регулировки высоты; 4 – основание;
5 – груз; 6 – приемный бак; 7 – подставка

Рисунок 6. – Стенд для определения кратности и устойчивости пены низкой кратности

Исследования проводили на открытой площадке при скорости ветра не более 3 м/с. Положение стенда для определения кратности и устойчивости пены низкой кратности по высоте выставили с помощью ножек регулировки высоты (3). Устойчивость стенду придавали с помощью груза (5), который укладывали на основание (4). Далее определяли массу m_1 пустого приемного бака (6) и закрепляли его между приемником пены (1) и подставкой (7). К ручному пожарному стволу СПРУК 50/0,7 «Викинг» присоединяли опытный образец пеногенератора. Ручной пожарный ствол удерживали в горизонтальном положении на высоте $1 \pm 0,2$ м от земли и на расстоянии 15 ± 1 м от стенда. Автоцистерной АЦ 5,0-40/4 в рукавную линию подавали 6%-й водный раствор пенообразователя Синтек-6НС. Давление перед ручным пожарным стволом повышали до контрольного значения (700 ± 20 кПа). Выжидали переход течения водного раствора пенообразователя в рукавах в установившийся режим. После фиксации установившихся показаний манометра и расходомера струю пены направляли на стенд так, чтобы пена попадала в центр приемника пены. С его поверхности пена стекала в приемный бак. Как только приемный бак наполнялся, струю пены направляли в сторону от стенда. Приемный бак убирали из-под приемника пены. С поверхности приемного бака убирали излишек пены так, чтобы уровень пены соответствовал краям приемного бака. Определяли массу m_2 заполненного пеной приемного бака.

Далее пену из приемного бака выливали, а бак споласкивали водой от остатков пены и снова закрепляли его на стенде между приемником пены (1) и подставкой (7). Выполняли серию из пяти измерений. Далее меняли положения регулятора расхода на ручном пожарном стволе. Зафиксировав установившиеся показания манометра и расходомера, выполнили еще одну серию из пяти измерений кратности пены в соответствии с таким же алгоритмом действий. Аналогично исследовали кратность пены, генерируемой опытными образцами пеногенератора, с остальными пеногенерирующими сетками (рис. 7) при разных расходах раствора пенообразователя.

Кратность пены K определяли как отношение ее объема к объему раствора пенообразователя, содержащегося в пене, по формуле [4]:

$$K = \frac{V_{\Pi}}{V_p} = \frac{V_{\Pi} \rho_p}{m_2 - m_1}, \quad (1)$$

где V_{Π} – объем мерной емкости, дм^3 ; V_p – объем раствора пенообразователя, дм^3 ; ρ_p – плотность раствора пенообразователя, кг/дм^3 ; m_1 – масса мерной емкости, кг ; m_2 – масса мерной емкости, заполненной пеной, кг .

Дальность пенной струи измеряли по крайним каплям генерируемой воздушно-механической пены.



Рисунок 7. – Исследование кратности пены пеногенератора

Результаты экспериментальных исследований. При обработке экспериментальных данных применяли методики, приведенные в [6]. При этом полагали, что случайная ошибка измерений подчиняется нормальному закону распределения Гаусса. Оценка точности проводилась по методике оценки погрешности косвенных измерений.

При исследовании кратности пены для всех опытных образцов пеногенератора проводили по 5 серий измерений для каждого положения регулятора расхода раствора пенообразователя при заданном давлении.

Согласно методике, описанной выше, установлены $V_{II} = 2 \text{ дм}^3$ и $m_I = 0,16 \text{ кг}$.

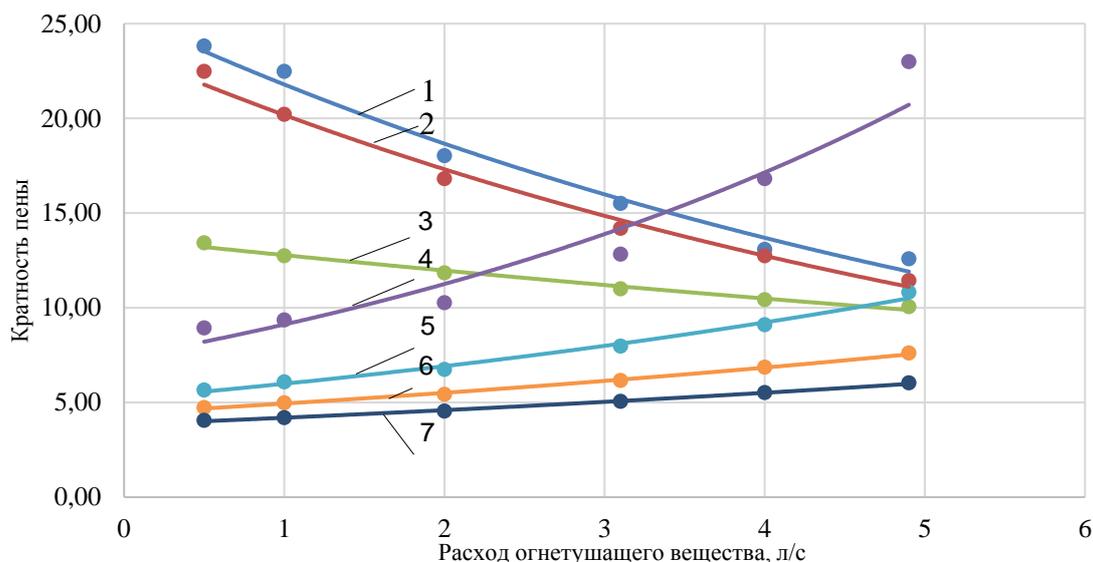
Результаты проведения исследований по определению кратности пены, генерируемой опытными образцами водопенного насадка, представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты определения кратности пены

Сетка		Расход пожарного ствола											
Размер ячейки, мм	Площадь ячейки, мм ²	1-е положение регулятора, 0,5 л/с		2-е положение регулятора, 1 л/с		3-е положение регулятора, 2 л/с		4-е положение регулятора, 3,1 л/с		5-е положение регулятора, 4 л/с		6-е положение регулятора, 4,9 л/с	
		$m_2, \text{ г}$	K	$m_2, \text{ г}$	K	$m_2, \text{ г}$	K	$m_2, \text{ г}$	K	$m_2, \text{ г}$	K	$m_2, \text{ г}$	K
0,5x0,5	0,25	84	23,81	89	22,47	111	18,02	129	15,50	153	13,07	159	12,58
0,7x0,7	0,49	89	22,47	99	20,20	119	16,81	141	14,18	157	12,74	175	11,43
1,0x1,0	1	149	13,42	157	12,74	169	11,83	182	10,99	192	10,42	199	10,05
2,0x2,0	4	224	8,93	214	9,35	195	10,26	156	12,82	119	16,81	87	22,99
3,2x3,2	10,24	354	5,65	329	6,08	297	6,73	251	7,97	220	9,09	185	10,81
4,0x4,0	16	424	4,72	402	4,98	369	5,42	325	6,15	292	6,85	263	7,60
5,0x5,0	25	494	4,05	477	4,19	441	4,54	396	5,05	363	5,51	332	6,02

Анализируя результаты исследований, представленных в таблице 1, можно сделать вывод, что пеногенератор способен подавать не только пену низкой кратности ($K \leq 20$), но и средней кратности ($K = 25$). Однако пена средней кратности генерируется при малых расходах (0,5 и 1 л/с) раствора пенообразователя при использовании сеток с площадью ячейки 0,5 мм². Кроме того, дальность пенной струи в этих случаях не превышает 5 м, что недопустимо мало для тушения пожара.

Установлено, что на кратность пены существенное влияние оказывает расход раствора пенообразователя (рис. 8).



1 – размер ячейки 0,5x0,5 мм; 2 – размер ячейки 0,7x0,7 мм; 3 – размер ячейки 1,0x1,0 мм; 4 – размер ячейки 2,0x2,0 мм; 5 – размер ячейки 3,2x3,2 мм; 6 – размер ячейки 4,0x4,0 мм; 7 – размер ячейки 5,0x5,0 мм

Рисунок 8. – Кратность пены для пеногенерирующих сеток с различным размером ячейки при изменении расхода раствора пенообразователя

При повышении расхода раствора пенообразователя кратность пены для сеток с площадью ячейки $S \leq 1 \text{ мм}^2$ падает, а для $S \geq 4 \text{ мм}^2$, наоборот, возрастает. Это может быть связано с уменьшением времени для газонасыщения раствора пенообразователя при его прохождении через сетки с малой площадью ячейки ($S \leq 1 \text{ мм}^2$). На сетках с большей площадью ячейки ($S \geq 4 \text{ мм}^2$) времени для газонасыщения и выдувания пузырей достаточно. При этом увеличение расхода раствора пенообразователя влечет за собой рост объема воздуха для газонасыщения, что в свою очередь влияет на рост кратности пены. Т. к. все зависимости на рисунке 8 имеют близкий к линейному вид, можно аппроксимировать их в виде простых к использованию на практике зависимостей:

$$K = b - aQ \text{ для } S \leq 1 \text{ мм}^2; \quad (2)$$

$$K = b + aQ \text{ для } S \geq 4 \text{ мм}^2, \quad (3)$$

где Q – расход раствора пенообразователя, л/с; a , b – коэффициенты, зависящие от площади ячейки (табл. 2).

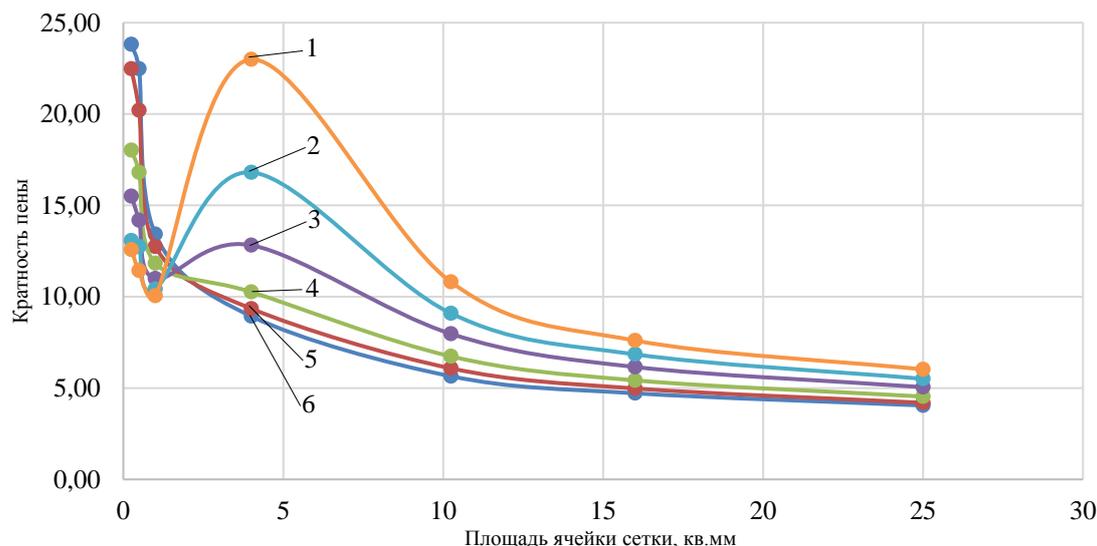
Таблица 2. – Коэффициенты для расчета кратности пены в зависимости от площади ячейки

Сетка		Коэффициенты	
Размер ячейки, мм	Площадь ячейки, мм ²	a	b
0,5x0,5	0,25	2,6992	24,549
0,7x0,7	0,49	2,4787	22,709
1,0x1,0	1	0,7634	13,547
2,0x2,0	4	2,9881	5,8052
3,2x3,2	10,24	1,1274	4,8097
4,0x4,0	16	0,6497	4,2749
5,0x5,0	25	0,4486	3,7346

Очевидно, что площадь ячейки сетки оказывает влияние на кратность пены, поэтому для определения оптимальных параметров сетки необходимо было изучить эти зависимости отдельно (рис. 9).

Из рисунка 9 видно, что при использовании опытного образца пеногенератора с сеткой с площадью ячейки 4 мм^2 наблюдается эффект скачкообразного увеличения кратности генерируемой пены. Такая сетка принята за основную. Поэтому все эксперименты по дальности пенной струи проводились с сеткой $2 \times 2 \text{ мм}$.

В таблице 3 приведены результаты исследования дальности пенной струи.



1 – расход 4,9 л/с; 2 – расход 4 л/с; 3 – расход 3,1 л/с; 4 – расход 2 л/с; 5 – расход 1 л/с; 6 – расход 0,5 л/с
Рисунок 9. – Кратность пены для различных расходов раствора пенообразователя при изменении площади ячейки пеногенирующей сетки

Таблица 3. – Дальность пенной струи

Расход, л/с		Дальность пенной струи, м
Первое положение регулятора расхода пожарного ствола	0,5	3
Второе положение регулятора расхода пожарного ствола	1	8
Третье положение регулятора расхода пожарного ствола	2	14
Четвертое положение регулятора расхода пожарного ствола	3,1	18
Пятое положение регулятора расхода пожарного ствола	4	18,5
Шестое положение регулятора расхода пожарного ствола	4,9	19

Закключение. В ходе проведения экспериментальных исследований опытных образцов пеногенератора установлено, что наиболее оптимальным является опытный образец пеногенератора с сеткой с площадью ячейки $S = 4 \text{ мм}^2$. Получены уравнения для определения кратности пены в зависимости от расхода раствора пенообразователя для различных по площади ячейки сеток. При этом установлено, что если площадь ячейки пеногенирующей сетки $S \leq 1 \text{ мм}^2$, то с ростом расхода раствора пенообразователя кратность генерируемой пены падает, но если $S \geq 4 \text{ мм}^2$ – то, наоборот, увеличивается. Опытный образец пеногенератора с пеногенирующей сеткой с площадью ячейки $S = 4 \text{ мм}^2$ позволяет подавать пену с наиболее широким диапазоном кратностей. Таким образом, в результате проведенных исследований получены исходные данные для оптимизации устройства и размеров пеногенератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ствол пожарный ручной универсальный СПРУК-50/0,7 «Викинг». Паспорт. Руководство по эксплуатации. ЭФЮП 306142.001 РЭ. – М.: РУП «Приборостроительный завод «ОПТРОН». – 9 с.
2. Система стандартов пожарной безопасности. Стволы пожарные ручные. Общие технические условия: СТБ 11.13.14-2009. – Введ. 21.08.09. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь: Минское областное управление МЧС Республики Беларусь, 2009. – 12 с.
3. Качанов, И.В. О влиянии предварительного газонасыщения пенообразующего раствора на характеристики пены, генерируемой в автоматических установках пожаротушения / И.В. Качанов, В.В. Кулебякин, С.Ю. Павлюков // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 53–60.
4. Камлюк, А.Н. Методика расчета основных геометрических параметров водопенного насадка на ствол пожарный ручной СРК-50 / А.Н. Камлюк, А.С. Грачулин, Чан Дык Хоан // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2016. – № 1 (11). – С. 41–49.
5. Стенд для определения кратности и устойчивости пены низкой кратности: полез. модель ВУ 7605 / С.М. Малащенко, О.Д. Навроцкий. – Оpubл. 2011.10.30.
6. Учебно-методическое пособие по обработке экспериментальных данных / Н.И. Бохан [и др.] – Светлая Роща: ИППК МЧС Республики Беларусь, 2008. – 34 с.

FOAM GENERATOR OF THE FIRE NOZZLE SPRUK 50/0,7 «VIKING»

Andrei Kamluk, PhD in Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor

Valerij Parmon, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Marina Striganova, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Artsiom Marozau

Aleksandr Kurochkin

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The study of the dependence of the multiplicity of the generated air-mechanical foam on the cell area of the foam generating grid of the foam generator SPRUK 50/0,7 «Viking».

Methods. Experimental studies were carried out on the basis of the University of Civil protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus in accordance with the requirements of STB 11.13.14-2009 Manual fire nozzle. General specifications.

Findings. It is established that the foam generator can supply not only foam of low multiplicity ($K \leq 20$), but also foam of average multiplicity ($K = 25$). However, the foam of medium multiplicity is generated at low flow rates (0,5 and 1 l/s) of the foamer solution when using grids with a cell area of 0,5 mm². In addition, the foam rate has a significant influence on the foam multiplicity. When the consumption of foaming agent solution increases, the foam multiplicity for grids with a cell area of $S \leq 1$ mm² decreases, and of $S \geq 4$ mm², on the contrary, increases.

Application field of research. Extinguishing fires with air-mechanical foam using a fire nozzle FMUCN 50 / 0,7 «Viking».

Conclusions. In the course of experimental studies of prototypes of the foam generator it was established that the most optimal sample is a foam generator with a grid having a cell area of $S = 4$ mm². Equations are obtained for determining the multiplicity of the foam as a function of the consumption of the foaming agent solution for various grids. It has been established that if the area of the cell of the foam generating grid is $S \leq 1$ mm², then with increasing consumption of the foamer solution, the multiplicity of the generated foam falls, but by $S \geq 4$ mm², on the contrary, it increases.

Keywords: foam generator, foam of low multiplicity, grid, stand, range of foam jet, foam multiplicity.

(The date of submitting: April 20, 2018)

REFERENCES

1. *Pasport. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Stvol pozharnyy ruchnoy universal'nyy SPRUK-50/0,7 «Viking»* [Fire barrel manual universal SPRUK-50/0,7 «Viking». Passport. Manual]. EfyuP 306142.001 RE. Minsk. RUP «Priborostroitel'nyy zavod «OPTRON». 9 p. (rus)
2. *Sistema standartov pozharnoy bezopasnosti. Stvolyy pozharnyye ruchnyye. Obshchie tekhnicheskie usloviya: STB 11.13.14-2009* [Fire fighting trunks manual. General specifications]. Affirmed 21.08.2009. Minsk. Gosstandart Respubliki Belarus', 2009. 12 p. (rus)
3. Kachanov I.V., Kulebyakin V.V., Pavlyukov S.Yu. O vliyaniy predvaritel'nogo gazonasyscheniya penoobrazuyushchego rastvora na kharakteristiki peny, generiruemyy v avtomaticheskikh ustanovkakh pozharotusheniya [On the effect of the preliminary gas saturation of a foaming solution on the characteristics of a foam generated in automatic fire extinguishing installations]. *Vestnik Komandno-inzhener'nogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2015. No. 2 (22). Pp. 53–60. (rus)
4. Kamlyuk A.N., Grachulin A.S., Chan D.Kh. Metodika rascheta osnovnykh geometricheskikh parametrov vodopennogo nasadka na stvol pozharnyy ruchnoy SRK-50 [Method for calculating the basic geometric parameters of the waterfall nozzle on the fire barrel manual SRK-50]. *Chrezvychaynye situatsii: obrazovanie i nauka*. 2016. No. 1 (11). Pp. 41–49. (rus)
5. Malashenko M.S., Navrotskiy O.D. *Stend dlya opredeleniya kratnosti i ustoychivosti peny nizkoy kratnosti* [Stand for determining the multiplicity and stability of foam of low multiplicity]. Patent BY 7605, IPC A 62 C 99/00, G 01F 3/00. Owner: Scientific Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus; publ. October 30, 2011. (rus)
6. Bokhan N.I. et al. *Uchebno-metodicheskoe posobie po obrabotke eksperimental'nykh dannykh* [Guide on experimental data processing]. Svetlaya Roshcha: IPPK MChS Respubliki Belarus', 2008. 34 p. (rus)